



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA

**PEEP ÓPTIMA Y SU IMPACTO SOBRE LA
CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL
CORAZÓN DERECHO**

TESIS

Que para obtener el título de

MEDICINA CRÍTICA

PRESENTA

DR. CARLOS JESÚS CASTRO LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. EDUARDO GARRIDO AGUIRRE

ASESOR METODOLÓGICO

DR. SILVIO ANTONIO ÑAMENDYS SILVA

Ciudad Universitaria, CD.MX, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**SISTEMA NACIONAL DE SALUD
DIRECCIÓN DE ENSEÑANZA
FUNDACIÓN CLÍNICA MÉDICA SUR
MEDICINA CRÍTICA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

DRA. CARMEN ZAVALA GARCÍA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE POSGRADO

DR. EDUARDO GARRIDO AGUIRRE
ASESOR Y TUTOR DE TESIS EN
MEDICINA CRÍTICA.

DR. SILVIO ANTONIO ÑAMENDYS SILVA
ASESOR METODOLÓGICO Y TUTOR DE
TESIS EN MEDICINA CRÍTICA.

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS:

A Dios: por bendecirme y estar conmigo en cada paso que doy.

A mis padres: Gustavo Eugenio Castro Valdez (†) y Alicia López Cervantes, por darme la vida, por su amor y apoyo incondicional, a ustedes les dedico esta tesis.

A mi novia: Jessica Anahi Betancourt Trejo, por su apoyo incondicional durante toda la carrera, sus cuidados y su gran amor.

A mis hermanos: por el apoyo que me han brindado durante toda mi carrera.

A mis amigos: por su cariño, apoyo y todos los momentos de alegría, felicidad y aventura; por sus consejos en los momentos difíciles, gracias por compartir tantas experiencias de vida.

A mis asesores: Dr. Eduardo Garrido Aguirre y Dr. Silvio A. Ñamendys Silva, por su honesto interés, tiempo y dedicación en la elaboración de esta tesis.

A mis maestros: por todas sus enseñanzas y experiencias compartidas.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Hospital Médica Sur porque me dieron la oportunidad de formar parte de ellos.

¡Gracias!

ÍNDICE

1. Introducción	5
2. Planteamiento del problema	11
3. Pregunta de Investigación	11
4. Justificación	12
5. Hipótesis	13
6. Objetivos	13
7. Material y métodos	
a. Diseño del estudio	14
b. Población en estudio	14
c. Metodología	15
d. Procesamiento y análisis estadístico	15
8. Definición de variables	18
9. Implicaciones éticas	27
10. Resultados	28
11. Discusión	32
12. Conclusiones	33
13. Referencias Bibliográficas	34
14. Anexos	36

1. INTRODUCCIÓN

La ventilación mecánica invasiva con presión positiva es una herramienta de soporte vital de amplio uso en la terapia intensiva. Los motivos por los cuales los usuarios de los servicios de salud requieren apoyo mecánico ventilatorio son múltiples, desde problemas respiratorios agudos primarios, hasta problemas no pulmonares que requieren la protección de la vía aérea, como estrategia para disminuir la presión intracraneal, reducir el consumo de oxígeno del cuerpo, etcétera^{1,2}.

Durante la ventilación mecánica se han de realizar cálculos para estimar las variables de programación a las que se ha de someter el sujeto ventilado; así, se determina el volumen corriente ajustado por peso predicho (VcPP), la frecuencia respiratoria (FR), las constantes de tiempo inspiratorio y espiratorio (Relación I:E), la fracción inspirada de oxígeno (FiO₂) y la presión positiva al final de la espiración (PEEP). También se realizan cálculos para conocer la mecánica pulmonar, como son la distensibilidad estática (Cstat), la distensibilidad dinámica (Cdyn), la presión meseta (Pmes), la PEEP intrínseca (PEEPi), la resistencia de la vía aérea (Raw), la presión de distensión (ΔP), entre otras^{3,4}.

Se ha descrito ampliamente que la ventilación con presión positiva puede tener efectos adversos, uno de ellos es el concepto conocido como biotrauma, que comprende la agrupación de tres fenómenos (barotrauma, volutrauma y ateletrauma) que puede ocurrir en los sujetos en ventilación mecánica y genera, o empeora, según sea el contexto, una lesión pulmonar aguda^{5,6,7}. Una estrategia en la ventilación mecánica para reducir la incidencia del biotrauma, es la ventilación de protección pulmonar, que consiste en programar un volumen corriente bajo, menor de 8 mililitros por kg de peso predicho (ml/kgPP), y en pacientes con síndrome de insuficiencia respiratoria aguda (SIRA) tan bajos como entre 4 y 6 ml/kgPP⁸. Ésta estrategia también busca mantener presiones bajas en la vía aérea, es decir, presión pico (Pp) y presión meseta (Pmes) menores de 35 y 30 cmH₂O, respectivamente^{5,8,9}.

Presión positiva al final de la espiración (PEEP).

De manera fisiológica, una ventilación espontánea ocurre porque se incrementa la presión transpulmonar (Ptp),^{10,11} es decir, al inicio de la inspiración el diafragma se contrae y genera un descenso del mismo en su diámetro cefalo-caudal de 1 cm por debajo de su posición en reposo, a nivel de capacidad residual funcional (CRF). Ésto incrementa la presión negativa en la pleura lo que aumenta la Ptp hasta 10 cmH₂O; así la presión alveolar (Palv) disminuye de 760 mmHg a nivel de CRF (espiración a volumen corriente) a

755 mmHg generando una diferencia de presión con respecto a la presión barométrica (PB) que es de 760 mmHg a nivel del mar. Este delta de presión de 5 mmHg genera un flujo de aire hacia el interior del sistema respiratorio con un valor teórico de 8 ml/kg de peso (Aproximadamente 500 ml) que se llama volumen corriente (Vc). Durante la espiración, el diafragma regresa a su posición de reposo y genera a nivel alveolar un incremento de la presión de 765 mmHg, la cual es 5 mmHg mayor que la PB, este delta de presión genera el flujo de aire hacia fuera del sistema respiratorio. Es entonces cuando la Palv y la PB se igualan a 760 mmHg a nivel de CRF^{11,12}. La PEEP se define como la presión que existe en el alvéolo a nivel de CRF y que es mayor a la PB. Así, por definición, no existe la PEEP fisiológica, ya que al igualarse la Palv y la PB al final de una espiración normal, la PEEP fisiológica es igual a cero mmHg¹¹.

Durante la ventilación mecánica con presión positiva, se programa una PEEP extrínseca que mantiene la Palv mayor a la PB al final de la espiración^{12,13,14}. El incremento de la PEEP puede generar una reducción de la precarga e incrementar la resistencia vascular pulmonar; esto reduce el volumen eyectado del VI (FEVI) y puede finalizar en la disminución del gasto cardiaco (GC)¹⁵⁻¹⁷. Así la programación de un valor de PEEP excesivamente alto se asocia con disfunción ventricular derecha y caída del GC¹⁸⁻²¹; por lo anterior, administrar un valor de PEEP ideal, tiene la ventaja, al menos teórica, de reducir el impacto hemodinámico adverso.

Cálculo de la PEEP ideal.

En las unidades de cuidados intensivos la titulación y cálculo de la PEEP ideal es una maniobra que se realiza de forma cotidiana en todos los sujetos sometidos a ventilación mecánica invasiva. Se define PEEP ideal como aquella que logra la mejor mecánica pulmonar, mantiene la mayor área de pulmón reclutado y genera el menor impacto hemodinámico^{3,4,22}. Existen diversos métodos para calcularlo, entre ellas la maniobra con asa de flujo lento, siendo la PEEP ideal aquella que se encuentra 2 cmH₂O por encima del punto de inflexión inferior^{13,14}. Otro método de uso más común es la titulación de la PEEP hasta el valor que genere la mejor distensibilidad estática (Cstat) del sistema respiratorio^{13,14}. Fisiológicamente, se entiende por distensibilidad pulmonar como el cambio de volumen por cada cambio de presión transpulmonar¹¹. En ventilación mecánica con presión positiva, la distensibilidad se define como el cambio de volumen corriente espirado por cada cambio de presión soporte en la vía aérea. La fórmula para el cálculo de la Cstat es la siguiente:

$$Cstat = Vte / (Presión meseta - PEEP)^{11,13,14}.$$

Para dicho cálculo es necesario que el paciente tenga una adecuada sedación y ausencia de esfuerzo respiratorio, pudiendo emplearse el bloqueo neuromuscular^{23,24}.

Valoración ecográfica del corazón derecho.

El ventrículo derecho (VD) tiene diferencias anatómicas y fisiológicas respecto al ventrículo izquierdo (VI). El VD tiene: ausencia de la capa de fibras espirales en el miocardio, una anatomía en pirámide que se adosa al VI, un mayor volumen telediastólico (VTD) y menor fracción de eyección (FE), representa una quinta parte de la masa muscular del VI y es un sistema de baja presión y resistencia^{25,26}.

La función ventricular derecha es de importancia durante la ventilación mecánica, por lo que surge el término de ventilación de protección ventricular derecha^{16,18,21}; ésta trata de proporcionar una asistencia ventilatoria suficiente para corregir la falla respiratoria, permitiendo la mejor mecánica pulmonar sin afectar negativamente la función del ventrículo derecho^{2,19,27}.

La evaluación funcional del ventrículo derecho puede realizarse con métodos invasivos o no invasivos²⁸. En las UCIs el ultrasonido ha ocupado un lugar importante, pues permite llegar al diagnóstico etiológico de los estados del choque en el 37% de los casos y genera una intervención en el tratamiento hasta en el 40% de los casos. La ecocardiografía transtorácica cualitativa y avanzada ocupa un lugar cada vez mayor en las UCIs y puede evaluar el impacto de la VMI sobre el VD^{28,29}.

En la ecografía cardiaca existen diferentes variables que informan sobre la función del corazón derecho, y se enumeran a continuación:

Aurícula derecha:

1. Área de la AD: se mide por planimetría en la ventana apical de cuatro cámaras en la telesístole, cuando la AD tiene su mayor tamaño. Su valor normal es ≤ 18 cm².
2. Dimensiones lineales: se miden en la ventana apical de cuatro cámaras en la telesístole.
 - a. Eje mayor (longitudinal): se miden en sentido cefalo-caudal desde el centro del plano anular tricuspídeo hasta la parte más superior de la pared de la AD. Su valor normal indexado al área de superficie corporal (ASC) en hombres es ≤ 3.0 cm/m^{2sc}, y en mujeres ≤ 3.1 cm/m^{2sc}.
 - b. Eje menor (Transversal): se mide en dirección izquierda-derecha, desde el tabique inter-auricular hasta la zona más distal de la pared de la AD. Su

valor normal indexado al ASC en hombres es ≤ 2.5 cm/m²sc en hombres y mujeres.

3. Volumen de la AD: en la vista apical de cuatro cámaras, en un solo plano, en la telesístole, se puede medir usando el método de Simpson, el método biplano elipsoide o el método de discos en 3D. Los valores normales, medido por el método de Simpson es ≤ 39 ml/m² en hombres y ≤ 33 ml/m² en mujeres^{25,26,29}.

Ventrículo derecho:

- **Diámetro basal del VD:** se mide en la vista apical de cuatro cámaras con enfoque en VD, en telediástole, es el diámetro máximo en el tercio basal del VD. Su valor normal es ≤ 4.1 cm. Se recomienda como la medida básica estándar preferida del tamaño del VD, a menos que se notifiquen volúmenes en 3D.
- **Diámetro medio del VD:** se mide en la misma ventana que el anterior a mitad de camino entre el vértice y el plano anular. Su valor normal es ≤ 3.5 cm.
- **Relación VD/VI:** en vista apical de cuatro cámaras, es el cociente entre el diámetro telediastólico del VD entre el diámetro telesistólico del VI. El valor normal de cociente VD/VI es \leq de 0.9.
- **Tracto de salida distal del ventrículo derecho (TSVD distal):** se mide en el eje corto paraesternal, por delante de la inserción de las valvas de la válvula pulmonar. Su valor normal es $\leq 2,7$ cm.

El VD tiene una anatomía compleja, por lo que las mediciones del área, dimensiones lineales y volumen, no se recomiendan. Se prefiere medir la funcionalidad con las variables que se enumeran a continuación:

1. **Excursión sistólica en el plano del anillo tricuspídeo (TAPSE):** refleja el acortamiento longitudinal del VD. Se mide en la ventana apical de cuatro cámaras en modo M, colocando el cursor a nivel lateral del anillo tricuspídeo; se mide la distancia máxima recorrida por el punto de referencia durante la sístole. Una mayor distancia recorrida implica una mayor función sistólica del VD. Su valor normal es ≥ 17 mm. Sólo representa un componente del movimiento del VD dentro de un solo segmento del miocardio.
2. **Velocidad anular tricuspídea (S´):** refleja el desplazamiento longitudinal del VD. Se mide en la ventana apical de cuatro cámaras colocando el cursor en doppler tisular a nivel lateral del anillo tricuspídeo y midiendo la velocidad máxima en

sístole. Una mayor velocidad implica mayor función sistólica del VD. El valor normal del S' es ≥ 9.5 cm/s.

3. **Cambio fraccional de área (FAC):** es el porcentaje de cambio en el área del VD de diástole a sístole en un plano 2D. Se mide en la ventana apical de cuatro cámaras trazando manualmente el contorno del VD en telediástole y telesístole. El FAC se calcula como sigue: $FAC = [(ATD-VD - ATS-VD) / ATD-VD] \times 100$. Su valor normal es $\geq 35\%$.

4. **Índice de rendimiento miocárdico (MPI) o índice de Tei:** refleja la función sistólica y diastólica del VD. Se basa en intervalos de tiempo y es independiente de la geometría del VD y de su patrón de contracción. Se calcula de la siguiente manera:

$MPI = (\text{tiempo de relajación isovolumétrica} + \text{tiempo de contracción isovolumétrica}) / \text{tiempo de eyección} = (\text{tiempo de cierre tricuspídeo a apertura} - \text{tiempo de eyección}) / \text{tiempo de eyección}$

Los valores más bajos indican una función superior, ya que el VD saludable tiene un tiempo menor en estado isovolumétrico y mayor en eyección. Se puede medir de dos maneras:

a. MPI doppler pulsado:

- i. El tiempo de eyección se obtiene con el trazado doppler de la onda pulsada en el tracto de salida distal del VD.
- ii. El tiempo de apertura y cierre tricuspídeo se obtiene trazando la onda pulsada doppler del flujo tricuspídeo (tiempo desde el final de la onda A hasta el inicio de la siguiente onda E).
- iii. El tiempo isovolumétrico se obtiene con la diferencia entre el tiempo de cierre-apertura tricuspídeo y el tiempo de eyección. El valor normal es ≤ 0.43 .

- b. MPI doppler tisular:** el tiempo de eyección, el tiempo de apertura y cierre de la válvula tricuspídea y el tiempo isovolumétrico derivan del trazado doppler tisular a nivel lateral al anillo tricuspídeo. Su valor normal es ≤ 0.54 . Este método tiene la ventaja de medirse a partir de un solo latido

5. **FEVD por 3D:** es calculado con la siguiente fórmula: $(VTD-VD - VTS-VD) / VTD-VD$, con adquisiciones medidas en 3D. Es la medida ecocardiográfica más precisa de la función sistólica del VD. El valor normal es $\geq 45\%$.

6. **Imagen de deformación por 2D:** se puede medir la deformación y la velocidad de deformación derivada con método de doppler tisular o seguimiento de moteado respectivamente.
7. **Función diastólica del VD:** la función diastólica del VD puede evaluarse con el doppler pulsado de onda del flujo trans-trícuspídeo, el examen doppler tisular del anillo tricuspídeo lateral y la evaluación de la presión de la AD utilizando el tamaño de la vena cava inferior (VCI) y la colapsabilidad y el patrón de flujo de la vena hepática^{25,26,29}.

Ventrículo izquierdo y gasto cardiaco:

La función sistólica del ventrículo izquierdo (VI) puede ser evaluada con ecocardiografía estimando la fracción de expulsión del VI (FEVI).

Para ello se determina primero el volumen sistólico del VI (VS) a través de la ventana apical de cuatro cámaras o dos cámaras, como la diferencia entre el volumen telediastólico y el telesistólico del VI ($VS = VTDVI - VTSVI$). Habiendo determinado el VS, la FEVI es calculada dividiendo el VS entre el VTDVI y multiplicándolo por 100, es decir, $FEVI = (VS / VTDV) \times 100$. Su valor normal es $\geq 35\%$.

El gasto cardiaco es calculado como el producto del VS y la FC del paciente al momento de realizar las mediciones ecográficas, su valor normal es ≥ 3.5 L/min en mujeres y ≥ 4 L/min en hombres. El índice cardiaco (IC) es medido como el cociente del GC entre el área de superficie corporal (ASC), su valor normal es ≥ 2.2 L/min/m²²⁵.

Ventrículo derecho y PEEP

Durante la ventilación mecánica, los niveles altos de presión positiva con frecuencia disminuyen el gasto cardiaco, pudiendo causar inestabilidad hemodinámica. Los mecanismos por lo que esto ocurre son:

1. Disminución del retorno venoso: por reducción del gradiente de presión entre las venas sistémicas extratorácicas y la aurícula derecha. Este fenómeno puede acentuarse por la presencia de PEEP extrínseca y/o autoPEEP.
2. Reducción del gasto cardiaco del VD: la distensión alveolar con la presión positiva comprime el lecho capilar pulmonar, lo que incrementa la resistencia de la vasculatura pulmonar, reduciendo así el gasto cardiaco del VD.
3. Reducción del gasto cardiaco del VI: el incremento de la resistencia vascular pulmonar incrementa la presión en el VD lo cual desplaza el tabique interventricular hacia la izquierda, reduciendo el VTD-VI y por tanto, el GC^{3,16-18,30}.

Éste fenómeno ocurre por la transmisión de la presión positiva en la vía aérea hacia las estructuras intra-torácicas. Éste efecto será mayor cuando la distensibilidad de la caja torácica es menor o cuando la distensibilidad pulmonar es mayor^{3,4,18,27,31}.

Como se mencionó antes, en las UCIs se realiza, en todo paciente ventilado, el cálculo de la PEEP ideal; sin embargo, aunque está ampliamente descrito el efecto negativo que puede generar los niveles elevados de presión positiva sobre la función del ventrículo derecho, se desconoce si la ventilación de protección pulmonar con aplicación de PEEP óptima, afecta a la función y estructura del corazón derecho.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las unidades de cuidados intensivos de todo el mundo, aproximadamente entre el 40 y 50% de los pacientes se encuentran en ventilación mecánica^{1,32}. Como es bien conocido, la presión positiva en la vía aérea puede generar disminución de la precarga y disfunción del ventrículo derecho cuando estas presiones son muy elevadas, pudiendo causar deterioro hemodinámico por bajo gasto cardíaco^{2,19,20}.

Unas de las estrategias para reducir este efecto deletéreo sobre la función ventricular derecha consiste en aplicar la PEEP ideal, la cual es entendida como aquella que permite mantener la mejor mecánica ventilatoria y, teóricamente, genera la menor repercusión cardiovascular^{4,17,22}.

Muchas estrategias para calcular la PEEP ideal se basan en pruebas de mecánica pulmonar^{13,14}. Aunque está ampliamente descrito el efecto deletéreo que los niveles elevados de PEEP originan sobre el ventrículo derecho, no existen estudios que muestren cuál es el impacto de la PEEP ideal sobre la función y estructura del corazón derecho, por lo que nos planteamos la siguiente pregunta:

En los pacientes con ventilación mecánica invasiva, atendidos en la unidad de cuidados intensivos del Hospital Fundación Clínica Médica Sur, ¿La PEEP ideal, calculada con pruebas de mecánica pulmonar, se asocia con cambios en la configuración estructural y funcional del corazón derecho?

3. JUSTIFICACION

La ventilación mecánica invasiva es una herramienta de soporte vital de amplio uso, en diferentes contextos clínicos, alrededor del mundo^{1,32}. Si bien su correcta programación puede sostener la función pulmonar, el uso de presiones excesivamente altas en la vía aérea, puede condicionar daño pulmonar y deterioro cardiovascular^{2,5,7,18}.

La PEEP es la presión positiva en la vía aérea, a nivel de capacidad residual funcional, que es superior a la presión atmosférica^{11,12}; su aplicación se fundamenta en que incrementa la presión transpulmonar, y con ello mantiene la apertura de las unidades alveolares, favoreciendo la respiración externa^{11,13,14}.

Sin embargo, una aplicación excesivamente alta de la PEEP, puede generar barotrauma por distensión excesiva de las unidades alveolares^{5,7}; además, el incremento de la presión intratorácica conlleva a disfunción ventricular derecha^{20,21}. Por lo contrario, un nivel de PEEP excesivamente bajo condiciona el fenómeno de ateletrauma y menor probabilidad de deterioro cardiovascular^{5,7}. Por ello optimizar el nivel de la PEEP durante la ventilación mecánica es una estrategia que se realiza de rutina en todas las unidades de cuidados intensivos. Entre las estrategias de mayor uso para encontrar la PEEP ideal se encuentran las pruebas de mecánica pulmonar. El beneficio teórico de aplicar la PEEP ideal consiste en evitar el deterioro de la mecánica ventilatoria y de la función cardiovascular^{2,3,31}. Sin embargo, al calcular la PEEP ideal conocemos que mejora la mecánica pulmonar, pero no sabemos cuál es el impacto de ésta sobre la configuración estructural y funcional del corazón derecho^{16,31}.

Por lo anterior el presente estudio pretende determinar si la aplicación de la PEEP ideal genera algún cambio en la estructura y función del corazón derecho, esto permitirá conocer si el cálculo de la PEEP ideal, con pruebas de mecánica pulmonar, en verdad es óptima al permitir obtener la mejor mecánica pulmonar sin causar deterioro cardiovascular.

Los hallazgos obtenidos en este estudio serán de relevancia, pues podría sugerir que la titulación de la PEEP ideal no debiera basarse exclusivamente en pruebas de mecánica pulmonar, sino que habrá que evaluar la función del corazón derecho para lograr, además de una ventilación de protección pulmonar, una ventilación de protección del ventrículo derecho, o dicho en otras palabras, asegurar que la PEEP ideal en verdad sea óptima para el sistema respiratorio y cardiovascular.

4. HIPÓTESIS

Ho. La PEEP ideal, calculada con pruebas de mecánica pulmonar, no se asocia con cambios en la configuración estructural y funcional del corazón derecho, en pacientes con ventilación mecánica, atendidos en la unidad de cuidados intensivos del Hospital Fundación Clínica Médica Sur en el periodo comprendido del 1 de junio al 31 de agosto de 2018.

Ha. La PEEP ideal, calculada con pruebas de mecánica pulmonar, se asocia con cambios en la configuración estructural y funcional del corazón derecho, en pacientes con ventilación mecánica, atendidos en la unidad de cuidados intensivos del Hospital Fundación Clínica Médica Sur en el periodo comprendido del 1 de junio al 31 de agosto de 2018.

5. OBJETIVOS

- GENERAL

Determinar si la PEEP ideal, calculada con pruebas de mecánica pulmonar, se asocia con cambios en la configuración estructural y funcional del corazón derecho, en pacientes con ventilación mecánica, atendidos en la unidad de cuidados intensivos del Hospital Fundación Clínica Médica Sur en el periodo comprendido del 1 de junio al 31 de agosto de 2018.

- ESPECIFICOS

1. Describir las características socio-demográficas.
2. Describir los antecedentes de salud y enfermedad aguda.
3. Determinar la PEEP ideal con pruebas de mecánica pulmonar.
4. Determinar la configuración estructural y funcional del corazón derecho, con ecocardiografía transtorácica, antes y después de aplicar la PEEP ideal.
5. Describir la programación del ventilador y la mecánica pulmonar, antes y después de aplicar la PEEP ideal.
6. Determinar si existen cambios en la estructura y función del corazón derecho después de aplicar la PEEP ideal.

6. MATERIAL Y METODOS:

a. DISEÑO DEL ESTUDIO

Estudio observacional, analítico, longitudinal y prospectivo.

b. POBLACIÓN DE ESTUDIO

El universo contempló todos los pacientes con ventilación mecánica invasiva atendidos en la unidad de cuidados intensivos del Hospital Fundación Clínica Médica Sur en el periodo comprendido del 1 de junio al 31 de agosto de 2018.

El muestreo fue no probabilístico, consecutivo, y estuvo formado por 24 pacientes con ventilación mecánica invasiva atendidos en la unidad de cuidados intensivos del Hospital Fundación Clínica Médica Sur en el periodo comprendido del 1 de junio al 31 de agosto de 2018.

c. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Pacientes con edad mayor de 18 años.
- Pacientes que se encuentren en sus primeras 24 horas de ventilación mecánica invasiva.

d. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Pacientes con: neumotórax, fístula bronco-pleural o pleuro-cutánea, enfermedad pulmonar intersticial, enfisema subcutáneo, intubación selectiva, neumonectomía, estado de choque refractario no compensado, hipertensión arterial pulmonar e hipertensión pulmonar, infarto agudo al miocardio nuevo o antiguo que haya afectado el territorio vascular del ventrículo derecho, embolismo pulmonar, presencia de pleurostomía, hipertensión abdominal, broncoespasmo de difícil control y presencia de fuga en el ventilador.
- Paciente con mala ventana para realizar el ecocardiograma transtorácico.

e. CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- Pacientes con información incompleta.
- Pacientes cuyo PEEP ideal sea igual a la PEEP de la programación inicial.
- Pacientes que estuvieron menos de 24 horas en ventilación mecánica.

f. METODOLOGIA

Previa autorización del comité de ética del Hospital Fundación Clínica Médica Sur, se procedió a reclutar a los pacientes que cumplieron con los criterios de selección, atendidos en la unidad de cuidados intensivos de dicho hospital, en el periodo comprendido del 1 de junio al 31 de agosto de 2018.

Se revisó el expediente clínico y se evaluó la configuración estructural y funcional del corazón derecho antes y después del cálculo y aplicación de la PEEP ideal. Ésta última fue calculada por el personal médico de la terapia intensiva, médico interconsultante o tratante, de acuerdo al método de mecánica pulmonar de su preferencia. Asimismo, la programación de la ventilación mecánica fue a consideración de dichos médicos.

Para la recolección de los datos sociodemográficos, antecedentes de salud, enfermedad aguda, configuración estructural y funcional del corazón derecho, la programación del ventilador y la mecánica pulmonar, se utilizó un formato de recolección de datos (ver anexo 1).

Los datos sociodemográficos fueron: edad, medido en años cumplidos; el sexo se clasificó como hombre o mujer. Las comorbilidades fueron todas aquellas condiciones de enfermedad presentes al momento del ingreso hospitalario (p.ej. diabetes, hipertensión arterial sistémica, hipotiroidismo, EPOC, infección por VIH/SIDA, entre otros) y fueron clasificados como presentes o ausentes. El índice de masa corporal (IMC) se calculó con la siguiente fórmula: peso en kg dividido entre el cuadrado de la talla en metros (kg/m^2). El antecedente de tabaquismo fue dado como positivo si la persona fumó más de 100 cigarrillos en toda su vida, independiente del tiempo de haber suspendido el mismo y se cuantificó con el índice tabáquico de acuerdo a la fórmula: $(\text{número de cigarrillos fumados} / 20) \times \# \text{ años fumados}$, expresado en paquetes/año. La enfermedad aguda fue considerada como aquella que motivó el inicio de la ventilación mecánica invasiva.

Se consideraron las siguientes variables de programación del ventilador: Volumen corriente dividido entre el peso predicho (V_{tePP}); el cálculo del peso predicho se realizó de acuerdo a la fórmula empleada por el grupo ARDS-Net: $(\text{Talla}-152.4) \times 0.91 + 50$ y $(\text{Talla}-152.4) \times 0.91 + 45.5$ para hombres y mujeres respectivamente. El V_{tePP} fue expresado en ml/kgPP , la fracción inspirada de oxígeno en porcentaje (%) y la PEEP en cmH_2O . Se registró los valores programados durante la realización del ecocardiograma transtorácico,

antes y después de aplicar la PEEP ideal. Estas variables fueron programadas por el personal médico de la terapia intensiva, médico interconsultante o médico tratante según su libre albedrío.

La mecánica pulmonar estuvo formada por las siguientes variables: presión pico (Ppico), presión meseta (Pmes) y presión media de la vía aérea (Pmedia) expresados en cmH₂O; distensibilidad dinámica (Cdyn) calculado como el cociente del Vte entre la diferencia de la presión pico y la PEEP, distensibilidad estática (Cstat) calculado como el cociente del Vte entre la diferencia de la presión meseta y la PEEP, ambos expresados como ml / cmH₂O; y la resistencia de la vía aérea en cmH₂O/L/seg (Raw). La presión de distensión pulmonar fue calculada como el cociente del Vte entre la Cstat y expresado en cmH₂O. Se registraron los valores calculados durante la realización del ecocardiograma transtorácico antes y después de aplicar la PEEP ideal. Éstas variables fueron calculadas por el personal de la terapia intensiva.

La configuración estructural y funcional del corazón derecho comprendió las siguientes variables, las cuales fueron calculadas por un médico cardiólogo con entrenamiento en ecocardiografía: para la aurícula derecha se midió el área, medida por planimetría y expresada en cm², el eje mayor (longitudinal) y eje menor (transversal), ambos indexados a ASC, y expresados en cm/m²sc. El cálculo del ASC se realizó con la siguiente fórmula: $[(\text{Peso} \times 4) + 8 / \text{Peso} + 90]$. Para el ventrículo derecho se midió el diámetro basal, diámetro medio y el TSVD distal, expresados en cm; la relación VD/VI se calculó como el cociente entre el diámetro telediastólico del VD y el diámetro telediastólico del VI. Además, se midieron las siguientes variables de función ventricular derecha: excursión sistólica en el plano del anillo tricuspídeo (TAPSE) expresado en mm; velocidad anular tricuspídea (S') medido en cm/s; cambio fraccional de área (FAC) como el porcentaje de cambio en el área del VD de telediástole a telesístole en 2D y el MPI o índice de Tei con doppler pulsado y tisular.

Por último, se estimó el VS del VI como la diferencia entre el VTDVI y el VTSVI, el cual fue expresado en mililitros; para obtener el GC se multiplicó el VS por la FC y se expresó como L/min.

g. PROCESAMIENTO, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó estadística descriptiva: medidas de tendencia central y dispersión: rango, media, mediana, moda, desviación estándar, proporciones o porcentajes.

Por tener dos muestras pareadas, se utilizó estadística inferencial. Para los parámetros principales se empleó:

b.1) escala nominal. Prueba de Chi cuadrada.

b.3) escala de intervalo: T de Student.

El nivel de significancia para rechazar la hipótesis nula (H_0) será de $p < 0.05$.

Comparación	Paramétrica	No Paramétrica
2 muestras	t de 2 muestras	W-Mann Whitney (suma de rangos)
Pareado	t pareada	Rangos señalados de Wilcoxon
>2 muestras	ANOVA (1 vía)	Kruskal-Wallis
Correlación	r de pearson	r de Spearman

Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 25. Se calculó la media y desviación estándar (DE) o mediana y rango intercuartil (RIQ) de las variables numéricas, de acuerdo a la distribución de normalidad del conjunto de datos. Las variables cualitativas fueron medidas y expresadas como frecuencias y porcentajes.

Para determinar la existencia de distribución normal, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, con un nivel de confianza de 95%. Ésta plantea como hipótesis nula (H_0) que una muestra proviene de una población con distribución normal. Así, la regla de decisión, para determinar la presencia de distribución normal, consistió en no rechazar la H_0 , es decir, que un valor de $p > 0.05$ confirmó la distribución Gaussiana.

Para las variables numéricas con distribución normal, se determinó la presencia de cambios significativos por medio de la prueba paramétrica "z". Para las variables numéricas con distribución no normal se empleó la prueba no paramétrica de Wilcoxon y para las variables cualitativas la prueba de McNemar.

Las tres pruebas de contraste de hipótesis fueron para muestras dependientes y se consideró un nivel alfa de significancia del 95%.

La hipótesis de trabajo planteó que aplicar la PEEP ideal, calculada con pruebas de mecánica pulmonar, genera cambios en la configuración estructural y funcional del corazón derecho, en una población de pacientes críticos con ventilación mecánica, atendidos en la unidad de cuidados intensivos del Hospital Fundación Clínica Médica Sur, en la Ciudad de México, México. Por lo que se esperó determinar una relación positiva diferente de cero y con significancia estadística.

La hipótesis estadística se presentó como:

Ho: $\mu_i = \mu_z$

Ha: $\mu \neq 0$

Donde μ_i es la configuración estructural y funcional del corazón derecho con la PEEP de la programación inicial del ventilador, la cual deberá ser diferente de la estructura y función del corazón derecho al aplicar la PEEP ideal. La regla de decisión estableció rechazar la Ho si el valor de la prueba "z" del estudio fuese mayor que el valor de tabla para esta prueba ($z = 1.984$) con un valor $\alpha = 0.05$ y $n-1$ grados de libertad.

Al rechazar la Ho se concluye que al aplicar la PEEP ideal existe un cambio significativo en la estructura y función del corazón derecho.

7. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES

1. Datos sociodemográficos:

A. Edad:

- Definición conceptual: número de años vivido por una persona.
- Definición operacional: medida en años. Variable cuantitativa discreta, con escala de medición de intervalo. La unidad de medida fue expresada como media (DE) o mediana (RIQ), dependiendo de la curva de distribución de normalidad del conjunto de datos.

B. Sexo

- Definición conceptual: condición biológica al nacimiento que diferencia al hombre de la mujer.
- Definición operacional: será medida como hombre o mujer. Variable cualitativa, con escala de medición nominal. La unidad de medida será expresada como frecuencia y porcentaje.

2. Antecedentes de salud:

A. Comorbilidades:

- Definición conceptual: enfermedad o conjunto de enfermedades de evolución crónica que afectan el estado de salud de una persona.
- Definición operacional: Variable cualitativa, con escala de medición nominal. La unidad de medida será expresada como frecuencia y porcentaje. Será medida como "presente" o "ausente" para cada una de las siguientes enfermedades:

- Diabetes mellitus
- Hipertensión
- Cardiopatía isquémica
- Arritmias cardíacas
- Insuficiencia cardíaca
- Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
- Asma
- Enfermedad renal
- Enfermedad hepática
- Otras

B. Tabaquismo:

- Definición conceptual: consumo de cigarrillos en cantidad mayor a 100 en toda la vida.
- Definición operacional: Variable cualitativa con escala de medición nominal. Será medida como como "presente" o "ausente". La unidad de medida será expresada como frecuencia y porcentaje.

C. Estado nutricional:

- Definición conceptual: denota el estado nutricional de una persona y es calculado con el IMC, es decir, como el cociente entre el peso en kg dividido entre el cuadrado de la talla en cm ($\text{Kg} / \text{Talla}^2$).
- Definición operacional: variable cualitativa con escala de medición ordinal. La unidad de medida será expresada como frecuencia y porcentaje. Será medida en base al siguiente cuadro:

IMC	Estado nutricional
<18,5	Bajo peso
18,5-24,9	Peso normal
25-29,9	Sobrepeso
30-34,9	Obesidad de tipo I
35-39,9	Obesidad de tipo II
40-49,9	Obesidad de tipo III (mórbida)
>50	Obesidad extrema)

D. Enfermedad aguda:

- Definición conceptual: Enfermedad que genera el estado de gravedad del paciente.
- Definición operacional: Enfermedad que generó el inicio de la ventilación mecánica. Variable cualitativa, con escala de medición nominal. La unidad de

medida será expresada como frecuencia y porcentaje. Será medida como "presente" o "ausente" para cada una de las siguientes condiciones:

- Enfermedad pulmonar
- Enfermedad cardiaca
- Enfermedad neurológica
- Sepsis / Choque séptico
- Post-quirúrgico
- Otro

3. *Programación del ventilador antes y después de la aplicación de la PEEP ideal:*

A. Volumen corriente:

- Definición conceptual: volumen corriente objetivo programado en el ventilador en modo mandatorio continuo controlado por volumen.
- Definición operacional: volumen corriente objetivo dividido entre peso predicho, éste último calculado en base a la fórmula del ARDSNet. Variable cuantitativa continua, con escala de medición de razón. Será medida como mililitros/peso predicho (ml/kgPP). La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución gaussiana de los datos.

B. Fracción inspirada de oxígeno (FIO₂):

- Definición conceptual: porcentaje de oxígeno en la mezcla de gases del aire inspirado, que es programada en el ventilador.
- Definición operacional: Variable cuantitativa discreta, con escala de medición de intervalo. Será medida como porcentaje. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de normalidad de los datos.

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

- Definición conceptual: presión supra-atmosférica al final de la espiración programada en el ventilador.
- Definición operacional: Variable cuantitativa discreta, con escala de medición de intervalo. Será medida como cmH₂O. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución gaussiana de los datos.

D. Modo de ventilación.

- Definición conceptual: patrón de interacción paciente-ventilador que viene determinado por la variable de control, la secuencia de ventilación y el esquema de control.
- Definición operacional: Variable cualitativa, con escala de medición nominal. Será medida como mandatorio continua controlada por volumen/presión con esquema de control manual/automático. La unidad de medida se expresará como frecuencia y porcentaje.

4. *Mecánica pulmonar antes y después de la aplicación de la PEEP ideal:*

A. Presión pico:

- Definición conceptual: presión máxima en la vía aérea registrada al final de la inspiración.
- Definición operacional: Variable cuantitativa discreta, con escala de medición de intervalo. Será medida en cmH₂O. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

B. Presión meseta:

- Definición conceptual: presión registrada en la vía aérea tras realizar una pausa inspiratoria de al menos 0.5 segundos.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de intervalo. Será medida en cmH₂O. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

C. Presión media:

- Definición conceptual: presión promedio registrada durante el ciclo respiratorio completo.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de intervalo. Será medida en cmH₂O. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos

D. Distensibilidad dinámica:

- Definición conceptual: relación entre el cambio de volumen pulmonar (ΔV) y el incremento de presión (ΔP) que produce este cambio de volumen, en condiciones de ausencia de flujo. Su cálculo se realiza como sigue: $V_{te}/PIP-PEEP$.

- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en ml/cmH₂O. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos

E. Distensibilidad estática:

- Definición conceptual: relación entre el cambio de volumen pulmonar (ΔV) y el incremento de presión (ΔP) que produce este cambio de volumen, en condiciones de ausencia de flujo. Su cálculo se realiza como sigue: $V_{te}/P_{meseta}-PEEP$.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en ml/cmH₂O. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos

F. Resistencia de la vía aérea:

- Definición conceptual: oposición de las estructuras no elásticas del pulmón al flujo de aire. Se calcula con base en la siguiente formula: $PIP-P_{meseta}/Flujo$.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en cmH₂O/L/Seg. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos

G. Presión de distensión:

- Definición conceptual: cociente del volumen corriente exhalado dividido entre la Cstat.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de intervalo. Será medida en cmH₂O. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

5. *Configuración estructural y funcional del corazón derecho antes y después de la PEEP ideal:*

A. Área de la aurícula derecha:

- Definición conceptual: Superficie de la AD en telesístole delimitada dentro de una figura cerrada, medida por el número de unidades cuadradas necesarias para cubrir la superficie.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en cm². La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

B. Eje longitudinal de AD indexado:

- Definición conceptual: línea recta en sentido cefalo-caudal desde el centro del plano anular tricuspídeo hasta la parte más superior de la pared de la AD. Medida en telesístole e indexada a ASC.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en cm/m2sc. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

C. Eje transversal de AD indexado:

- Definición conceptual: línea recta en sentido transversal desde el tabique interauricular hasta la zona más distal de la pared de la AD. Se mide en telesístole e indexado a ASC.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en cm/m2sc. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

D. Diámetro basal del ventrículo derecho:

- Definición conceptual: diámetro máximo telediastólico en el tercio basal del VD.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en cm. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

E. Diámetro medio del VD:

- Definición conceptual: diámetro máximo medido a mitad del camino entre el vértice y el plano anular tricuspídeo.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en cm. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

F. Tracto de salida distal del VD:

- Definición conceptual: línea medida en la ventana paraesternal en su eje corto por delante de la inserción de las valvas de la válvula pulmonar.

- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en cm. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

G. Relación VD/VI:

- Definición conceptual: cociente entre el diámetro telediastólico del VD y VI.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en cm. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

H. Excursión sistólica en el plano del anillo tricuspídeo:

- Definición conceptual: acortamiento longitudinal del VD. En modo M, es la distancia máxima recorrida por el punto de referencia durante la sístole.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de intervalo. Será medida en mm. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

I. Velocidad anular tricuspídea:

- Definición conceptual: medido con doppler tisular, es la velocidad máxima en sístole registrada a nivel lateral del anillo tricuspídeo.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de razón. Será medida en cm/s. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

J. Cambio fraccional de área:

- Definición conceptual: porcentaje de cambio de área del VD de diástole a sístole en un plano 2D. Se calcula con la siguiente ecuación: $FAC = [(ATD-VD - ATS-VD) / ATD-VD] \times 100$.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de intervalo. Será medida en porcentaje. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

K. Índice de Tei:

Definición conceptual: medida de función sistólica y diastólica del VD basado en medidas de tiempo. Se estima con la siguiente ecuación: $MPI = (\text{tiempo de}$

relajación isovolumétrica + tiempo de contracción isovolumétrica) / tiempo de eyección = (tiempo de cierre tricuspídeo a apertura - tiempo de eyección) / tiempo de eyección.

- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de intervalo. Será medida en segundos. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

6. *Función ventricular izquierda antes y después de la PEEP ideal:*

A. Volumen sistólico del ventrículo izquierdo:

- Definición conceptual: volumen de sangre que es proyectado en sístole del VI. Se calcula como la diferencia entre el volumen telediastólico y el telesistólico del VI, es decir, $VS = VTDVI - VTSVI$.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de intervalo. Será medida en mililitros. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos.

B. Gasto cardíaco:

- Definición conceptual: volumen de sangre que es proyectado desde el ventrículo izquierdo por minuto. Se calcula como el producto del VS x FC.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de intervalo. Será medida en L/min. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos

C. Fracción de expulsión del VI:

- Definición conceptual: porcentaje de sangre que se expulsa de un ventrículo lleno con cada latido del corazón. Se calcula con la siguiente ecuación: $FEVI = (VS / VTDVI) \times 100$.
- Definición operacional: Variable cuantitativa, con escala de medición de intervalo. Será medida en porcentaje. La unidad de medida se expresará como media (DE) o mediana (RIQ) según la distribución de los datos

DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES						
Variables Independientes	Variable	Categoría	Naturaleza	Escala de medición	Unidad de medida	
Contexto Sociodemográfico	Edad	Años	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Sexo	Hombre / Mujer	Cualitativa	Nominal	Frecuencia (%)	
Antecedentes de salud	Comorbilidad	Presente / Ausente	Cualitativa	Nominal	Frecuencia (%)	
	Tabaquismo	Presente / Ausente	Cualitativa	Nominal	Frecuencia (%)	
	Estado nutricional	Índice tabáquico		Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)
		Bajo peso		Cualitativa	Ordinal	Frecuencia (%)
		Peso normal				
Sobrepeso						
Obesidad grado I Obesidad grado II Obesidad grado III						
Enfermedad aguda	Enfermedad pulmonar Enfermedad cardiaca Enfermedad neurológica Choque séptico Post-quirúrgico Otro	Cualitativa	Nominal	Frecuencia (%)		
Programación de la ventilación	PEEP	cmH ₂ O	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Volumen corriente por peso predicho (VtePP)	ml / Kg peso predicho	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	FIO ₂	Porcentaje	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
Variables Dependientes	Variable	Categoría	Naturaleza	Escala de medición	Unidad de medida	
Mecánica pulmonar	Presión pico (Ppico)	cmH ₂ O	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Presión meseta (Pmeseta)	cmH ₂ O	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Presión media (Pmedia)	cmH ₂ O	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Distensibilidad pulmonar dinámica (Cdyn)	ml / cmH ₂ O	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Distensibilidad pulmonar estática (Cstat)	ml / cmH ₂ O	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Resistencia de la vía aérea (Raw)	cmH ₂ O / L / Seg	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Presión de distensión	cmH ₂ O	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
Configuración estructural y funcional del corazón derecho	Área de AD	cm ²	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Eje longitudinal de AD	Cm	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Eje transversal de AD	Cm	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Diámetro basal del VD	Cm	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Diámetro medio del VD	Cm	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	TSVD distal	Cm	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	
	Relación VD/VI	Cm	Cuantitativa	De intervalo	\bar{x} (DE)	

	TAPSE	Mm	Cuantitativa	De intervalo	χ (DE)
	Velocidad anular tricuspídea	cm/s	Cuantitativa	De intervalo	χ (DE)
	Cambio fraccional de área	Porcentaje	Cuantitativa	De intervalo	χ (DE)
	Índice de Tei (MPI)	Segundos	Cuantitativa	De intervalo	χ (DE)
Función ventricular del ventrículo izquierdo	Volumen sistólico	mililitros	Cuantitativa	De intervalo	χ (DE)
	Gasto cardíaco	L/min	Cuantitativa	De intervalo	χ (DE)
	FEVI	Porcentaje	Cuantitativa	De intervalo	χ (DE)

8. IMPLICACIONES ÉTICAS

"Todos los procedimientos están de acuerdo con lo estipulado en el Reglamento de la ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud.

Título segundo, capítulo I, Artículo 17, Sección II, investigación con riesgo mínimo, se anexa hoja de consentimiento informado. Ej.- Estudios prospectivos que emplean el registro de datos a través de procedimientos comunes en exámenes físicos o psicológicos de diagnóstico o tratamiento rutinarios.

De acuerdo a lo establecido en la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud, capítulo I, II, V, el presente estudio no representa riesgo para las personas participantes, pues se trata de un estudio observacional, prospectivo y longitudinal, sin intervención alguna, que consiste en describir la maniobra de cálculo de PEEP ideal empleada por el grupo de médicos a cargo del paciente, así como la programación del ventilador y la configuración estructural y funcional del corazón derecho y ventrículo izquierdo, evaluaciones que se realizarán con el ultrasonido disponible en la UCI y que no genera costo extra a la atención del paciente, ya que se realizan de manera rutinaria en la unidad de cuidados intensivos, además se obtendrá datos sociodemográficos del expediente clínico. Por todo lo anterior no hay necesidad de solicitar el consentimiento informado. Se establece el compromiso de respetar la confidencialidad de cada paciente.

9 Resultados

Tabla 1. Características clínicas de pacientes con ventilación mecánica atendidos en la UCI del Hospital Fundación Clínica Médica Sur del 1 de junio al 30 de agosto de 2018.

Características	No.(%) (N=15)
Edad, M (RIQ), años	76 (56-83)
Mujeres (No,%)	7 (46.7%)
APACHE-II ^a χ (DE)	10.2 (2.95)
SOFA ^b χ (DE)	5.73 (2.31)
Antecedente de tabaquismo ^c , (No,%)	10 (66.7%)
Cualquier comorbilidad, (No,%)	14 (93.3%)
Estado nutricional	
Índice de masa corporal χ (DE)	25.9 (3.8)
Peso normal (No,%)	3 (20%)
Sobrepeso (No, %)	8 (53.3%)
Obesidad (No,%)	3 (20%)
Enfermedad Aguda^e	
▪ Enfermedad pulmonar (No,%)	11 (73.3%)
▪ Enfermedad cardíaca (No,%)	0 (0%)
▪ Enfermedad neurológica (No,%)	3 (20%)
▪ Choque séptico (No,%)	1 (6.7%)
▪ Post-quirúrgico (No,%)	0 (0%)
a. Acute Physiology And Chronic Health Evaluation II b. Sequential Organ Failure Assessment score c. Consumo de 100 cigarrillos o más en toda la vida, sea fumador actual o pasados. d. Relación entre el peso en Kg y el cuadrado de la talla en metros. Se consideró obesidad una relación ≥ 30 kg/m ² . e. Enfermedad que genera el estado de gravedad del paciente y motiva el inicio de la ventilación mecánica.	

Se incluyeron al estudio 15 sujetos, de los cuales el 46.7% (n=7) fueron mujeres. La mediana de edad fue de 76 años (RIQ 56-83 años) y el promedio de IMC fue de 25.9 kg/m² (DE 2.31), con un porcentaje de pacientes con sobrepeso y obesos de 73.3%. La principal causa por la cual se requirió la ventilación mecánica invasiva fue la enfermedad pulmonar (73.3%) seguida por la enfermedad neurológica (20%) (Tabla 1). En relación a la gravedad de la enfermedad, el APACHE-II fue de 10.2 (DE 2.95) puntos y la del SOFA fue de 5.73 (DE 2.31) puntos, ambos calculados a las 24 horas del ingreso a la unidad de cuidados intensivos.

En relación a la programación de la ventilación mecánica, todos los pacientes estuvieron en metas de protección pulmonar, es decir, el volumen corriente programado por peso predicho fue menor de 8 ml/kg, las presiones pico menores de 35 cmH₂O y presiones meseta menores de 30 cmH₂O, antes y después de aplicar la PEEP ideal.

La PEEP inicial fue de 6 cmH₂O (RIQ 6-6) y la PEEP ideal fue de 10 cmH₂O (RIQ 10-12) (p<0.05). Hubo valores más elevados de presiones en la vía aérea cuando se tituló la PEEP ideal (p<0.05), comparada con la programación inicial. Sin embargo, aunque la titulación de la PEEP fue en base a la mejor distensibilidad estática, no hubo diferencia significativa entre la Cstat y la presión de distensión (Tabla 2).

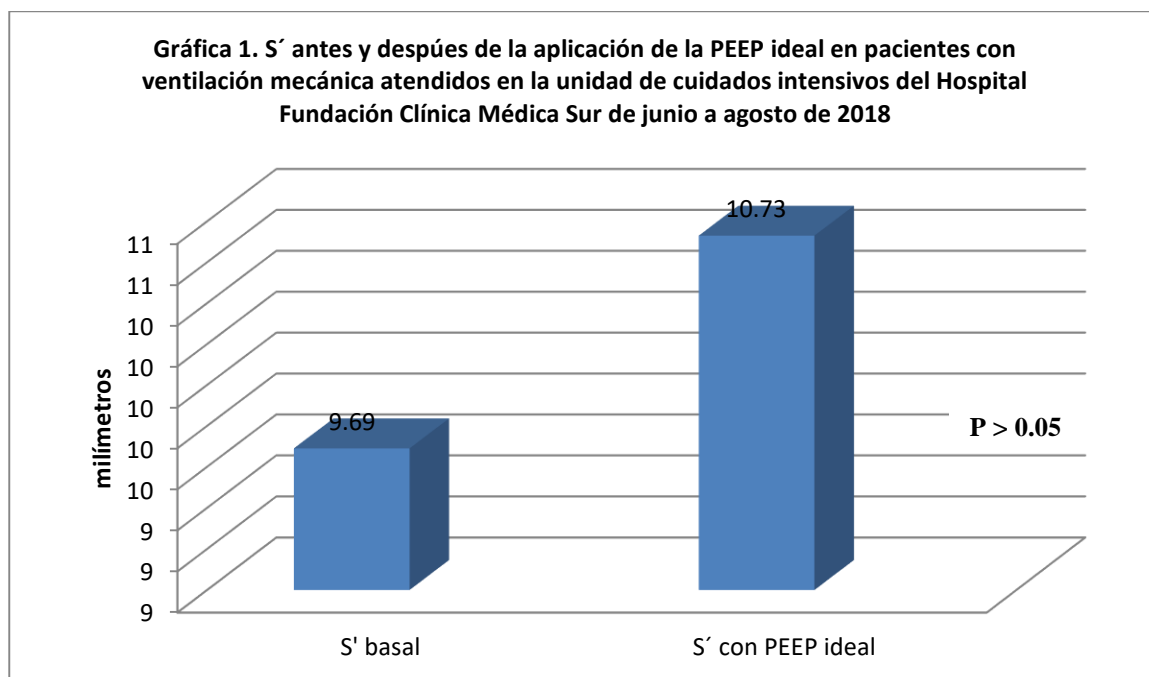
Tabla 2. Programación del ventilador y mecánica pulmonar de pacientes con ventilación mecánica atendidos en la UCI del Hospital Fundación Clínica Médica Sur del 1 de junio al 30 de agosto de 2018.			
	Antes de aplicar la PEEP ideal (n=15)	Después de aplicar la PEEP ideal (n=15)	Significación estadística (Intervalos de confianza)
Programación del ventilador			
Vte, X (DE), ml	423.3 (102.07)	399 (73.25)	0.151
PEEP, med (RIQ), cmH₂O	6 (6-6)	10 (10-12)	0.00
FIO₂, med (RIQ), %	100 (60-100)	40 (40-70)	0.001
FR, med (RIQ), rpm	20 (16-20)	20 (16-20)	0.869
Mecánica pulmonar			
Ppico, X (DE)	21.47 (5.57)	25.87 (5.27)	0.000
Pmeseta, med (RIQ)	18 (14-22)	21 (19-29)	0.000
Cstat, med (RIQ)	46 (22-50)	49 (23.8-55.5)	0.856
Presión de Distensión, med (RIQ)	12 (8-16)	9 (8-19)	0.392

VtePP: volumen corriente entre peso predicho; PEEP: presión positiva al final de la espiración; FIO₂: fracción inspirada de oxígeno; FR: frecuencia respiratoria; Ppico: presión pico; Pmeseta: presión meseta; Pmedia: presión media, Cdyn: distensibilidad dinámica; Cstat: distensibilidad estática; Raw: resistencia de la vía aérea.

En lo que respecta a la función hemodinámica del corazón derecho (Tabla 3), no se observó cambios significativos, cuando se tituló la PEEP ideal (p > 0.05). Tampoco se observó un cambio estadísticamente significativo en la función ventricular izquierda (volumen sistólico del VI, gasto cardiaco y FEV). (Tabla 3).

Tabla 3. Configuración estructural y funcional del corazón derecho y ventrículo izquierdo de pacientes con ventilación mecánica atendidos en la UCI del Hospital Fundación Clínica Médica Sur del 1 de junio al 30 de agosto de 2018.

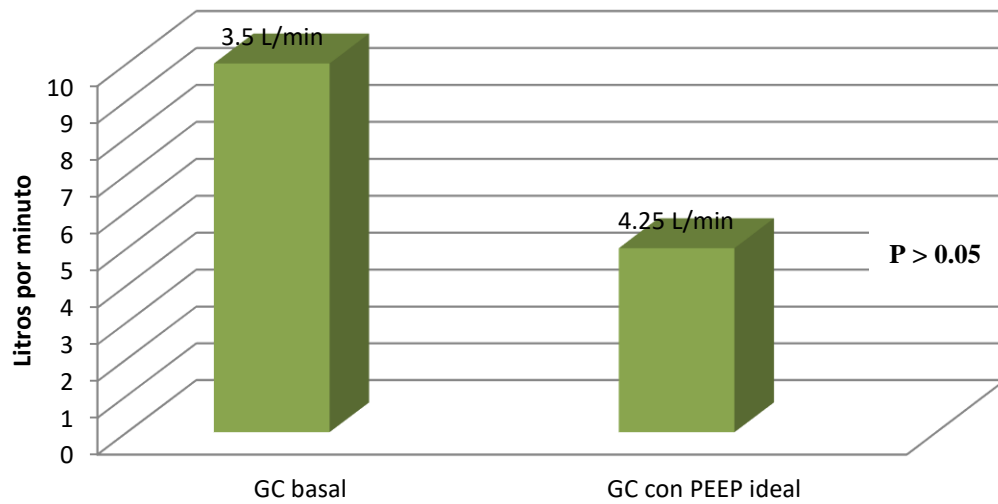
	Antes de aplicar la PEEP ideal (n=40)	Después de aplicar la PEEP ideal (n=40)	Significación estadística (Intervalos de confianza)
Estructura y función del corazón derecho			
Área de AD, X (DE)	19.57 (5.86)	20.45 (6.43)	0.49
Eje longitudinal de AD, X (DE)	49.06 (10.22)	49.73 (8.94)	0.686
Eje transversal de AD, X (DE)	41.73 (5.66)	42.2 (6.47)	0.759
Diámetro basal del VD, X (DE)	39 (6.9)	39.2 (6.29)	0.868
Diámetro medio del VD, X (DE)	30.8 (5.57)	31.06 (6.39)	0.782
Diámetro longitudinal del VD, X (DE)	73.6 (14.75)	74.6 (10.58)	0.780
TSVD distal, X (DE)	29.6 (9.31)	29.5 (8.11)	0.944
Relación VD/VI, med (RIQ)	0.9 (0.8-1.0)	1.0 (0.8-1.0)	0.720
TAPSE, X (DE)	21.64 (5.3)	23.28 (5.87)	0.167
Velocidad anular tricuspídea, X (DE)	9.69 (2.44)	10.73 (2.87)	0.175
Cambio fraccional de área, X (DE)	48.72 (8.29)	56 (17.63)	0.096
Índice de Tei (MPI), X (DE)	0.278 (0.060)	0.248 (0.0922)	0.242
Relación EA derecha, med (RIQ)	0.70 (0.64-0.85)	0.76 (0.69-1.0)	0.180
Función ventricular izquierda			
Volumen sistólico, X (DE)	45.09 (20.40)	48.55 (14.24)	0.504
Gasto cardiaco, X (DE)	3.54 (1.31)	4.25 (1.70)	0.101
FEVI, X (DE)	65.13 (12.91)	67.53 (11.41)	0.279



S': velocidad anular tricuspídea; PEEP: presión positiva al final de la espiración.

Prueba estadística: se empleó t de student para comparar muestras dependientes; se consideró un nivel alfa del 95%.

Gráfica 1. Gasto cardiaco antes y después de la aplicación de la PEEP ideal en pacientes con ventilación mecánica atendidos en la unidad de cuidados intensivos del Hospital Fundación Clínica Médica Sur de junio a agosto de 2018



GC: gasto cardíaco; PEEP: presión positiva al final de la espiración.

Prueba estadística: se empleó t de student para comparar muestras dependientes; se consideró un nivel alfa del 95%.

9 DISCUSIÓN

En el presente estudio se analizó las diferencias en la configuración y estructura del corazón derecho cuando se aplicó la presión positiva al final de la espiración que, por pruebas de mecánica pulmonar, resultó ser la ideal.

Cuando se observa la media de edad de los pacientes incluidos en el estudio, a diferencia de otras series, la nuestra resultó tener mayor edad. En cuanto al estado de gravedad, la puntuación de APACHE-II y SOFA no suelen ser muy elevados, comparados con otras series.

En la programación de la ventilación mecánica, no existió diferencia en el volumen corriente y frecuencia respiratoria programado en ambos periodos de tiempo, y como era de esperarse, sí existió diferencia entre la PEEP y FIO₂. Pese a que se encontró en todos los pacientes el nivel de PEEP que favorecía la mejor distensibilidad estática, no se encontró diferencias significativas en el incremento de la Cstat ($p > 0.05$), pero si se documentó un incremento significativo en las presiones de la vía aérea al aplicar la PEEP ideal, sin embargo, todos los pacientes estaban en metas de protección pulmonar.

Aunque se ha descrito, y se conoce el efecto que los niveles elevados de PEEP pueden ocasionar sobre la función del ventrículo derecho, en nuestro estudio, a pesar de casi duplicar la PEEP, no se encontró ninguna diferencia significativa cuando se comparó la función del VD con la programación inicial con 6 cmH₂O de PEEP. Por el contrario se observó una mejora en las variables hemodinámica, aunque sin significancia estadística. Es probable que el pequeño número de pacientes, no haya permitido observar una diferencia significativa cuando se aplicó la PEEP ideal, por lo anterior se recomienda incrementar el número de pacientes.

10. CONCLUSIONES:

1. Todos los pacientes estuvieron en metas de protección pulmonar, antes y después de aplicar la PEEP ideal.
2. Existió diferencia significativa en los niveles de PEEP y FIO₂ después de aplicar la PEEP ideal.
3. Aunque la PEEP ideal se tituló en base a la mejor mecánica pulmonar, la Cstat no incrementó significativamente después de aplicar la PEEP idea.
4. No hubo cambios en la configuración y estructura del corazón derecho después de aplicar la PEEP ideal.
5. No hubo cambios significativos en la función ventricular izquierda después de aplicar la PEEP ideal.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Esteban A. Evolution of mortality over time in patients receiving mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2013; 188(2): 220-30.
2. Lamia B, Molano LC, Muir JF, Cuvelier A. Cardiopulmonary interactions in the course of mechanical ventilation. *Rev Mal Respir* 2016 Dec;33(10):865-876.
3. Gernoth C, Wagner G, Pelosi P, Luecke T. Respiratory and haemodynamic changes during decremental open lung positive end-expiratory pressure titration in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care*. 2009;13(2):R59.
4. Toth I, Leiner T, Mikor A, Szakmany T, Bogar L, Molnar Z, et al. Hemodynamic and respiratory changes during lung recruitment and descending optimal positive end-expiratory pressure titration in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med*. 2007 Mar;35(3):787-93.
5. Malhotra A. Low-Tidal-Volume Ventilation in the Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med* 2007;357:1113-20.
6. Matthay M. The acute respiratory distress syndrome. *J Clin Invest*. 2012 ;122(8):2731–2740. doi:10.1172/JCI60331
7. Meade M. Ventilation Strategy Using Low Tidal Volumes, Recruitment maneuvers, and High Positive End-Expiratory Pressure for Acute Lung Injury and Acute Respiratory Distress Syndrome A Randomized Controlled Trial. *JAMA*. 2008;299(6):637-645
8. ARDS-Net. ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *NEJM* 2000; 342 (18): 1301-8
9. Rubenfeld G. Incidence and Outcomes of Acute Lung Injury. *N Engl J Med* 2005;353:1685-93.
10. Talmor D. Mechanical Ventilation Guided by Esophageal Pressure in Acute Lung Injury. *N Engl J Med* 2008;359:2095-104
11. Grippi MA, Elias JA, Fishman JA, Kotloff RM, Pack AL, Senior RM. Fishman's pulmonary diseases and disorders. Mc Graw Hill 2015; 5a Ed. Cap 10.
12. Mughal MM. Auto-positive end-expiratory pressure: Mechanisms and treatment. *Cleveland Clinic Journal of Medicine* 2005; 72(9).
13. Tobin MJ. Principles And Practice of Mechanical Ventilation. Mc Graw Hill 2013. 3a Ed. Cap 9: 227-253.

14. Cairo JM. *Pilbeam's Mechanical Ventilation: Physiological and Clinical Applications*. Elsevier 2018; 6a Ed. Cap 13: 246-255.
15. Michard F, Chemla D, Richard C, Wysocki M, Pinsky MR, Lecarpentier Y. Clinical use of respiratory changes in arterial pulse pressure to monitor the hemodynamic effects of PEEP. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999;159:935-939.
16. Potkin RT, Hudson LD, Weaver LJ, Trobaugh G. Effect of positive end-expiratory pressure on right and left ventricular function in patients with the adult respiratory distress syndrome. *Am Rev Respir Dis* 1987; 135(2): 307-11.
17. Biondi JW, Schulman DS, Soufer R, Matthay RA, Hines RL, Kay HR, et al. The effect of incremental positive end-expiratory pressure on right ventricular hemodynamics and ejection fraction. *Anesth Analg* 1988; 67(2):144-51.
18. Luecke T, Pelosi P. Clinical review: Positive end-expiratory pressure and cardiac output. *Crit Care*. 2005;9(6):607-21.
19. Pinsky MR. The effects of mechanical ventilation on the cardiovascular system. *Crit Care Clin*. 1990 Jul;6(3):663-78.
20. Luecke T, Pelosi P, Quintel M. Haemodynamic effects of mechanical ventilation. *Anaesthetist*. 2007 Dec;56(12):1242-51.
21. Pinsky MR. Cardiovascular issues in respiratory care. *Chest*. 2005 Nov;128(5 Suppl 2):592S-597S.
22. Tugrul S, Cakar N, Akinci O, Ozcan PE, Disci R, Esen F, et al. Time required for equilibration of arterial oxygen pressure after setting optimal positive end-expiratory pressure in acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med*. 2005 May;33(5):995-1000.
23. Papazian L. Neuromuscular Blockers in Early Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med* 2010;363:1107-16
24. Alhazzani W. Neuromuscular blocking agents in acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Critical Care* 2013, 17:R43.
25. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2015; 28(1): 1-39.e14.
26. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of

- Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23(7): 685-713.
27. Dambrosio M, Cinnella G, Brienza N, Ranieri VM, Giuliani R, Bruno F, et al. Effects of positive end-expiratory pressure on right ventricular function in COPD patients during acute ventilatory failure. *Intensive Care Med* 1996; 22(9):923-32.
 28. Feigenbaum H. Echocardiographic Chamber Quantification in the Era of Multimodality Imaging: Beware of Unintended Consequences. *J Am Soc Echocardiogr* 2015; 28(7): 847-50.
 29. Konstam MA, Kiernan MS, Bernstein D, Bozkurt B, Jacob M, Kapur NK, et al. Evaluation and Management of Right-Sided Heart Failure: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2018; 137:00–00. DOI: 10.1161.
 30. Bouferrache K, Vieillard-Baron A. Acute respiratory distress syndrome, mechanical ventilation, and right ventricular function. *Curr Opin Crit Care*. 2011;17:30-35.
 31. Luecke T, Roth H, Herrmann P, Joachim A, Weisser G, Pelosi P. Assessment of cardiac preload and left ventricular function under increasing levels of positive end-expiratory pressure. *Intensive Care Med*. 2004 Jan;30(1):119-26.
 32. Bellani G. Epidemiology, patterns of care and mortality for patients with acute respiratory distress syndrome in intensive care units in 50 countries. *JAMA* 2016; 315(8): 788-800

12. ANEXOS

ANEXO 1. FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS: PEEP ÓPTIMA Y SU IMPACTO SOBRE LA CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL CORAZÓN DERECHO.

Autor: Dr. Carlos Jesús Castro López

Asesor: Dr. Eduardo Garrido Aguirre

Nombre: _____ Edad: _____ Sexo: H__ M__ Cuenta: _____

Peso: _____ Talla: _____ IMC: _____ Peso predicho: _____ Tabaquismo: Si__ No __

Estado nutricional: Bajo Peso Peso normal Sobrepeso Obesidad I II III

Comorbilidad:
DM HAS Cardiopatía Neumopatía Renal Hepática Otro

Enfermedad aguda:
Pulmonar Cardíaca Neurológica Choque séptico Post Qx Otro

APACHE-II: _____ SOFA: _____

Programación del ventilador y mecánica pulmonar de pacientes con ventilación mecánica atendidos en la UCI del Hospital Fundación Clínica Médica Sur del 1 de junio al 30 de agosto de 2018.

	Antes de aplicar la PEEP ideal (n=40)	Después de aplicar la PEEP ideal (n=40)
Programación del ventilador		
VtePP, X (DE)		
PEEP, X (DE)		
FIO2, X (DE)		
FR, mediana (RIQ)		
Mecánica pulmonar		
Ppico, X (DE)		
Pmeseta, X(DE)		
Pmedia, X (DE)		
Cdyn, X (DE)		
Cstat, X (DE)		
Raw, X (DE)		
Presión de Distensión, X(DE)		

VtePP: volumen corriente entre peso predicho; PEEP: presión positiva al final de la espiración; FIO2: fracción inspirada de oxígeno; FR: frecuencia respiratoria; Ppico: presión pico; Pmeseta: presión meseta; Pmedia: presión media, Cdyn: distensibilidad dinámica; Cstat: distensibilidad estática; Raw: resistencia de la vía aérea.

Monitoreo hemodinámico y configuración estructural y funcional del corazón derecho y ventrículo izquierdo de pacientes con ventilación mecánica atendidos en la UCI del Hospital Fundación Clínica Médica Sur del 1 de junio al 30 de agosto de 2018.

	Antes de aplicar la PEEP ideal (n=40)	Después de aplicar la PEEP ideal (n=40)
Monitoreo hemodinámico		
Presión arterial sistólica		
Presión arterial media		
Frecuencia cardiaca		
Saturación de oxímetro		
Estructura y función del corazón derecho		
Área de AD		
Eje longitudinal de AD		
Eje transversal de AD		
Diámetro basal del VD		
Diámetro medio del VD		
TSVD distal		
Relación VD/VI		
TAPSE		
Velocidad anular tricuspídea		
Cambio fraccional de área		
Índice de Tei (MPI)		
Función ventricular izquierda		
Volumen sistólico		
Gasto cardiaco		
FEVI		
AD: aurícula derecha; TSVD distal: tracto de salida distal del ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; TAPSE: excursión sistólica en el plano del anillo tricuspídeo; MPI: índice de rendimiento miocárdico; FEVI: fracción de expulsión del ventrículo izquierdo.		