



Facultad de Medicina

HOSPITAL GENERAL PUEBLA DR "EDUARDO VAZQUEZ NAVARRO"

BUAP

**"Medición del poder mecánico previo y posterior a la aplicación de
neumoperitoneo en cirugía laparoscópica"**

Tesis para obtener el diploma de especialidad en Anestesiología

Presenta:

Mauricio Lara Santos

Directores

Dr. Roberto Luna Gómez

Asesor

DR. Jorge Manuel Ramírez

Sánchez

Coordinador de

investigación



CVU 1131410

H. Puebla de Z. Abril 2021

AGRADECIMIENTOS

A mi familia quienes siempre me apoyaron incondicionalmente para llegar a ser médico especialista.

Gracias a mis amigos, compañeros y maestros por apoyarme y creer e mí.

Y especialmente dedico esta tesis a mi hija quien me ha crecido conmigo durante esta etapa y a quien siempre dedicare cada logro.



Secretaría de Salud

Gobierno de Puebla

HOSPITAL GENERAL "DR. EDUARDO VAZQUEZ N"

FECHA: FEBRERO 2021.

HOSPITAL GENERAL DE PUEBLA
DR. EDUARDO VAZQUEZ N.
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN.
FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS.

INTRUCTIVO: Este formato será elaborado en original y copia, permaneciendo el original en la Jefatura de Enseñanza y la copia en poder del autor. De faltar algunas firmas no podrá imprimirse la misma.

Por medio de la presente me dirijo al comité de investigación del Hospital General "Dr. Eduardo Vázquez N.", para informar que autorizo la impresión de tesis del protocolo denominado:

"Medición del poder mecánico previo y posterior a la aplicación de neumoperitoneo en cirugía laparoscópica"

Con número de registro: 92/ENS/INV/REV/2020".
Del Médico Residente Mauricio Lara Santos

Para obtención del título de la especialidad de: Anestesiología
Fecha: Febrero 2021

Director de tesis:

Dr. Jorge Manuel Ramírez Sánchez
Nombre

Dr. Jorge Manuel Ramírez Sánchez
COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN
HOSPITAL GENERAL EDUARDO VAZQUEZ N. PUEBLA
CED. PROF. 1488587 - CED. ESP. 2727327
CED. ESP. 3843520

Co-Director

Dr. Roberto Luna Gómez
Nombre

Firma

Co-Director

Nombre

Firma

Se autoriza impresión de tesis.

Dra. Sandra Maldonado Castañeda
Jefa de Enseñanza



Fecha: febrero 2021.

Jefa de Enseñanza.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
ÍNDICE	4
RESUMEN	5
ANTECEDENTES	9
ANTECEDENTES GENERALES.....	9
ANTECEDENTES ESPECÍFICOS	16
JUSTIFICACIÓN	33
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	35
HIPÓTESIS CIENTÍFICA.....	37
OBJETIVOS.....	38
MATERIAL Y METODOS.....	39
DISEÑO DEL ESTUDIO.....	39
UBICACIÓN ESPACIO-TEMPORAL	39
ESTRATEGIA DE TRABAJO	39
CRITERIOS DE SELECCIÓN	40
MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	43
TÉCNICA Y PROCEDIMIENTOS	43
ANÁLISIS DE DATOS	43
LOGÍSTICA.....	44
RESULTADOS.....	45
DISCUSIÓN	50
CONCLUSIONES.....	52
PROPUESTAS	53
RECOMENDACIONES.....	54
APLICACIONES.....	55
PERSPECTIVAS.....	56
ANEXOS.....	60

RESUMEN

1. MARCO GENERAL DEL TRABAJO DESARROLLADO

El poder mecánico es la suma de la estimulación de energía aplicada al sistema respiratorio, al actuar directamente sobre el esqueleto pulmonar, influye en la matriz extracelular, deformando las células epiteliales y endoteliales ancladas a ella.

2. OBJETIVO GENERAL

Identificar si existe variación en el poder mecánico medido posterior a la aplicación de neumoperitoneo en los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica en el Hospital General del Sur “Dr Eduardo Vazquez N durante el periodo junio 2019- abril 2020”.

3. DISEÑO DEL ESTUDIO

Estudio observacional, transversal, prospectivo, prolectivo, homodémico, unicéntrico, realizado en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica en el servicio de quirófano del Hospital General del Sur Dr. Eduardo Vázquez Navarro que hayan durante el periodo junio 2019 -abril 2020. La muestra fue se obtuvo por la fórmula para población finitas.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Se analizaron 67 pacientes, la edad promedio fue de 43.94 ± 10.72 años, 43.3% fueron del género masculino, 56.7% femenino, 14.9% estuvieron en normopeso 64.2% sobrepeso, 20.9% obesidad, en base a los signos vitales la frecuencia respiratoria fue de 12 ± 2 rpm, volumen tidal 432 ± 41 ml, presión de insuflado de neumoperitoneo 14.88 ± 3.2 cc/min, presión pico previo a la aplicación de neumoperitoneo de 21.63 ± 3.1 cc/min, presión pico 23.42 ± 3.5 , poder mecánico previo al neumoperitoneo 11 ± 10 Joules/segundo, poder mécanico posterior al neumoperitoneo 10.6 ± 2.8 Joules/segundo, presión meseta previo al neumoperitoneo 17.8 ± 3.7 , presión meseta posterior al neumoperitoneo de 19.4 ± 4.1

cc/min, al realizar la comparación antes y durante el neumoperitoneo se tuvo diferencia estadísticamente significativa con la presión pico ($p=0.0001$), en la presión meseta ($p=0.0001$) y en el poder mecánico ($p=0.0001$).

A. CONCLUSIONES RELEVANTES CON POSIBLES APLICACIONES.

Se concluye que existe variación en el poder mecánico medido posterior a la aplicación de neumoperitoneo en los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica, con diferencia significativa.

SUMMARY

1. GENERAL FRAMEWORK OF THE WORK DEVELOPED

Mechanical power is the sum of the energy stimulation applied to the respiratory system, acting directly on the pulmonary skeleton, influences the extracellular matrix, deforming the epithelial and endothelial cells anchored to it.

2. GENERAL OBJECTIVE

Identify if there is variation in the mechanical power measured after the application of pneumoperitoneum in patients undergoing laparoscopic surgery at the Hospital General del Sur "Dr Eduardo Vazquez N during the period June 2019- April 2020".

3. STUDY DESIGN

Observational, cross-sectional, prospective, prolective, homodemic, single-center study, carried out in patients undergoing laparoscopic surgery in the operating room of the Hospital General del Sur Dr. Eduardo Vázquez Navarro that they had during the period June 2019-April 2020. The sample was obtained by the formula for finite populations.

4. RESULTS OBTAINED

We analyzed 67 patients, the average age was 43.94 ± 10.72 years, 43.3% were male, 56.7% female, 14.9% were normal weight 64.2% overweight, 20.9% obese, based on vital signs the respiratory rate was of 12 ± 2 rpm, tidal volume 432 ± 41 ml, pneumoperitoneum insufflation pressure 14.88 ± 3.2 cc/min, peak pressure prior to pneumoperitoneum application of 21.63 ± 3.1 cc/min, peak pressure 23.42 ± 3.5 , mechanical power prior to pneumoperitoneum 11 ± 10 Joules/second, mechanical power after pneumoperitoneum 10.6 ± 2.8 Joules / second, plateau pressure before pneumoperitoneum 17.8 ± 3.7 , plateau pressure after pneumoperitoneum 19.4 ± 4.1 cc/min, when comparing before and during the Pneumoperitoneum had a statistically significant difference with peak pressure ($p = 0.0001$), plateau pressure ($p = 0.0001$) and mechanical power ($p = 0.0001$).

5. RELEVANT CONCLUSIONS WITH POSSIBLE APPLICATIONS.

It is concluded that there is variation in the mechanical power measured after the application of pneumoperitoneum in patients undergoing laparoscopic surgery, with a significant difference.

ANTECEDENTES

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

La anestesia general balanceada, descrito por Lundy en 1925, nos hace referencia al uso concomitante de varias drogas utilizadas para alcanzar el estado de anestesia sin derivar en efectos adversos. Dicho concepto en nuestros días se adapta al uso de diferentes drogas anestésicas, así como los coadyuvantes utilizados en la práctica diaria. (1)

“Desde 1986, Pinsker redujo los componentes de la anestesia general a tres: 1) parálisis, 2) inconsciencia y 3) atenuación de la respuesta al estrés. En 1993, Eger, postuló la definición de «amnesia e inmovilidad frente a estimulación nociva»”.(1)

El uso de la anestesia general por lo tanto implica la relajación muscular y como consecuencia la depresión ventilatoria. Es por este motivo que el manejo avanzado de la vía aérea es parte esencial en la formación del anesthesiólogo ya que los pacientes que se someten a anestesia general requieren en la mayoría de los casos asistencia ventilatoria mecánica por tanto, la ventilación mecánica mediante intubación orotraqueal y presión positiva es un requisito indispensable para un manejo integral del paciente durante un evento quirúrgico.

Esta representa un reto para el profesional de la salud dada su repercusión clínica, y el impacto que tiene en el pronóstico del paciente. El adecuado manejo de la ventilación mecánica conlleva la programación individualizada de parámetros ventilatorios que el paciente requiere para mantener sus funciones vitales, en función de su peso, talla, edad, conformación y el estado clínico y funcional del sistema respiratorio además ,constituye parte del tratamiento perioperatorio del paciente.

El sistema respiratorio del adulto tiene características particulares y existe la necesidad de mantener una homeostasis para su correcto funcionamiento, por

tanto, es de suma importancia el conocimiento de su funcionamiento estructural y fisiológico es primordial para el correcto manejo e intervención de la vía aérea.

La fisiología pulmonar se modifica de acuerdo a la edad, ya que en el sistema respiratorio existe una disminución en la función que se va efectuando de manera progresiva en ciertos aspectos a partir de los 50 años de edad , hablando específicamente de: 1) “la presión de retracción elástica del pulmón 2) la distensibilidad de la pared torácica 3) la fuerza de los músculos respiratorios 4) la respuesta a la hipoxia y a la hipercapnia y la percepción del aumento de la resistencia de las vías aéreas”. (2)

“La disminución de la presión de retracción elástica del pulmón se da porque la presión de retracción elástica en el pulmón se determina principalmente por las fibras elásticas del tejido pulmonar y por la tensión superficial que proporciona el factor surfactante al interior de los alvéolos. Puesto que con el envejecimiento no se han detectado alteraciones significativas de la cantidad de líquido que recubre al alveolo” (3).

“Ni en las células que lo producen (células de Clara y alveolares tipo II), existe una disminución de la presión de retracción elástica (-0,1 a -0,2 cm de H₂O /año desde los 16 años de edad)” (4).

“Esta ha sido atribuida a cambios en la configuración del colágeno y a la presencia de pseudoelastina. Esta alteración genera un incremento de la distensibilidad pulmonar (aumento del volumen de aire movilizado por unidad de cambio de presión intrapleurales), que es una característica del pulmón senil y también del llamado “enfisema senil”

“Donde la relación superficie alveolar/volumen alveolar, disminuye sin evidenciar destrucción de los alvéolos”(3), “La superficie alveolar disminuye en -0,27 m² por año de edad. Por otra parte, la disminución de la presión de

retracción elástica del pulmón, favorece el cierre prematuro de las vías aéreas de pequeño calibre”(5).

“La disminución de la distensibilidad del tórax ha sido atribuida a varias causas siendo las principales las calcificaciones articulares especialmente las costovertebrales y de los discos intervertebrales. Además el tórax cambia de forma por la osteoporosis y también por la ocurrencia de aplastamientos vertebrales (frecuencia estimada en 2,5% y 7,5% en mujeres entre 60 y 80 años)”(6)

Los cambios en la distensibilidad del pulmón y del tórax hacen que en un adulto mayor en el momento de la inspiración la fuerza de los músculos inspiratorios deba vencer no sólo la resistencia elástica del pulmón, sino también la resistencia elástica del tórax, ya que a diferencia de lo que ocurre en un adulto joven, el tórax del senescente tiende a retraerse en la inspiración. Esto hace aumentar la capacidad residual funcional en relación al adulto joven, colocando al pulmón en una situación de hiperinflación y de desventaja mecánica para los músculos inspiratorios(6)

“Otro factor que contribuye es la disminución de la fuerza de los músculos respiratorios por características propias del músculo que explican este decremento como la hipoplasia de fibras musculares y la disminución del número de neuronas periféricas, interferencias en el transporte activo de calcio en el retículo sarcoplásmico”, la disminución de la síntesis de miosina y de ATP mitocondrial. A estos factores musculares se agrega la deformación del tórax “en tonel”, que rigidiza la caja torácica y el aumento de la capacidad residual funcional, que deja a los músculos inspiratorios en desventaja mecánica(7)

En el adulto mayor existen cambios en el control de la respiración descritos como la disminución de la respuesta ventilatoria a la hipoxia y a la hipercapnia en adultos

mayores, de la mano con la disminucion de la percepción de disnea por obstrucción de las vías aéreas. (8)

La ventilación pulmonar tiene como objetivo final el intercambio de gases los cuales se componen de esta manera en la atmosfera: nitrógeno en (78%), oxígeno en (21%), otros gases (1%). “La cantidad de oxígeno es igual en todas las partes del planeta; sin embargo, las presiones son las que determinan la mecánica respiratoria y varían según la altitud sobre el nivel del mar”(3) .

Este intercambio gaseoso se logra gracias a la propiedad del pulmón para manejar los diferentes volúmenes y presiones de los gases necesarios para realizar dicha función dependiendo de la capacidad de distensión y las resistencias del sistema respiratoria.

La resistencia es la dificultad que encuentra el aire para ventilar los pulmones. Esta resistencia al paso del aire se encuentra en dos estructuras, las vías aéreas y el parénquima, con dos mecanismos de acción diferentes. La vía aérea presenta resistencia por el paso del aire inspirado con las paredes de la misma, esto se denomina resistencia resistiva o, simplemente, resistencia. Por otro lado, el parénquima también presenta una resistencia a la distensión debido a la tendencia al colapso que tiene. Esta es la llamada resistencia elástica. Cuando hablamos de resistencia generalmente nos referiremos al primero de estos dos componentes. (9)

Elasticidad y distensibilidad son conceptos que se complementan entre sí y que registran los cambios producidos en la presión elástica del pulmón conforme varía el volumen de este . Gráficamente se expresan mediante las curvas presión – volumen. La distensibilidad, en inglés *compliance*, es la cantidad de volumen que cambia por cada unida de presión modificada en el sistema y se expresa en mL por cmH₂O. Por tanto, el compliance informa

sobre la mayor o menor facilidad del pulmón para aumentar de volumen ante un incremento de la presión(9)

La elasticidad es la propiedad de los cuerpos para volver a su estado original al ceder la fuerza que los estaba deformando. En mecánica respiratoria la elasticidad mide los cambios de presión que se producen por cada unidad de cambio de volumen, es decir, es lo contrario de la distensibilidad y mide la presión de retracción pulmonar

Distensibilidad es la capacidad de los cuerpos para modificar sus dimensiones físicas bajo la acción de una fuerza suficiente para vencer las resistencias en contra esa deformación. La distensibilidad se aplica tanto a elementos lineales (es decir que varían en una sola dimensión como las fibras) como a órganos huecos capaces de variar su volumen en tres dimensiones, como en el caso de la caja torácica. (10)

Estas propiedades del sistema respiratorio nos permiten comprender la relación que existe entre la presión ejercida sobre la caja torácica y el volumen que se insufla sobre esta. Los volúmenes y capacidades pulmonares determinan la manera en que el sistema respiratorio maneja la cantidad de gas por unidad de superficie.

“Así tenemos que la capacidad residual funcional es generada por la contracción de los músculos respiratorios y, pasivamente, por la expansión elástica de la caja torácica hasta volúmenes poco por encima de la capacidad residual funcional. Las propiedades de la pleura transmiten esta energía al pulmón para vencer las fuerzas que se oponen al movimiento: retracción elástica del pulmón (y de la caja torácica a partir de un cierto nivel de expansión) y resistencia de la vía aérea y del tejido”.(10)

“La relación entre la presión y el volumen del sistema respiratorio se entiende al representar el volumen pulmonar en función de la presión involucrada en

el movimiento de las estructuras consideradas Así la presión transpulmonar o diferencia entre la presión pleural y alveolar permite estudiar la relación entre la presión y el volumen del pulmón . La presión transparietal o diferencia de presión entre la pleura y la superficie exterior del tórax (generalmente la presión atmosférica, permite estudiar las relaciones presión- volumen de la caja torácica”. (10)

Y la presión del sistema respiratorio o diferencia entre presión alveolar y presión barométrica permite estudiar las relaciones presión y volumen del sistema respiratorio en su conjunto

“La caracterización de las propiedades elásticas del sistema respiratorio y de sus dos componentes principales (pulmón y caja torácica) implica el análisis de las relaciones presión volumen en diferentes condiciones: en primer lugar en ausencia de movimiento, es decir en condiciones estáticas, ya que el movimiento implica que una fracción de la presión sirva para vencer, no la elasticidad del sistema, sino las resistencias disipativas del mismo. Por otro lado en ausencia de actividad muscular (por ejemplo la 2 relajación muscular) para poder determinar las relaciones presión- volumen de la caja torácica y del sistema respiratorio”(10)

“Dentro de la mecánica ventilatoria se define como Compliance (D) a la relación que existe entre el cambio de volumen de gas intrapulmonar cuando existe un incremento de presión (ΔP) de manera suficiente para producir este cambio de volumen (ΔV), de modo que $D = \Delta V/\Delta P$ y se expresa en ml/cm H₂O”(10)

Puesto que el sistema respiratorio está formado por dos estructuras principales, el pulmón propiamente dicho y la caja torácica ; las variaciones de uno u otro componente producen cambios de la compliance en la totalidad del sistema. Debido a que cada una de estas estructuras tiene

una presión relevante (presión de las vías aéreas para el sistema respiratorio, presión transpulmonar para el parénquima pulmonar y presión pleural para la caja torácica)(11).

La distensibilidad de todo el sistema respiratorio está dada por la relación entre el incremento de volumen y el cambio de presión en las vías aéreas, la distensibilidad pulmonar y la distensibilidad de la pared torácica. La inversa fuerza de la distensibilidad es la elastancia, es decir, el cambio de presión requerido para cambiar el volumen pulmonar.

“Aunque estos términos se pueden utilizar indistintamente, en la práctica clínica se utiliza más la compliance”(10).

ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

“Para la medición de la distensibilidad toracopulmonar en pacientes intubados y ventilados mecánicamente se han recomendado algunos criterios de estandarización. En esta situación se obtiene la distensibilidad a partir del cociente entre el volumen circulante administrado por el ventilador mecánico (VT) y la diferencia de presión (P) entre el final de la pausa inspiratoria (P plateau) y el final de la espiración (PEEP), así: $Crs = VT / (P_{plateau} - PEEP)$ ” (12)

Se denomina compliance estática del sistema respiratorio; al volumen de inflación o volumen corriente. En la práctica clínica es una medición sencilla que se puede realizar con muchos respiradores. Normalmente el valor de la Crs es 100 ml/cmH₂O, disminuye a 75 ml/cmH₂O en los pacientes acostados y a 50 ml/cmH₂O o menos en los pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA)(13)

Esta forma de cálculo de la Crs, tomada por muchos ventiladores, puede subestimar la compliance hasta en un 50% en los pacientes que sufren SDRA. Frente a esta definición, la compliance dinámica no valora solamente la resultante del pulmón y de la caja torácica, sino también la resistencia de la vía aérea, pudiéndose medir en modalidades de presión y de volumen. Suele ser de un 10 a un 20% menor que la estática. $Cd = VT / (P_{pico} - PEEP)$ (14).

Otra forma de estudiar la distensibilidad es medir la compliance específica, que compara la compliance con el volumen al que ésta se mide. Algunos autores prefieren esta medición para poder analizar pacientes ventilados con volúmenes diferentes. $C_{esp} = C / CRF$ (capacidad residual funcional). La medición de la distensibilidad puede verse afectada tanto por la magnitud

del volumen circulante por la duración de la pausa inspiratoria y por la magnitud de la PEEP externa empleada (15).

“Debemos tomar en cuenta que la medición de la compliance es metodológicamente correcta siempre y cuando la presión de retroceso elástico del pulmón menos la PEEP sea igual a cero al final de la espiración, es decir, que no exista PEEP intrínseca. De la relación del cálculo de la compliance pulmonar con la definición de la compliance estática del total del sistema respiratorio (Cst, SR) surge la siguiente ecuación:” (3)

$Cst, SR = \Delta V / (P_{plat} - PEEP \text{ total})$. Esta ecuación presenta algunas diferencias que mejoran su exactitud.

“El ΔV es el cambio del volumen pulmonar durante la inflación pulmonar menos el volumen pulmonar alcanzado al final de la espiración. La presión plateau (P_{plat}) representa la presión con la vía aérea abierta después de una pausa de un mínimo de 2 segundos de oclusión de la vía aérea en ausencia de fugas, y la PEEP total es la suma de la PEEP extrínseca + la PEEP intrínseca del sistema respiratorio” (16)

Además del comportamiento de los volúmenes y capacidades del sistema respiratorio, es necesario considerar los efectos finales que la ventilación mecánica tiene sobre el organismo, es decir la repercusión clínica de en los diferentes aparatos y sistemas que conlleva la modificación de la presión y el volumen pulmonar por medio del ventilador mecánico en diferentes circunstancias

Los efectos fisiológicos más importantes a nivel pulmonar y cardíaco, sin embargo hay otros sistemas que también son o pueden verse afectados tal es el caso de riñón, cerebro, y lecho esplácnico mas las alteraciones metabólicas derivadas de estos compromisos.

A nivel pulmonar la ventilación mecánica tiende a aumentar la ventilación al espacio muerto e hipoventilar en las zonas con mayor perfusión sanguínea debido a las diferencias de distensibilidad de los alvéolos , llevando a alteraciones de ventilación/perfusión (V/Q) con sobredistensión de alvéolos hiperventilados y atelectasias en las zonas hipoventiladas(14)

Estas alteraciones son de poca trascendencia clínica en pacientes con pulmón sano y son corregidas, al menos parcialmente, con el uso de volúmenes corrientes grandes (8 a 12 ml/Kg) o la adición de PEEP. Sin embargo, en pacientes con patología pulmonar pueden ser de mayor importancia y requerir de monitoreo y tratamiento que tomen en cuenta el estado de la función pulmonar y su repercusión orgánica. La ventilación espontánea es fisiológicamente más ventajosa al permitir una mayor ventilación en las zonas mejor perfundidas, no obstante esto no es válido para retardar la instalación de la ventilación mecánica cuando un estado de disfunción pulmonar lo amerita(17) .

Sin embargo, debe hacerse todos los esfuerzos posibles para mantener al paciente en un soporte ventilatorio parcial lo cual no es posible cuando la indicación de la ventilación mecánica es una anestesia general. Caso específico de las colecistectomías laparoscópicas(18).

A nivel cardiovascular el efecto fisiológico más importante es la caída del gasto cardíaco. Esta es primariamente debida a la disminución del retorno venoso que se produce por la ventilación con presión positiva y es más importante en pacientes hipovolémicos, con distensibilidad pulmonar normal y con el uso de PEEP(19).

Esta respuesta puede ser controlada en la mayoría de los pacientes, al menos de manera parcial, con el apoyo de volumen (retos de fluidos) o drogas inotrópicas. Sin

embargo, hay sujetos con reserva cardiovascular disminuida que toleran mal el uso de PEEP y el manejo se hace bastante más difícil, requiriendo monitoreo y cuidados de alta complejidad (20)

“Si bien los efectos benéficos de la presión positiva son notables, ella genera efectos adversos en diversos sistemas. A nivel pulmonar el barotrauma, el volutrauma, el biotrauma y atelectrauma son los más relevantes, junto con la toxicidad por oxígeno. El barotrauma se presenta principalmente por el incremento en la presión de plateau (meseta) por encima de 35 cm de agua, aunque el aumento en la presión pico puede ser el punto de inicio de la complicación”. (21)

“El barotrauma pulmonar es una de las complicaciones más temidas de la ventilación mecánica, cuya incidencia ha disminuido en los últimos años gracias a la utilización de estrategias ventilatorias protectoras basadas en la disminución del volumen tidal y el control de las presiones en la vía aérea. Es por ello que algunos investigadores han llamado la atención sobre el efecto negativo que el uso de presiones intratorácicas tan elevadas podría tener, no solo sobre la función cardiocirculatoria, sino también sobre la aparición de barotrauma pulmonar”(21).

“El volutrauma es consecuencia del uso de volúmenes suprafisiológicos que lesionan las uniones intercelulares del epitelio alveolar, del uso de altas velocidades de flujo, fenómenos que inicialmente se manifiestan con incrementos de presión. El atelectrauma es debido al movimiento repetitivo entre una posición de subventilación y una de máxima ventilación; y el biotrauma es debido a la liberación de agentes proinflamatorios (citoquinas) que generan lesión tisular”(21).

“Hemodinámicamente la disminución del retorno venoso y el incremento de la resistenciavascular pulmonar son los efectos de mayor prevalencia. El

primero se produce por la desaparición de la presión negativa inspiratoria que fisiológicamente favorece el llenado de la aurícula derecha. Esto conduce a disminución del gasto cardiaco principalmente en el paciente hipovolémico, lo que incrementa los requerimientos de vasoactivos”(21).

“El segundo efecto –aumento de la resistencia vascular pulmonar - que se presenta cuando se usan altos valores de presión positiva inspiratoria y/o de PEEP genera aumento en la poscarga ventricular derecha que puede incrementar el riesgo de bajo gasto por desviación del tabique interventricular hacia la izquierda lo que disminuye la distensibilidad diastólica del ventrículo izquierdo” (22).

“A nivel renal puede presentarse impacto derivado de la disminución del gasto cardiaco y de la activación de barorreceptores lo que provoca desviación del flujo sanguíneo renal hacia la nefrona yuxtamedular. En pacientes con trauma craneoencefálico la presión positiva puede agravar el edema cerebral por disminución del retorno venoso o por uso de parámetros ventilatorios que permitan la hipercapnia” (21).

“La presión positiva puede provocar compresión hepática por el desplazamiento cefalocaudal del diafragma y, aumento de la presión abdominal fenómeno deletéreo en el paciente con patología de la cavidad abdominal” (22).

La neumonía asociada al ventilador ocurre en un porcentaje variable de pacientes. Esta complicación puede minimizarse mediante el seguimiento de protocolos basados en la evidencia sobre medidas de higiene y asépticas además de controles con cultivos de secreciones que deberían ser adoptados en las unidades donde se maneja la ventilación de manera invasiva .

“Es también frecuente la aparición de atelectasias cuando no se instauran patrones de presión preventivos como el tiempo inspiratorio, presión plateau y PEEP, aunque la complicación puede ser resultado del mal manejo de secreciones”.(22)

“El ventilador genera una presión positiva en la vía aérea durante la inspiración a la que se opone la resistencia al flujo aéreo del árbol traqueobronquial y la resistencia elástica del parénquima pulmonar. Se crea un gradiente de presión entre la vía aérea y el alvéolo que desplaza un volumen de gas proporcional al nivel de presión aplicado dentro del alveolo para propiciar el intercambio de gases”. (22)

“El ciclo respiratorio consta de 3 partes:

1) Insuflación: el aparato insufla un volumen de aire en el pulmón (volumen corriente) a través de un gradiente de presión. La presión máxima que se alcanza en la vía aérea se llama presión de insuflación o presión pico. El inicio de la insuflación puede determinarlo el paciente o el respirador”(11).

“2) Meseta: Al terminar la insuflación se mantiene el gas dentro del pulmón durante un tiempo regulable. Este tiempo es la pausa inspiratoria y durante ella el flujo es cero. La presión en la vía aérea en este momento se llama presión meseta y depende de la compliance o distensibilidad pulmonar” (9).

“3) Espiración: es un fenómeno pasivo, causado por la retracción elástica del pulmón insuflado. La presión en la vía aérea desciende hasta cero o puede mantenerse una presión positiva al final de la espiración, lo que se conoce como PEEP, lo cual ayuda a mantener el alveolo parcialmente insuflado y evitar el colapso” (11)

“La ventilación mecánica afecta de forma directa al aparato respiratorio pero también va a inducir cambios en el resto de órganos. Las complicaciones también van a estar asociadas a la intubación endotraqueal y a la sedación”(3).

“Complicaciones relacionadas con la intubación traqueal: Durante la intubación se pueden producir lesiones traumáticas en la orofaringe, alteraciones reflejas producidas por la estimulación del sistema nervioso simpático que incluyen broncoespasmo y cambios en el ritmo cardiaco y tensión arterial, además del riesgo de hipoxemia y broncoaspiración de contenido gástrico.(3)”

“Por otra parte el tubo endotraqueal puede migrar provocando intubación selectiva de un bronquio o extubación accidental del paciente. La obstrucción del tubo traqueal es otra posible complicación. Además existe la posibilidad de lesiones locales en tráquea que van desde erosiones hasta fístulas traqueoesofágicas, o granulomas cuando la intubación es prolongada” (3).

“Complicaciones pulmonares: Sabemos que la ventilación mecánica puede provocar o agravar la lesión pulmonar por una serie de mecanismos que se incluyen en el concepto de lesión inducida por el ventilador o VILI (Ventilador Induced Lung Injury). La manifestación más evidente de este cuadro es el barotrauma, que consiste en la fuga extraalveolar de gas secundaria al uso de altas presiones en la vía aérea. En función de la localización de la fuga de gas podemos encontrar enfisema intersticial, enfisema subcutáneo, enfisema mediastínico, neumopericardio, neumoperitoneo o neumotórax” (3).

“Los factores de riesgo que se asocian con esta complicación son determinadas patologías de base como el asma bronquial y el mantenimiento de Presiones meseta por encima de 35 cmH₂O. La lesión inducida por el ventilador también incluye otros mecanismos de lesión” (3).

“Volutrauma: Lesión similar al SDRA causada por el uso de volúmenes corrientes elevados que provocan sobredistensión de regiones pulmonares y lesiones estructurales a nivel de la membrana alveolo-capilar” (3).

“Atelectrauma: El uso de volúmenes pulmonares bajos o niveles de PEEP bajos puede inducir lesión pulmonar al crearse grandes áreas de colapso alveolar” (3).

“Biotrauma: La ventilación mecánica puede inducir y mantener una respuesta inflamatoria a nivel local e incluso sistémico cuando los mediadores rompen la membrana alveolo-capilar y pasan a la sangre. Otro factor perjudicial es la toxicidad por oxígeno, habiéndose demostrado que el uso de concentraciones elevadas de oxígeno producen radicales libres que puede causar alteraciones de la membrana alveolo-capilar similares a la lesión pulmonar aguda. Se recomienda usar FiO₂ inferiores a 0.6”(3).

“Complicaciones hemodinámicas: Las alteraciones hemodinámicas son consecuencia de la presión positiva intratorácica que causa la ventilación mecánica. Esto provoca una disminución del retorno venoso y del llenado del ventrículo derecho y por tanto disminuyen la precarga y el gasto cardíaco del ventrículo derecho. Además aumentan las resistencias vasculares pulmonares incrementándose la postcarga del ventrículo derecho que puede dilatarse desplazando el septo interventricular a la izquierda, lo que afecta al gasto cardíaco del ventrículo izquierdo. El resultado final es una reducción del gasto cardíaco que puede provocar hipotensión, más acentuada en pacientes hipovolémicos” (3).

“Complicaciones renales: La ventilación mecánica es un factor de riesgo independiente para insuficiencia renal aguda. Probablemente la causa sea la disminución del flujo sanguíneo renal por el descenso del gasto cardíaco”(3).

“Complicaciones gastrointestinales: La disminución de la perfusión también afecta a las vísceras abdominales. Está aumentado el riesgo de úlcera de stress en la mucosa gastroduodenal y puede haber cierto grado de disfunción hepática. Por otra parte la deglución de aire puede causar distensión gástrica. El uso de sedantes y relajantes musculares causa hipomotilidad intestinal dificultando la nutrición por vía digestiva” (3).

“Complicaciones neurológicas: El uso de presión positiva produce un aumento de la presión intracraneal, que debe tenerse en cuenta sobre todo en pacientes con traumatismo craneoencefálico. Además, es frecuente la aparición de enfermedad neuromuscular (polineuropatía o miopatía) en enfermos con ventilación mecánica prolongada que requieren fármacos como corticoides o relajantes musculares y que deben estar inmovilizados”(3).

“Complicaciones infecciosas: Está aumentado el riesgo de algunas infecciones como neumonía, traqueobronquitis o sinusitis”(3).

“Otras complicaciones: En algunos estudios se ha relacionado la ventilación mecánica con alteraciones psicológicas como ansiedad, depresión o delirio. Entre los factores que influyen están la privación de sueño, el dolor, la dificultad para comunicarse o el uso de determinados fármacos. También se han descrito secuelas morfofuncionales pulmonares tardías” (3)”.

Dada la evidencia de las afectaciones que produce la ventilación mecánica a nivel multisistémico es imprescindible adoptar estrategias para la disminución del daño que puede ser ejercido hacia un paciente ya sea sin comorbilidad respiratoria o con patología establecida para mejorar el pronóstico de una patología de base en un escenario quirúrgico. (15)

Antecedentes específicos

El tema de protección pulmonar es un concepto ampliamente revisado y que ha sufrido modificaciones a través del tiempo ya que nace de la necesidad de efectuar evaluaciones de los parámetros modificables en la manera de ventilar a un paciente(23).

El concepto de utilizar PEEP y Vt bajos no es nuevo desde hace más de 20 años reutiliza en las UTI de forma convencional(12), pero es ahora que se ha acuñado el término de “Estrategia de protección pulmonar”. Y es hasta ahora que hay evidencia de la reducción en la mortalidad con esta estrategia.

Podemos decir que durante siglo pasado es el único descubrimiento en cuanto a VM, y que por otro lado soporta la teoría que el volutrauma contribuye a la mortalidad de estos pacientes(24). Cinco estudios en la década de los 90 se desarrollaron en forma sistemática para evaluar el uso de VT bajos en SIRA.

“Hickling et al en 1990 fue el primero en reportar que limitar el Vt mejoraba la sobrevida en SIRA. Cinco años más tarde Amato et al reportaron el primer estudio aleatorizado, prospectivo, controlado evaluando el uso de VT bajos (VT 6 mL/kg peso ideal y PEEP 2 cm por arriba de Pflexi) demostrando mejoría en la relación PaO₂ /FiO₂ como índice de oxigenación; y en la medición de la distensibilidad estática, así como incrementar el porcentaje de pacientes retirados de VM”(25).

“Amato en 1998 en otro estudio de seguimiento demostró la disminución de la mortalidad hasta 2 veces en 29 pacientes manejados con Vt 6 mL/kg y PEEP 2 cm por arriba del Pflexi, comparado con 24 pacientes manejados con Vt 12 mL/kg y PEEP necesario para mantener adecuada oxigenación. Como hallazgo importante también fue que el PEEP en el grupo estudio fue mayor durante el 2o al 7o días” (25).

“Otros estudios como los de Brochard, Stewart y Broker²³⁻²⁵ durante la misma década no lograron reproducir los datos de Amato. Probablemente debido a las diferencias en cuanto a los parámetros utilizados, en el grupo estudio de estos últimos autores los valores de Vt 7 mL/kg y Pplat 24-26 cm

H₂O, en comparación a los determinados por Amato (6 mL/kg, Pplat 24 cm H₂O) e igualmente para el grupo control con Vt 10 mL/kg y Pplat 27- 32 cm H₂O en comparación al grupo control de los estudios de Amato (12 mL/kg y Pplat 38 cm H₂O), lo que se tradujo como posible diferencia por sobredistender a los pacientes en el grupo control; además de que en los grupos de estudio de Amato fue una constante el titular PEEP alto y maniobras de reclutamiento”. (26)

“Los factores mecánicos que intervienen como volumen, presión, velocidad y flujo pueden considerarse partes de una sola entidad física: la potencia mecánica(27). La ecuación que describe la potencia se puede derivar fácilmente multiplicando la ecuación clásica del movimiento por el volumen corriente y la frecuencia respiratoria”(28).

“De hecho, el coste energético por ciclo se calcula como el producto de la presión multiplicado por la frecuencia respiratoria que da el valor de potencia (energía/unidad de tiempo). La presión total resulta del trabajo elástico (elastancia), la resistencia a los tiempos de flujo y el mantenimiento del volumen pulmonar final espiratorio (por el PEEP)”(29).

“Si cada uno de estos elementos se multiplica por el volumen tidal, se obtiene la energía por respiración y multiplicándola por la frecuencia respiratoria obtenemos la potencia mecánica. El término VALI fue inicialmente utilizado para lesiones macroscópicas relacionadas con la presión incrementada de las vías aéreas, dando lugar a la presencia de neumotórax”(30).

“A lo largo de los años, reveló el aspecto oculto de un aumento de la permeabilidad capilar, edema alveolar local y reacción inflamatoria a órganos distantes(18). Actualmente, la lesión pulmonar inducida por el ventilador es difícil de diferenciar del síndrome de dificultad respiratoria del adulto (SDRA) una vez que la ventilación mecánica ha sido iniciada”(31).

“A nivel microscópico, la histopatología del SDRA trajo más claridad para el entendimiento de la lesión inducida por la ventilación mecánica. El epitelio alveolar y el endotelio capilar están separados por una fina membrana basal, constituyendo la barrera sangre-gas, esta barrera está conformada por la membrana basal, colágeno, elastina y proteoglicanos”.

“El colágeno es inextensible y actúa como «límite de seguridad» en la capacidad pulmonar total (CPT). Los proteoglicanos estabilizan la red de elastina y colágeno, además proporcionan un comportamiento viscoelástico al parénquima pulmonar. La barrera sangregas tiene un grosor de 50-100 nm, pero puede soportar una presión transpulmonar hasta de 35 cmH₂O debido a la resistencia del colágeno, del tal manera que la lesión pulmonar inducida por el ventilador es el resultado de un trastorno mecánico de la barrera sangre-gas aumentando el volumen alveolar más allá del límite de seguridad proporcionado por el colágeno inextensible. El consiguiente aumento de la permeabilidad, edema y liberación de mediadores inflamatorios así como la mecánica pulmonar agravan los efectos de la interacción entre el ventilador mecánico y el pulmón”. (32)

La lesión pulmonar inducida por ventilador es una complicación asociada con la técnica de ventilación empleada y es consecuencia de la aplicación repetitiva de estrés excesivo al fibroesqueleto y vasculatura pulmonar, a la vía aérea terminal y al tejido yuxtaalveolar. El estrés aplicado al tejido pulmonar puede evaluarse en la clínica con la presión transpulmonar (diferencia entre la presión estática de la vía aérea o plateau y la presión pleural estimada con un balón esofágico).

Sin embargo, esta presión tiene amplias variaciones bajo la influencia de la gravedad, irregularidades de la pared torácica, presión intraabdominal, peso del mediastino y las presiones vasculares de llenado, por lo que sólo se obtiene un estimado del estrés sin que las maniobras reflejen los cambios reales en diferentes regiones del parénquima pulmonar.

La consecuencia final de los cambios es el cierre o colapso progresivo de unidades alveolares. Las técnicas de ventilación mecánica en pacientes con síndrome de insuficiencia respiratoria aguda incluyen la protección pulmonar, que utiliza bajos volúmenes corrientes (6 mL/kg), en asociación con presión positiva al final de la espiración, con la finalidad de mantener abiertos los alvéolos colapsados (también llamadas estrategias de apertura pulmonar).

El reclutamiento alveolar es una técnica que se emplea para abrir las unidades alveolares colapsadas mediante el incremento temporal y sostenido de la presión en la vía aérea.

En los pacientes con SIRA y lesión pulmonar aguda se describen tres diferentes compartimentos: Áreas pulmonares normales susceptibles a barotrauma con el uso de ventilación inadecuada. Espacios aéreos con exudado que no pueden reclutarse. Áreas colapsadas por infiltrado intersticial que potencialmente pueden reclutarse. De acuerdo con lo anterior, las maniobras de reclutamiento alveolar permiten la apertura de unidades colapsadas; sin embargo, al disminuir la presión de la vía aérea muchas de las unidades se colapsarán de nuevo y ocasionarán atelectrauma y más lesión pulmonar.

Para prevenir el cierre de unidades alveolares se requiere la aplicación de presión positiva al final de la espiración (PEP). Las ventajas de la PEEP incluyen: Incrementa la capacidad residual funcional. Recluta unidades alveolares adicionales y mejora la distensibilidad pulmonar. Reduce los cortocircuitos pulmonares. Permite disminuir la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2).

Puede disminuir la precarga en la insuficiencia cardiaca congestiva. Los efectos de la presión positiva al final de la espiración deben monitorizarse de manera continua, ya que algunos de los efectos secundarios incluyen disminución del retorno venoso por incremento en la presión media de la vía aérea, alteración de la perfusión a áreas pulmonares sobredistendidas (incremento del espacio muerto), incremento en la resistencia vascular pulmonar y disfunción cardiaca derecha, barotrauma y alteraciones en el flujo sanguíneo renal, que son causa frecuente de deterioro

hemodinámico en pacientes críticamente enfermos con afección cardiovascular y en los que tienen déficit de volumen intravascular.(25)

En pacientes con SDRA, la mecánica ventilatoria se comporta de manera anormal: en donde puede haber aumento de las presiones generadas en la vía aérea a pesar de manejar volumen tidal bajo.

Esta disminución del Compliance del sistema respiratorio a menudo se ha interpretado como rigidez, pero de hecho existe pérdida funcional de volumen pulmonar para ser el conductor principal. El peso agregado de las células ricas en líquido de edema pulmonar, junto con la desactivación del surfactante asociado con la inflamación, causa atelectasia dependiente de la gravedad, un hallazgo clásico en TAC de muchos pacientes con SDRA.

Por lo tanto, el volumen aireado funcional del pulmón con ARDS es más pequeño de lo normal, un fenómeno a menudo denominado “baby lung” . Es importante destacar que el Compliance del volumen pulmonar que permanece ventilado , denominado Compliance específico (Compliance normalizado al volumen de aireado funcional) parece relativamente conservado.

El poder mecánico se definió como la función de la presión transpulmonar, el volumen tidal (TV) y la frecuencia respiratoria (Gattinoni et al. 2016 18). Para lograr esta definición, el estudio predecesor fue realizado en lechones, quienes fueron ventilados con un poder mecánico conocido por ser letal (TV, 38 ml / kg, presión de meseta, 27 cm H₂O y frecuencia respiratoria, 15 respiraciones / min). Otros grupos (tres lechones cada uno) fueron ventilados con la misma TV por kilogramo y la presión transpulmonar, pero a las frecuencias respiratorias de 12, 9, 6 y 3 respiraciones / min. (Protti et al., 2015) Todas las variables que componen la fórmula del poder mecánico han sido estudiadas por separado(33), en relación a su factor protector o deletéreo sobre el parénquima pulmonar, sin embargo se ha logrado unificar en un solo componente llamado “poder mecánico” llegando a asociar un valor umbral como factor protector. (Gattinoni et al., 2016) De esta afirmación y

derivada de la ecuación de movimiento se deriva la fórmula completa que sigue (Gattinoni et al., 2016):

$$Power_{rs} = RR \cdot \left\{ \Delta V^2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot EL_{rs} + RR \cdot \frac{(1 + I:E)}{60 \cdot I:E} \cdot R_{aw} \right] + \Delta V \cdot PEEP \right\},$$

donde: ΔV es el volumen corriente, rs es la elastancia del sistema respiratorio, $I:E$ es la relación tiempo inspiratorio-espирatorio, y R_{aw} es la resistencia de las vías respiratorias, expresando su valor en J/min(34).

Actualmente existen herramientas electrónicas que integran esta ecuación al software de los ventiladores mecánicos, reflejando dicho cálculo como un parámetro más de monitorización

Nosotros nos serviremos de una aplicación como calculadora electrónica llamada Energy Calculator Vers 1.2.6 By. Herrmann(Gattinoni et al., 2016), en la que tendremos que simplemente ingresar los valores solicitados de la monitorización del ventilador y el programa otorga automáticamente el valor del poder mecánico, con el cual trabajaremos.

RELACION DEL PODER MECÁNICO CON LESION PULMONAR

Se ha descrito la lesión pulmonar inducida por el ventilador (VILI) en diversos contextos clínicos y experimentales, y varios factores han sido considerados como posibles desencadenantes de VILI(35). El volumen corriente (V_T) y la presión meseta han sido más estudiados como subrogados del strain y el stress, respectivamente(Chiumello et al., 2008).

Otros factores, como la temperatura, la frecuencia respiratoria, han sido descritos como cofactores para 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 ella (Massimo Cressoni, M.D., Miriam Gotti, M.D., Chiara Chiurazzi, M.D., Dario Massari et al., 2016).

Se ha estudiado la hipótesis de que las causas de lesión pulmonar relacionadas con el ventilador pueden ser unificadas en una sola variable: el poder mecánico. Se evaluó si la potencia mecánica medida por los bucles presión-volumen se puede calcular a partir de sus componentes: volumen tidal (TV) / presión de conducción (ΔP_{aw}), flujo, presión positiva al final de la espiración (PEEP) y la frecuencia respiratoria (RR) .

Si es así, se pueden estimar las contribuciones relativas de cada variable (Gattinoni et al., 2016). Los datos se han analizado en términos de potencia suministrada al sistema respiratorio, es decir, la cantidad de energía suministrada al sistema respiratorio por el ventilador en la unidad de tiempo (J / min), y el valor umbral que se ha asociado después de realizar estudios experimentales animales es de 12 J/min (Protti et al., 2015).

Valores inferiores a dicho corte se asocian a ventilación protectora, y por ende a menor mortalidad. Las lesiones pulmonares inducidas por ventilación (VILI) resultado de la interacción entre lo que el ventilador suministra al parénquima pulmonar y cómo el parénquima pulmonar lo acepta.

A lo largo de las décadas, nuestra comprensión de estas dos realidades ha progresivamente aumentado: desde un lado, diferentes componentes de la carga del ventilador ha sido enfatizada de manera diferente.

Por otro lado, las condiciones del parénquima pulmonar que dictan la respuesta a una carga de ventilador dada han sido estudiado y aclarado. Las causas generadas

por el ventilador de VILI incluye las presiones , volumen , flujo y frecuencia respiratoria [4, 5].

Por otro lado, las afecciones pulmonares que favorecen VILI dependen principalmente de la cantidad de edema, que conduce a la disminución de las dimensiones pulmonares [6], aumento de la falta de homogeneidad pulmonar, aumento de los elevadores de estrés [7] y colapso cíclico y decollapso [8, 9].

Descuidamos aquí, para mayor claridad, factores "extrapulmonares" como la perfusión, pH, tensiones gaseosas y temperatura. Obviamente, el ventilador y las causas pulmonares de VILI pueden interactuar. Presión positiva al final de la espiración (PEEP), como ejemplo, en un lado aumenta la carga de presión del ventilador, y en el otro lado puede disminuir la falta de homogeneidad pulmonar y el colapso pulmonar.

Sin embargo, la distinción entre la contribución del ventilador y del pulmón a VILI puede ayudar a alcanzar una mejor estrategia de prevención de VILI. De hecho, vale la pena considerar que todas las causas de VILI relacionadas con el ventilador, aunque se investigan por separado, son componentes de un físico único variable (es decir, la potencia mecánica), mientras que la mayoría de las causas de VILI relacionadas con los pulmones son principalmente consecuencias de la cantidad de edema (es decir, la gravedad del SDRA, al menos en las primeras fases).

Si consideramos la configuración ventilatoria, está bastante claro que el volumen corriente, las presiones y flujo son todos los componentes de la carga de energía, que, expresado por unidad de tiempo, es la potencia mecánica. En este artículo, nos gustaría proponer un modelo simple para la cuantificación de la potencia mecánica al lado de la cama y para discutir su posible relevancia en el establecimiento de una ventilación segura.

JUSTIFICACIÓN

En el Hospital General de Puebla Dr. Eduardo Navarro Vázquez, se realizan un promedio de 121 cirugías electivas laparoscópicas en pacientes adultos de 19 a 59 años de edad, una de las principales metas es proporcionar atención de calidad a cada uno de esos pacientes. La medición del poder mecánico supone un parámetro meta para aumentar la seguridad de los pacientes sometidos a ventilación mecánica en el escenario de un procedimiento quirúrgico que requiere anestesia general en esta unidad hospitalaria.

El mantenimiento de una anestesia general balanceada implica la intubación ventilación mecánica de los pacientes que son sometidos a un procedimiento quirúrgico. De manera habitual el modo en que se realiza este procedimiento es calcular los parámetros ventilatorios mediante el peso predicho del paciente.

Las nuevas guías para el manejo de la ventilación mecánica dictan que es necesario modificar este manejo e incluir factores como la talla, además de ello es necesario medir las variables que se generan cuando un paciente es sometido a ventilación mecánica para verificar que los parámetros calculados fueron adecuados para el paciente y de esa manera disminuir el riesgo de causar daño inducido por la ventilación mecánica.

La cirugía laparoscópica implica la insuflación de la cavidad abdominal con CO₂, el neumoperitoneo resultante desarrolla una serie de cambios a nivel sistémico, particularmente en el aparato respiratorio se produce disminución de la compliance pulmonar por desplazamiento de las estructuras anatómicas, disminución de la capacidad residual funcional y alteraciones en el intercambio y eliminación del CO₂.

Es frecuente la modificación de los parámetros ventilatorios para mantener una adecuada oxigenación y un adecuado intercambio de CO₂ para su eliminación, esto puede representar un cambio en la mecánica ventilatoria y alterar los parámetros hasta el punto de representar un riesgo para el desarrollo de complicaciones respiratorias asociadas a la ventilación mecánica.

Una de las mediciones que más impacta sobre la seguridad de la ventilación es el Poder mecánico el cual ha demostrado asociarse a partir de un valor de 12 como un aumento en el riesgo de provocar lesiones asociadas a la ventilación mecánica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la práctica de la anestesiología uno de los procedimientos pilares es la anestesia general, para varios tipos de procedimientos quirúrgicos. Estos requieren un vistazo particular, ya que representan un reto para el anestesiólogo en el manejo adecuado de la farmacología tomando en cuenta los posibles efectos adversos de los medicamentos utilizados durante la inducción y mantenimiento de la anestesia.

Otro punto importante a tener en consideración es tomar en cuenta el hecho de que un paciente bajo anestesia general debe ser sometido a ventilación mecánica, la cual implica el conocimiento y adecuado manejo del ventilador además del análisis de las variables dinámicas que se generan durante la cirugía. En este medio el uso de ventilación mecánica ha sido empleado como parte del manejo de la anestesia general, pero es importante considerar también como parte del manejo, medir las variables dinámicas y corregir los parámetros cuando sea necesario.

Distintos parámetros han sido propuestos para considerar un adecuado manejo de la ventilación mecánica, recientemente uno de los más significativos por su practicidad para la medición ha sido el poder mecánico. Este se ha considerado como meta de ventilación segura en pacientes sometidos a ventilación mecánica por diferentes factores, especialmente en pacientes que cursan con patología pulmonar o síndrome de Distres respiratorio.

Por las características de este parámetro como objetivo de protección pulmonar es posible medirlo en cualquier paciente bajo ventilación mecánica y su resultado representa un gran impacto en el manejo integral del paciente con o sin lesión pulmonar.

Aunque existen datos que sugieren que todos los pacientes sometidos a ventilación mecánica deberían ser analizados de manera independiente considerando las presiones ejercidas por el ventilador mecánico, estos parámetros no son medidos

de manera rutinaria en procedimientos de anestesia general, por lo que considero necesario medir la mecánica pulmonar, interpretar los valores de las diferencias de presión durante la anestesia general, analizarlos de manera adecuada y corregir los parámetros en caso de requerirlo para brindar a los pacientes una ventilación mecánica segura y disminuir de esta manera el riesgo de complicaciones secundarias a un procedimiento anestésico.

Pregunta

¿Existe variación en el poder mecánico medido previo y posterior a la aplicación de neumoperitoneo en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica en el hospital General del Sur “Dr Eduardo Vazquez N, durante el periodo junio 2018- abril 2020”?

HIPÓTESIS CIENTÍFICA

Existe una variación del poder mecánico posterior a la aplicación de neumoperitoneo en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica en el Hospital General del Sur “Dr Eduardo Vazquez N durante el periodo junio 2019- abril 2020”

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar si existe variación en el poder mecánico medido posterior a la aplicación de Neumoperitoneo en los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica en el Hospital General del Sur “Dr Eduardo Vazquez N durante el periodo junio 2019- abril2020”

Objetivos particulares

- Medir el poder mecánico previo a la aplicación de neumoperitoneo en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica
- Medir el poder mecánico posterior a la aplicación de neumoperitoneo en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica
- Comparar el poder mecánico medido en ambas condiciones

MATERIAL Y METODOS

DISEÑO DEL ESTUDIO

Se realizó un estudio observacional, transversal, prospectivo, prolectivo, homodémico, unicéntrico.

DISEÑO DEL ESTUDIO	
Por el objetivo del estudio	Comparativo
Por la medición del evento en el tiempo	Longitudinal
Por el momento de la medición del evento	Prospectivo
Por la ubicación de la población de estudio	Unicéntrico
Por la inferencia del investigador en el fenómeno que se analiza	Observacional
Por el tipo de población	Homodemico

UBICACIÓN ESPACIO-TEMPORAL

El estudio se llevó a cabo en el Hospital General de Puebla, “Dr. Eduardo Vázquez Navarro” en el periodo de Junio 2019 – Abril 2020.

ESTRATEGIA DE TRABAJO

Se realizó una investigación en la población en estudio en función de los criterios de selección.

Se midió el poder mecánico mediante el uso de un software disponible en la página de internet “Ventilaciónsegura.com” en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica previo y posterior a la aplicación de neumoperitoneo. Y se evaluaron las diferencias de los datos obtenidos.

1. Definición del universo de trabajo

Población fuente: Pacientes del Hospital General del Sur Dr. Eduardo Vazquez N. que hayan sido sometidos a cirugía laparoscópica durante el periodo junio 2019 -abril 2020.

Población elegible: Pacientes sometidos a cirugía laparoscópica en el Hospital General del Sur Dr. Eduardo Vazquez N. durante el periodo Junio 2019 -Abril 2020 entre 19 y 59 años de edad sin patología pulmonar demostrada.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Criterios de inclusión:

- Procedimiento quirúrgico: Pacientes sometidos a cirugía laparoscópica
- Rango de edad: pacientes entre 19 – 59 años
- Sexo : Masculino/ Femenino
- Procedimiento anestésico: Anestesia general
- Ventilación invasiva: ventilación mecánica en modo volumen control.
- Firma del consentimiento informado para la participación en el estudio

Criterios de exclusión

- Pacientes embarazadas o en puerperio inmediato, mediano o tardío
- Pacientes con obesidad mórbida
- Pacientes con patología pulmonar demostrada
- Pacientes ventilados con mascarilla laríngea
- Pacientes con inestabilidad de la jaula costal

Criterios de eliminación

- Pacientes que requirieron conversión de la técnica quirúrgica
- Pacientes que requirieron cambio de modo ventilatorio

ESTRATEGIA DE MUESTREO

El tamaño de la muestra se calculó con la fórmula de población finita, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, la fórmula se muestra a continuación:

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * p * q}$$

Donde:

TAMAÑO DE LA MUESTRA	
Parámetro	Valor
N	121
Z	1.960
P	50.00%
Q	50.00%
e	5.0%

n= 92 pacientes

DEFINICIÓN DE VARIABLES Y ESCALAS DE MEDICIÓN:

TABLA 12.- VARIABLES Y ESCALAS DE MEDICIÓN					
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	ESCALA	MEDICIÓN DE VARIABLE
Edad	Tiempo que una persona ha vivido	Tiempo transcurrido desde la fecha de nacimiento a la fecha actual	cuantitativa	discreta	En años
Sexo	Es la condición orgánica que distingue al hombre de la mujer	Se explora físicamente la condición orgánica que distingue hombre y mujer	Cualitativa	Dicotómica	Masculino, femenino
Peso	Cantidad de materia que contiene un cuerpo	Medir el peso de la persona expresado en kilogramos	cuantitativa	Continua	En kilogramos
Talla	Estatura de una persona expresada en centímetros	Medir la talla de los pies a la cabeza	Cuantitativa	Continua	En metros
Índice de masa corporal	Es una medida de asociación entre el peso y la talla de un individuo	Expresión que resulta de dividir el peso sobre talla al cuadrado	Cuantitativa	Continua	Peso/talla al cuadrado
Frecuencia respiratoria	La cantidad de veces por minuto que se realiza un ciclo respiratorio completo	La cantidad de veces que se establece al ventilador mecánico para ciclar la ventilación	Cuantitativa	DISCRETA	En respiraciones por minuto

Volumen tidal	volumen de aire que circula entre una inspiración y espiración normal sin realizar un esfuerzo adicional	El volumen que se establece al ventilador mecánico para insuflar el sistema respiratorio en cada ciclo	Cuantitativa	Continua	En mililitros
Poder mecánico	Cantidad de energía entregada por el ventilador mecánico al sistema respiratorio por unidad de tiempo	Resultado de la ecuación de poder mecánico obtenido mediante Software "Ventilación segura"	Cuantitativa	Continua	Joules/segundo

MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se encuentra en el apartado ANEXOS

TÉCNICA Y PROCEDIMIENTOS

Se seleccionó a la población en estudio con base en los criterios de inclusión y de exclusión, se obtuvieron las variables de interés, se realizó la tabla de operacionalización de variables. Se interpretaron los datos para la elaboración del documento preliminar y su revisión para redactar el documento final.

ANÁLISIS DE DATOS

Se empleó estadística descriptiva y comparativa para los datos generales de la población en estudio. Se calcularon proporciones para las variables cualitativas y medidas de tendencia central, además, para el análisis correlacional se empleó la prueba estadística chi-cuadrada para variables cualitativas y t de Student para muestras relacionadas para las variables cuantitativas.

LOGÍSTICA

RECURSOS HUMANOS:

El responsable de esta investigación. Un director experto y un director metodológico.

RECURSOS MATERIALES:

Computadora

Expedientes

Lapiceros

Hojas

Programa de Excel y Windows

Impresora

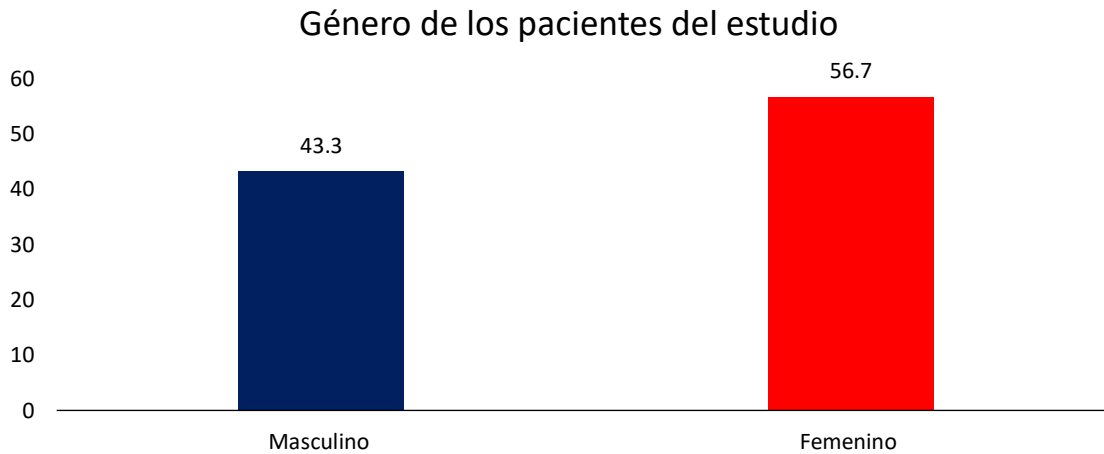
Procesador de datos.

RECURSOS FINANCIEROS:

Los gastos del presente estudio fueron propios del tesista.

RESULTADOS

En el análisis de los 67 pacientes que se les analizó el poder mecánico medido posterior a la aplicación de neumoperitoneo en los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica en el Hospital General del Sur “Dr Eduardo Vazquez N durante el periodo junio 2019- abril 2020”, se identificó que la edad promedio fue de 43.94 ± 10.72 años, con una mínima de 26 y máxima de 66 años. con respecto al género de los pacientes el 43.3%(29) fueron del género masculino y en el 56.7%(38) femenino. (Gráfica 1)



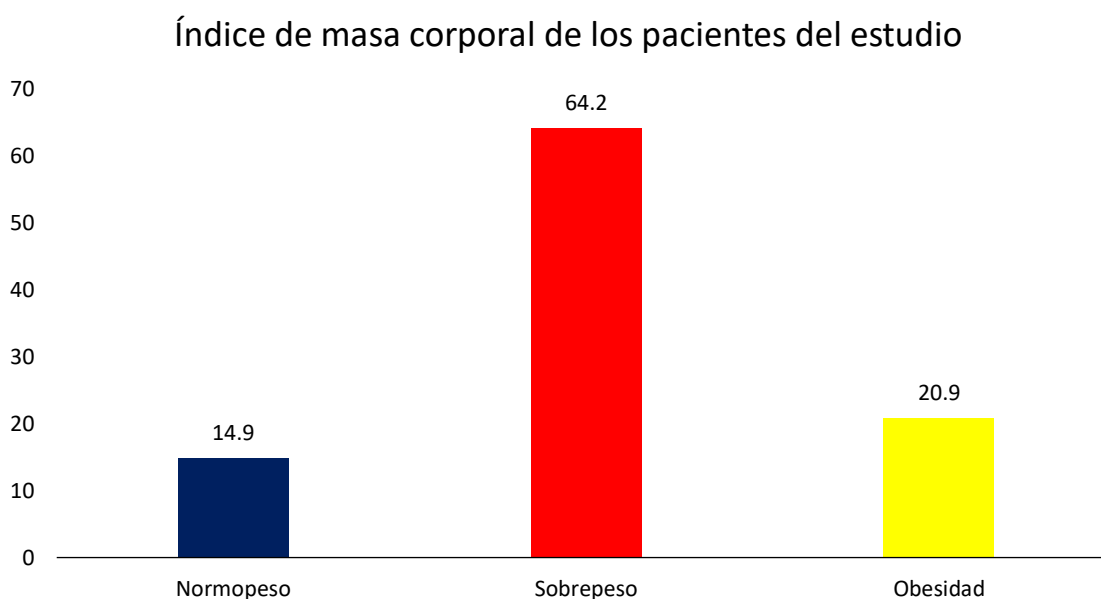
Gráfica 1. Género de los pacientes con aplicación de neumoperitoneo.

Al analizar el género en base al índice de masa corporal se tuvo mayor proporción de casos con sobrepeso, principalmente del género femenino, al aplicar la prueba estadística chi-cuadrada, se obtuvo un valor de $p=0.266$, sin tener diferencia estadísticamente significativa. (Tabla 1)

IMC	Género		Total	Valor de p
	Masculino	Femenino		
Normopeso	2	8	10	0.266
Sobrepeso	20	23	43	
Obesidad	7	7	14	
Total	29	38	67	

Tabla 1. Género según el índice de masa corporal de los pacientes con neumoperitoneo.

En el 14.9%(43) de los pacientes sometidos a neumoperitoneo tuvieron normopeso, 64.2%(10) sobrepeso y 20.9%(14) padecieron obesidad. (Gráfica 2)



Gráfica 2. Índice de masa corporal en los pacientes sometidos a neumoperitoneo.

Los pacientes que fueron sometidos a neumoperitoneo por el procedimiento laparoscópico tuvieron frecuencia respiratoria promedio de 14 ± 2 respiraciones por minuto, volumen tidal de 432 ± 41 ml, presión de insuflado de neumoperitoneo de 14.88 ± 3 cc/min, presión media previo a la aplicación de neumoperitoneo de 21.63 ± 3.1 cc/min y presión pico de 23.42 ± 3.5 cc/min. (Tabla 2)

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Frecuencia respiratoria (rpm)	12	19	14.73	1.974
Volumen tidal (ml)	350	500	432.91	41.934
Presión de insuflado de neumoperitoneo (cc/min)	6	21	14.88	3.208
Presión media previo a la aplicación de neumoperitoneo (cc/min)	16	29	21.63	3.181
Presión pico (cc/min)	17	29	23.42	3.543

Tabla 2. Datos clínicos y presión de insuflado en los pacientes con neumoperitoneo.

En la evaluación del poder mecánico previo al neumoperitoneo se tuvo en promedio 10.63 ± 2.88 Joules/seg, post aplicación de 11.02 ± 4 Joules/seg, la presión meseta previo fue de 17.87 ± 3.73 cc/min y la presión meseta post neumoperitoneo fue de 19.49 ± 4.14 cmH₂O. (Tabla 3)

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Poder mecánico previo a la aplicación de neumoperitoneo (Joules/seg)	5.51	16.93	10.63	1.12193
Poder mecánico posterior a la aplicación de neumoperitoneo (Joules/seg)	5.51	19.00	11.02	2.88661
Presión meseta previo a la aplicación de neumoperitoneo (cc/min).	10	26	17.87	3.733
Presión meseta posterior a la aplicación de neumoperitoneo (cc/min).	11	27	19.49	4.146

Tabla 3. Poder mecánico y poder meseta en los pacientes sometidos a neumoperitoneo.

En el análisis correlacional se aplicó la prueba estadística t de Student para muestras relacionadas, al comparar la presión pico previo a la aplicación de neumoperitoneo con la post aplicación teniendo diferencia estadísticamente significativa ($p=0.0001$), similar a lo presentado en el poder mecánico y la presión meseta teniendo diferencias significativas. (Tabla 4)

Correlaciones de muestras emparejadas	Correlación de Pearson	Valor de p
Presión pico previo a la aplicación de neumoperitoneo & Presión pico (cc/min)	0.776	0.0001
Poder mecánico previo a la aplicación de neumoperitoneo & Poder mecánico posterior a la aplicación de neumoperitoneo (Joules/segundo)	0.084	0.0001
Presión meseta previo a la aplicación de neumoperitoneo & Presión meseta posterior a la aplicación de neumoperitoneo (cc/min).	0.704	0.0001

Tabla 4. Correlación de pearson en los pacientes sometidos a neumoperitoneo.

DISCUSIÓN

De acuerdo a los objetivos del presente estudio, se midieron las diferencias más importantes que ocurren en la ventilación mecánica de los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica durante la aplicación de neumoperitoneo.

Las características del grupo de estudio y el tamaño de la muestra se vieron reducidas debido a la disminución de los procedimientos laparoscópicos programados derivado de la pandemia por SARS-COV2, sin embargo, son identificables algunas características importantes derivadas del análisis de la muestra estadística.

Dentro de estos hallazgos, el más sobresaliente es el de la variación de los valores del poder mecánico previo y posterior a la aplicación de neumoperitoneo, se identificó que la media general de este valor es ligeramente más alta previa a la aplicación de neumoperitoneo, lo cual se ratifica en el análisis correlacional de los datos dando significancia estadística.

Es también importante señalar que los datos para las presiones pico y meseta tienden a ser más predecibles con un ligero incremento en la media de ambos valores para la medición que se realizó posterior a la aplicación de neumoperitoneo, de igual manera obteniendo valores de p de 0.0001.

Esto nos lleva a pensar que a pesar de haber considerado al poder mecánico como el dato más relevante dentro de nuestro estudio para la interpretación de cambios importantes en la mecánica ventilatoria durante la modificación de la presión intra-abdominal e intratorácica derivada de la insuflación de neumoperitoneo para un procedimiento quirúrgico, no siempre se ve reflejado en un aumento, por lo menos no a corto plazo, como lo es el tiempo quirúrgico de un cirugía laparoscópica que el tiempo durante el cual se realizaron las mediciones

Adicional a esto también debemos considerar que al ser el poder mecánico la estimación de la suma de todas las fuerzas que intervienen durante la ventilación mecánica, existen variaciones que tal vez deberían ser tomadas en cuenta en

futuros estudios para la mejor interpretación de los datos. Como podrían ser la medición de la profundidad anestésica, la relajación neuromuscular o la constitución del paciente estudiado.

Por tanto, consideramos que el poder mecánico no debe ser empleado como medición de forma aislada de la mecánica ventilatoria en los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica, sino un complemento al análisis de los valores que tradicionalmente monitorizamos durante este tipo de procedimientos como lo son la presión pico y la presión meseta. Sin embargo diferentes estudios nos han demostrado su utilidad, sobre todo en pacientes con evidencia de daño pulmonar y con ventilación mecánica prolongada. Así que su medición nos proporciona una herramienta más en el manejo integral y de calidad en los pacientes que sean sometidos a ventilación mecánica.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos obtenidos del análisis estadístico del presente estudio, existen diferencias significativas en el poder mecánico medido previo y posterior a la aplicación de neumoperitoneo durante cirugía laparoscópica.

El valor de poder mecánico ventilatorio fue ligeramente mayor en la medición realizada posterior a la aplicación de neumoperitoneo

Se registró un incremento de la presión meseta que fue significativa en las mediciones realizadas posteriores a la aplicación de neumoperitoneo

La presión pico medida posterior a la aplicación de neumoperitoneo se comportó de manera similar a los parámetros mencionados anteriormente con un incremento significativo

Los resultados de la medición del poder mecánico en este estudio demostraron que a pesar de la variación de las mediciones que se registraron posteriores a la aplicación de neumoperitoneo con respecto a las previas a la aplicación de este, en la mayor parte de nuestros pacientes se mantuvieron dentro de los límites de seguridad para la protección pulmonar durante la ventilación mecánica.

PROPUESTAS

El trabajo presentado demuestra la importancia de realizar la medición y análisis de las variables que influyen para el manejo integral de un paciente sometido un procedimiento quirúrgico bajo anestesia general.

Dentro de los factores más importantes que influyen en la calidad de la atención y en el pronóstico de los pacientes sometidos a ventilación mecánica es la disminución de los riesgos y dentro de ellos el de ocasionar un daño pulmonar asociado a la ventilación mecánica

La inclusión del uso de las nuevas tecnologías dentro de la sala de quirófano representa una gran ayuda. En este caso la facilidad de acceso a herramientas para la medición e interpretación de variables como el poder mecánico de un manera rápida y eficaz a través de calculadoras online.

Por tanto se propone incluir la medición del poder mecánico, para monitorizar la ventilación pulmonar dentro de quirófano y de esta manera garantizar la ventilación segura, sobre todo en caso de procedimientos que modifican fisiología respiratoria, tal es el caso de las cirugías laparoscópicas.

RECOMENDACIONES

Recomendamos el uso de calculadoras y softwares online específicos para la medición de la mecánica ventilatoria, en donde la captura de los datos y la medición del poder mecánico se realiza de una forma rápida y eficaz, además de estandarizar el método para la obtención de los resultados.

Recomendamos también el uso de monitorización avanzada de la relajación neuromuscular y la profundidad anestésica basada en electroencefalografía, para minimizar el sesgo atribuible al esfuerzo respiratorio realizado por el paciente.

APLICACIONES

Los resultados del presente estudio nos muestran la utilidad de la medición del poder mecánico en el contexto de una cirugía laparoscópica, y su modificación posterior a la aplicación de neumoperitoneo en pacientes sin patología pulmonar demostrada.

Pero es importante mencionar que los alcances del análisis de la calidad de la ventilación van más allá, esto ha quedado demostrado recientemente con la pandemia de SARS-COV2 en donde el número de pacientes que requieren ventilación mecánica ha aumentado de manera antes inimaginable.

Los pacientes que presentan daño pulmonar y son sometidos a cirugía han ido en aumento, y las secuelas pulmonares posteriores a una infección por COVID-19 aún están siendo descritas por lo que el asegurar los parámetros para una ventilación segura en todos los pacientes y la medición de las variables para asegurar su aplicación están siendo más importantes que nunca.

PERSPECTIVAS

Los resultados del presente estudio representan un antecedente importante en nuestro hospital como parte del compromiso para garantizar procedimientos seguros, disminuyendo los riesgos asociados a los procedimientos quirúrgico-anestésicos y marcando la importancia del análisis de la ventilación mecánica como parte de la monitorización pulmonar durante los procedimientos anestésicos.

Esperamos que cada vez mas anestesiólogos utilicen las herramientas propuestas en este estudio y contribuir en el manejo integral de los pacientes, así como servir de referencia para posteriores trabajos de investigación.

BIBLIOGRAFIA

1. Vargas-Hernández JJ. Revista Mexicana de Anestesiología Anestesia libre de opioides. Vol. 37, Supl. 1 Abril-Junio. 2014.
2. Oyarzún G. M. Función respiratoria en la senectud. Rev Med Chil. 2009;137(3):411–8.
3. Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud. El enfermo crítico 2. Respiratorio VENTILACIÓN MECÁNICA INTRODUCCIÓN. 2018.
4. Rodriguez-Roisin R, Burgos F, Roca J, Barbera JA, Marrades RM, Wagner PD, et al. Physiological changes in respiratory function associated with ageing [1] (multiple letters). Eur Respir J. 1999;14(6):1454–6.
5. Carrillo Esper R, Contreras Domínguez V. Medicina Interna de México Volumen 21, Núm. 1, enero-febrero. 2005.
6. Gunby MC MJ. Epidemiology of bone loss with aging. Clin Geriatr Med. 1994;10(4):557-574.
7. ENRIGHT PL, KRONMAL RA, MANOLIO TA SM, RE H. Respiratory muscle strenght in the elderly: correlates and reference values. . ENRIGHT PL, KRONMAL RA, MANOLIO TA, SCHENKER MB, HYATT RE. 1994;149:430-8.
8. Janssens J, Pache J, Nicod L. Physiological changes in respiratory function associated with ageing. Eur Respir J. 1999;13(1).
9. J.L. López-Campos Bodineau, A. Arnedillo Muñoz CGP. Exploración funcional II. Volúmenes pulmonares, resistencias, difusión, presiones musculares, distensibilidad. Aula Medica. 2014;2.
10. Romero P V. Distensibilidad Pulmonar. Estud la función Respir Mec Respir II. 2016;(November):43–62.
11. J.L. López-Campos Bodineau, A. Arnedillo Muñoz CGP. Mecánica Ventilatoria: Volúmenes Pulmonares Estáticos. Asoc Neumol y cirugía torácica del sur.
12. Gattinoni L, Marini JJ, Collino F, Maiolo G, Rapetti F, Tonetti T, et al. The future of mechanical ventilation: Lessons from the present and the past. Vol. 21, Critical Care. 2017.
13. Sreedharan J, Alqahtani J. Driving pressure: Clinical applications and implications in the intensive care units. Indian J Respir Care. 2018;7(2):62.

14. Gattinoni L, Tonetti T, Cressoni M, Cadringer P, Herrmann P, Moerer O, et al. Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power. *Intensive Care Med.* 2016;42(10):1567–75.
15. El enfermo crítico 2. Respiratorio VENTILACIÓN MECÁNICA INTRODUCCIÓN.
16. Pérez M, Mancebo J. Monitoring ventilatory mechanics. *Med Intensiva.* 2006;30(9):440–8.
17. Oyarzún M. Función respiratoria en la senectud Pulmonary function in aging.
18. Chiumello D, Formenti P, Bolgiaghi L, Mistraretti G, Gotti M, Vetrone F, et al. Body position alters mechanical power and respiratory mechanics during thoracic surgery. *Anesth Analg.* 2020;130(2):391–401.
19. Umbrello M, Formenti P, Bolgiaghi L, Chiumello D. Current concepts of ARDS: A narrative review. *Int J Mol Sci.* 2017;18(1):1–20.
20. Gutiérrez Muñoz F. Artículo de revisión Ventilación mecánica Mechanical Ventilation. Vol. 28, *Acta Med Per.*
21. María I, Illera U, Cristancho Gómez W. VENTILACIÓN MECÁNICA.
22. Gil Cano A, Monge García MI, Gracia Romero M, Díaz Monrové JC. Incidencia, características y evolución del barotrauma durante la ventilación mecánica con apertura pulmonar. *Med Intensiva.* junio de 2012;36(5):335–42.
23. De Baufre WL. MECHANICAL POWER. *Science* (80-). el 30 de octubre de 2019;62(1609):381–4.
24. Sun Y, Li S, Wang S, Li C, Li G, Xu J, et al. Predictors of 1-year mortality in patients on prolonged mechanical ventilation after surgery in intensive care unit: A multicenter, retrospective cohort study. *BMC Anesthesiol.* 2020;20(1):1–9.
25. Esper RC, Domínguez VC. Reclutamiento alveolar y decúbito prono para el manejo del síndrome de insuficiencia respiratoria. *Med Interna Mex.* 2005;21(1):60–8.
26. Volume V, Mexicana S. La ventilación mecánica en el síndrome de insuficiencia respiratoria aguda. Repaso para principiantes. *Neumol Cir Torax.* 2005;64(1):22–9.
27. Giosa L, Busana M, Pasticci I, Bonifazi M, Macri MM, Romitti F, et al. Mechanical power at a glance: a simple surrogate for volume-controlled ventilation. *Intensive Care Med Exp.* 2019;7(1).

28. Silva PL, Ball L, Rocco PRM, Pelosi P. Power to mechanical power to minimize ventilator-induced lung injury? *Intensive Care Med Exp.* el 25 de julio de 2019;7(S1):38.
29. Young CC, Harris EM, Vacchiano C, Bodnar S, Bukowy B, Elliott RRD, et al. Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations. *Br J Anaesth.* 2019;123(6):898–913.
30. Maia LDA, Samary CS, Oliveira M V., Santos CL, Huhle R, Capelozzi VL, et al. Impact of Different Ventilation Strategies on Driving Pressure, Mechanical Power, and Biological Markers during Open Abdominal Surgery in Rats. *Anesth Analg.* 2017;125(4):1364–74.
31. Chiumello D, Gotti M, Guanziroli M, Formenti P, Umbrello M, Pasticci I, et al. Bedside calculation of mechanical power during volume- And pressure-controlled mechanical ventilation. *Crit Care.* 2020;24(1):1–8.
32. Alma Erika Hernández Plata,* José Antonio Castillo Alonso,* José david Salmerón González,* Claudia Nelly Cruz Enríquez,* Ma. Natalia Gómez González RSO, RESuMEN. limitar presion de distension .pdf. León, Guanajuato: Medicina crítica (Colegio Mexicano de Medicina Crítica); 2019. p. 36–44.
33. Becher T, van der Staay M, Schädler D, Frerichs I, Weiler N. Calculation of mechanical power for pressure-controlled ventilation. *Intensive Care Med.* 2019;45(9):1321–3.
34. Becher T, Adelmeier A, Frerichs I, Weiler N, Schädler D. Adaptive mechanical ventilation with automated minimization of mechanical power-a pilot randomized cross-over study. *Crit Care.* 2019;23(1):338.
35. Herrmann J, Tawhai MH, Kaczka DW. Strain, strain rate, and mechanical power: An optimization comparison for oscillatory ventilation. *Int j numer method biomed eng.* 2019;35(10):1–17.

ANEXOS

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

ANEXO 1. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN PARA PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

“Medición del poder mecánico previo y posterior a la aplicación de neumoperitoneo en cirugía laparoscópica.”

Nombre (iniciales):

Edad en años:

sexo (masculino o femenino):

Peso (k):

Talla (m):

IMC(peso/talla²):

Diagnóstico:

Procedimiento quirúrgico:

Enfermedad pulmonar diagnosticada (SI/NO), ¿cuál?

Poder mecánico previo a la aplicación de neumoperitoneo	Poder mecánico posterior a la aplicación de neumoperitoneo

Observaciones:

ELABORÓ Y REALIZÓ:

Dr. Mauricio Lara Santos