



IMPACTO DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA EN DECÚBITO SUPINO Y PRONO: ESTUDIO EXPERIMENTAL EN CERDOS.

Hospital de Clínicas "Dr. Manuel Quintela" Universidad de la República

Ciclo de Metodología Científica II - 2023
Grupo 55

Autores: Br. Clavell, Damián¹, Br. Machado, Florencia¹, Br. Madera, Nadia¹, Br. Medina, Santiago¹, Br. Mello, Florencia¹, Br. Montaña, Sofía¹, Dr. Alzugaray, Pedro², Dr. Angulo, Martín^{2,3}, Dr. Beltramelli, Rodrigo².

¹ Ciclo de Metodología Científica II 2023-Facultad de Medicina- Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

² Laboratorio Exploración Funcional Respiratoria, Cátedra de Medicina Intensiva, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

³ Departamento de Fisiopatología, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

ÍNDICE DE CONTENIDOS:

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	12
METODOLOGÍA.....	13
RESULTADOS.....	15
DISCUSIÓN.....	21
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	22
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
AGRADECIMIENTOS.....	24
ANEXOS.....	25

ÍNDICE DE TABLAS:

TABLA 1:	7
----------------	---

ÍNDICE DE FIGURAS:

FIGURA 1:	7
FIGURA 2:	8
FIGURA 3:	10
FIGURA 4:	10
FIGURA 5:	11
FIGURA 6:	15
FIGURA 7:	16
FIGURA 8:	16
FIGURA 9:	17
FIGURA 10:	18
FIGURA 11:	18
FIGURA 12:	19
FIGURA 13:	19
FIGURA 14:	20

RESUMEN:

Introducción: El Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo es una condición grave caracterizada por generar insuficiencia respiratoria y alterar la oxigenación pulmonar producto de la acumulación de líquido en los alvéolos. En diversos estudios se ha demostrado que la variación en la posición del paciente de supino a prono durante la ventilación mecánica parece contribuir en el reclutamiento alveolar y en la mejora de la relación ventilación perfusión.

Objetivo: Este estudio tiene como objetivo investigar los efectos de las posiciones supino y prono en cerdos con SDRA.

Metodología: Se utilizaron datos recabados de un estudio anteriormente realizado en cerdos como modelos animales, divididos en dos grupos: decúbito supino y prono, a los cuales se produjo lesión pulmonar aguda. La ventilación mecánica se ajustó según el protocolo, y se monitorearon parámetros hemodinámicos y ventilatorios.

Resultados: Los resultados fueron obtenidos de una muestra de dieciséis cerdos, los cuales evidenciaron una diferencia significativa entre las posiciones anatómicas en parámetros como presión arterial de oxígeno, saturación de oxígeno, presión positiva al final de la espiración, presión máxima y presión meseta. La posición prono mejoró la oxigenación y la mecánica ventilatoria al redistribuir la ventilación hacia las zonas dorsales del pulmón, previamente colapsadas, generando un cambio positivo en la relación ventilación-perfusión, permitiendo un mejor intercambio gaseoso. El decúbito prono mejora la complacencia pulmonar evidenciándose una disminución de las presiones en vía aérea, llevándolo dentro de parámetros de protección pulmonar.

Conclusión: Aunque la muestra fue limitada, este estudio destaca la importancia de la posición prono en la mejora de la ventilación en el SDRA. Se enfatiza la necesidad de estudios más extensos para validar estos resultados y aplicarlos clínicamente. La investigación sugiere que la posición prono podría ser una estrategia beneficiosa en el manejo del SDRA, brindando una perspectiva prometedora para el tratamiento en pacientes críticos.

Introduction: Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) is a severe condition characterized by respiratory failure and impaired pulmonary oxygenation due to the accumulation of fluid in the alveoli. Various studies have demonstrated that varying the patient's position from supine

to prone during mechanical ventilation appears to contribute to alveolar recruitment and improvement in the ventilation-perfusion ratio.

Objective: This study aims to investigate the effects of supine and prone positions in pigs with ARDS.

Methodology: Data from a previous study conducted on pigs as animal models were utilized, with the animals divided into two groups: supine and prone, both subjected to acute lung injury. Mechanical ventilation was adjusted according to the protocol, and hemodynamic and ventilatory parameters were monitored.

Results: Results were obtained from a sample of sixteen pigs, showing a significant difference between anatomical positions in parameters such as oxygen arterial pressure, oxygen saturation, positive end-expiratory pressure, peak pressure, and plateau pressure. The prone position improved oxygenation and ventilatory mechanics by redistributing ventilation to the dorsal regions of the previously collapsed lungs, resulting in a positive change in the ventilation-perfusion ratio, allowing for better gas exchange. The prone position enhances lung compliance, as evidenced by a decrease in airway pressures, bringing them within lung-protective parameters.

Conclusion: Despite the limited sample size, this study highlights the importance of the prone position in improving ventilation in ARDS. The need for more extensive studies to validate these findings and apply them clinically is emphasized. The research suggests that the prone position could be a beneficial strategy in managing ARDS, offering a promising perspective for treatment in critically ill patients.

INTRODUCCIÓN:

El Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo (SDRA) constituye una entidad muy importante en terapia intensiva, debido a su alta incidencia, mortalidad, secuelas y ausencia de un tratamiento específico. Los pacientes con este síndrome habitualmente requieren ventilación mecánica invasiva (VMI) para lo cual existen diferentes estrategias de manejo.

Dado que la posición corporal influye en la mecánica ventilatoria por diferentes mecanismos, la ventilación en prono es utilizada frecuentemente en estos pacientes. Si bien esta estrategia ha demostrado beneficios en términos de mortalidad, la base fisiopatológica de su mecanismo de acción aún no está del todo claro.

La tomografía de impedancia eléctrica (TIE) monitorea de forma continua la función pulmonar a través de la visualización y cuantificación de la distribución regional de la ventilación, mostrando así el porcentaje de colapso o distensión pulmonar presente en un momento dado. Esta técnica brinda información útil sobre la mecánica respiratoria difícil de obtener con otras tecnologías.

En el siguiente trabajo buscamos investigar la consecuencia de utilizar dos posiciones corporales distintas (decúbito supino [DS] y prono [DP]) en cerdos ventilados en un modelo experimental de SDRA, sobre la mecánica ventilatoria, el intercambio pulmonar de gases, la hemodinamia y la distribución de la ventilación utilizando la TIE.

Los modelos animales son fundamentales para el entendimiento de la enfermedad y en la evaluación preclínica de la seguridad y la eficacia de nuevas alternativas terapéuticas. La similitud anatómica y fisiológica entre el cerdo y el humano ha permitido emplear esta especie como un valioso modelo para la investigación biomédica traslacional.

SÍNDROME DE DISTRÉS RESPIRATORIO AGUDO

En 1967 se definió por primera vez el Síndrome de Distrés Respiratoria Aguda (SDRA), el cual se caracteriza por ser un trastorno clínico en el que se presenta insuficiencia respiratoria grave que no responde al tratamiento con oxígeno, también se observan infiltrados bilaterales difusos en la radiografía de tórax. Los estudios microscópicos revelaron la presencia de membranas hialinas, similares a las encontradas en el síndrome de dificultad respiratoria neonatal, lo cual fue la razón por la que se le dio ese nombre en adultos.

El SDRA, también conocido como síndrome de dificultad respiratoria aguda, es una condición potencialmente mortal que afecta a los pulmones, causando dificultades respiratorias graves. Se caracteriza por la inflamación y acumulación de líquido en los alvéolos. Esta inflamación y acumulación de líquido dificultan que el oxígeno llegue al torrente sanguíneo, lo que lleva a bajos niveles de oxígeno en el cuerpo.

Dicho síndrome puede ser causado por diversos factores, incluyendo neumonía, sepsis, aspiración del contenido gástrico hacia los pulmones, traumatismo, inhalación de sustancias nocivas y otras condiciones subyacentes. Puede afectar a personas de todas las edades y se observa con frecuencia en personas que están graves o han sido sometidas a grandes cirugías(1). El Consenso de Berlín, publicado en 2012, estableció nuevas definiciones y criterios para el diagnóstico del SDRA, con el objetivo de proporcionar una base común para la investigación y el manejo clínico de la enfermedad. Según el Consenso de Berlín, el SDRA se define por tres criterios principales:

Presencia de lesión pulmonar aguda: Se requiere evidencia de lesión pulmonar, que puede ser causada por diversas condiciones como infecciones, lesiones directas o indirectas, y otras enfermedades pulmonares dentro de los primeros 7 días de síntomas respiratorios nuevos o que empeoran.

Edema pulmonar no explicado por la insuficiencia cardíaca: El edema pulmonar debe ser causado por factores diferentes a la insuficiencia cardíaca congestiva.

Gravedad de la hipoxemia: Se clasifica en tres categorías según la gravedad de la hipoxemia, medida mediante la relación entre la presión parcial de oxígeno arterial y la fracción inspirada de oxígeno: leve, moderada y grave. Estas categorías ayudan a guiar las decisiones de tratamiento.

También se destacó la importancia de la ventilación pulmonar protectora en el manejo del SDRA. Esta estrategia implica el uso de volúmenes corrientes bajos y presiones pulmonares limitadas durante la ventilación mecánica para minimizar el daño pulmonar inducido por la ventilación. La ventilación pulmonar protectora busca reducir el estrés y la tensión en los pulmones y prevenir lesiones adicionales(2).

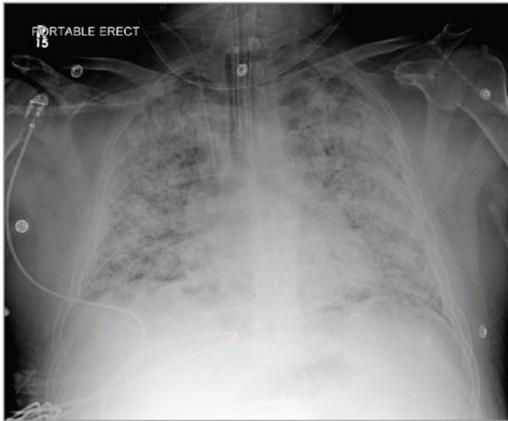


Figura 1. Radiografía de Tórax de paciente con SDRA.

Temporalidad	Aparición del cuadro clínico o de nuevos síntomas respiratorios o empeoramiento, menor a 1 semana.
Radiografía	Opacidades bilaterales no totalmente explicadas por derrames, colapso lobar o pulmonar, o nódulos.
Origen de edema	Insuficiencia respiratoria que no es totalmente explicada por una insuficiencia cardíaca o sobrecarga de fluidos. Necesita evaluación objetiva (p.e. ecocardiografía) para excluir edema hidrostático si no existe ningún factor de riesgo presente.
Oxigenación	Leve: $200 \text{ mmHg} < \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 300 \text{ mmHg}$, con PEEP/CPAP $\geq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$ Moderado: $100 \text{ mmHg} < \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200 \text{ mmHg}$, con PEEP $\geq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$ Severo: $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 100 \text{ mmHg}$, con PEEP $\geq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$

Tabla 1. Criterios de Berlín.

El SDRA es una condición médica grave que puede requerir el uso de ventilación mecánica para garantizar una adecuada oxigenación y ventilación pulmonar.

VENTILACIÓN MECÁNICA:

La Ventilación Mecánica (VM) constituye un tratamiento de soporte vital, donde se usa un equipo que abastece un soporte ventilatorio y oxigenatorio, permitiendo el intercambio gaseoso y el trabajo respiratorio en pacientes con insuficiencia respiratoria.

El principal objetivo de la VM es dar soporte a la función respiratoria hasta la reversión total o parcial de la causa que originó la disfunción respiratoria, teniendo como pilares fundamentales: mejorar el intercambio gaseoso, evitar la injuria pulmonar y disminuir el trabajo respiratorio.

El ventilador mecánico produce un gradiente de presión entre dos puntos (boca/vía aérea-alvéolo) generando un flujo durante un tiempo determinado, lo que ocasiona una presión que debe vencer las resistencias al flujo alcanzando un volumen de aire que ingresa y posteriormente sale del sistema.

La curva estática de presión-volumen es una buena herramienta para el estudio de las propiedades mecánicas del sistema respiratorio y un medio prometedor para un ajuste de la ventilación mecánica dirigido a minimizar el estrés mecánico del parénquima pulmonar haciendo que la relación volumen-presión sea diferente durante la inspiración y la espiración.

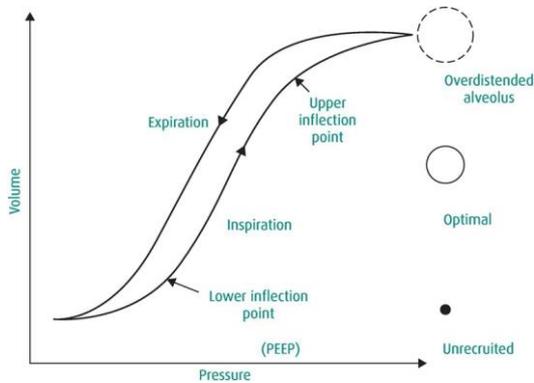


Figura 2. Curva presión volumen.

Para administrar el soporte se requiere de una interfase que actúa sobre la vía aérea superior del paciente por lo que se tiene que acondicionar el gas que se entrega, filtrándose, modificando su temperatura y su humedad, en forma activa o pasiva. Esta interfase puede ser externa (dispositivos para ventilación mecánica no invasiva); o interfases invasivas, las que a su vez pueden ser supraglóticas (máscara laríngea, máscara faríngea, combitubos) o subglóticas (tubos endotraqueales, tubo de traqueotomía, combitubos)(3).

DECÚBITO PRONO:

En la actualidad se ha demostrado que la variación en la posición del paciente de supino a prono durante la VM parece contribuir en el reclutamiento alveolar y en la mejora de la relación ventilación perfusión. El decúbito prono es una estrategia capaz de mejorar la oxigenación arterial en pacientes con SDRA moderado y grave, tratados con ventilación mecánica y PEEP (presión al final de la espiración). Éste produce una redistribución de la ventilación hacia las zonas dorsales del pulmón (mayoritariamente colapsadas en decúbito supino), sin afectar a la distribución de la perfusión pulmonar, que predomina en las áreas dorsales en ambas posiciones.

La PEEP es la presión que mantiene cierto grado de inflación durante la pausa al final de la espiración. Una PEEP más alta aumenta la presión media de las vías respiratorias, lo que suele

mejorar la oxigenación. Mantener la inflación durante la exhalación también disminuye el estrés de los alvéolos que se colapsan y se vuelven a inflar durante el ciclo respiratorio(1).

Cabe destacar que es fundamental la realización de una correcta titulación de la PEEP ya que niveles inadecuados pueden producir colapso o distensión de áreas de tejido pulmonar generando de esta forma una distribución inhomogénea de la ventilación(4) .

De esta forma, en el decúbito prono se establece un mejor equilibrio en las relaciones ventilación/perfusión con una reducción de las áreas de shunt. El principal efecto del decúbito prono consiste en un aumento significativo de la oxigenación arterial en el 60-80% de los pacientes con SDRA ventilados con PEEP, sin ocasionar alteraciones hemodinámicas(5). Sin embargo, la mejora en la supervivencia con posición prono (PP) no se predice por la mejora en el intercambio de gases y es probable que se deba a la reducción de la lesión pulmonar inducida por el ventilador, la reducción de la tensión regional y el reclutamiento alveolar. Hasta el momento se ha demostrado que pacientes que son sometidos a un tiempo mayor a 12 horas en posición prono obtienen un mayor beneficio.

Existen datos experimentales que sugieren un efecto protector sobre el pulmón en pacientes tratados con VM en PP. Esta es una técnica segura, siempre y cuando exista experiencia y educación sobre el manejo de la misma por el personal. De no ser así pueden ocurrir múltiples complicaciones como desplazamiento del dispositivo, vómitos, pérdida del acceso venoso, extubación accidental, desplazamiento y obstrucción del tubo endotraqueal, inestabilidad hemodinámica, lesión del plexo braquial y úlceras por presión, principalmente en la cara y la parte anterior del tórax (6) (7).

La ventilación mecánica combinada con la tomografía de impedancia eléctrica proporciona una herramienta para evaluar la distribución de la ventilación en los pulmones durante el soporte ventilatorio, lo que permite ajustes precisos y personalizados para mejorar la eficacia y seguridad del tratamiento en pacientes críticos.

En el SDRA el peso pulmonar aumenta debido al edema generalizado, esta presión causa el colapso pulmonar. La posición prono invierte la presión superpuesta de modo que las regiones dorsales se expanden mientras que las ventrales tienden a colapsar.

La posición prono hace que la relación gas-tejido sea más homogénea en comparación con la posición supino y esto sucede tanto en sujetos sanos como en pacientes con SDRA: una distribución más homogénea de la densidad implica que la presión distendida transpulmonar, en posición supino, tanto el desajuste de forma como la fuerza gravitacional actúan en la misma dirección (expansión de las unidades pulmonares no dependientes y compresión de las

dependientes). Estos dos fenómenos conducen a una falta de homogeneidad pulmonar tanto en los pulmones sanos como en los del SDRA. En la posición prono, el desajuste de forma y las fuerzas gravitacionales actúan en direcciones opuestas: mientras que el desajuste de forma tiende a expandir las regiones ventrales, la posición prono tiende a comprimir las.

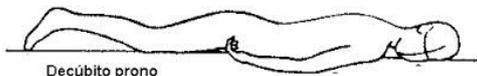


Figura 3. Posición decúbito prono.

El pulmón aislado puede considerarse como un cono, con unidades alveolares del mismo tamaño en todo el parénquima si no se plantea la hipótesis de gravedad. Cuando el pulmón se coloca en la caja torácica, la necesidad del cono de adaptarse a una forma más cilíndrica impone un estiramiento en el vértice del cono, lo que conduce a un aumento del tamaño de las unidades en esta zona. Cuando se agrega la gravedad, las unidades en la parte inferior del pulmón sienten la presión superpuesta de las unidades superiores y tienden a colapsar. Si el paciente está en pronación, el efecto gravitacional y el desajuste de forma actúan en direcciones opuestas, lo que conduce a una distribución más homogénea de la ventilación.

El efecto sobre el intercambio de gases dependerá de la cantidad de masa presente en el 50% superior y en el 50% inferior.

Por tanto, al menos parte de la respuesta asociada a la posición prono depende estrictamente de la morfología anatómica del paciente. Además, también hay que tener en cuenta el papel del peso del corazón, su compresión es especialmente relevante en el lóbulo inferior izquierdo cuando el paciente está en decúbito supino, mientras que en decúbito prono este efecto desaparece (8) (9).

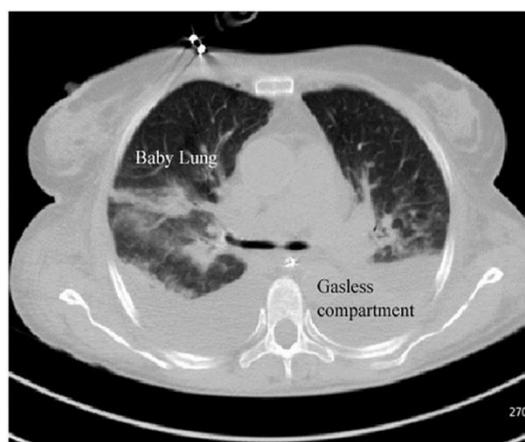


Figura 4. Tomografía de paciente con SDRA.

TOMOGRAFÍA DE IMPEDANCIA ELÉCTRICA:

La Tomografía de impedancia eléctrica (TIE) como técnica no invasiva y libre de radiación, genera imágenes de la distribución de la impedancia regional en un área transversal del cuerpo, proporciona una visualización en tiempo real de la ventilación pulmonar al lado de la cama. Recientemente, los estudios que involucran TIE para la evaluación de la ventilación pulmonar han revelado efectos notables de la PP en la mecánica ventilatoria en pacientes con SDRA, incluida la redistribución regional de gases, el reclutamiento alveolar mejorado y la homogeneidad pulmonar (10).

La TIE es un método que permite estimar la distribución de conductividad eléctrica interna del cuerpo. Las imágenes producidas en la reconstrucción son cortes tomográficos transversales del cuerpo, que ilustran mediante escalas de colores la variación de la distribución de la conductividad. Es una técnica no invasiva y que permite una aplicación prolongada que muestra a lo largo del tiempo la distribución de líquido en los pulmones y su evolución.

Si bien este método tiene muchas ventajas que son considerables, es necesario tener en cuenta que las imágenes obtenidas por este método representan un corte axial del tórax, lo cual implica que no tienen en cuenta el resto del parénquima pulmonar.

La TIE puede detectar heterogeneidades a lo largo del eje de gravedad en diferentes enfermedades pulmonares. Se podría mejorar su resolución espacial aumentando el número de electrodos o mejorando el rendimiento del hardware, pero nunca alcanzará la resolución de la tomografía computarizada (TC) o la resonancia magnética (RM) (11).

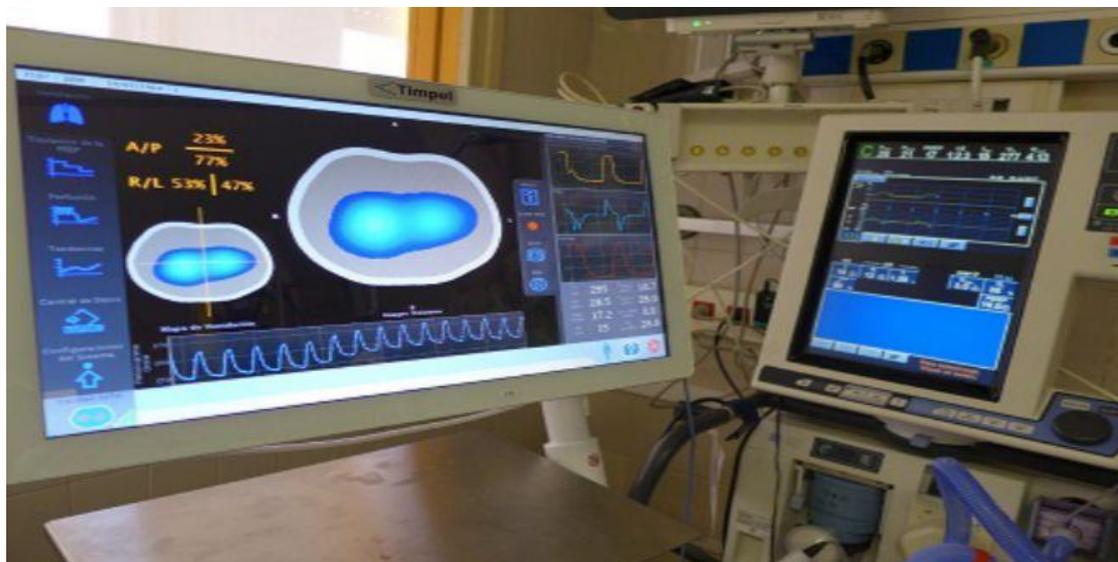


Figura 5. Tomógrafo de impedancia eléctrica.

OBJETIVO GENERAL:

Comparar la ventilación mecánica en decúbito supino y decúbito prono en un modelo experimental de lesión pulmonar aguda.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Comparar el intercambio pulmonar de gases basal, en 30, 60 y 90 minutos desde el comienzo de ventilación mecánica mediante gasometría arterial, en posición prono y supino.
- Conocer la variación de los parámetros hemodinámicos (Presión Arterial, Frecuencia Cardíaca) en basal, en 30, 60 y 90 minutos desde el comienzo de la ventilación mecánica en posición prono y supino.
- Cotejar los parámetros ventilatorios en posición prono y supino.
- Conocer la PEEP ideal en ambas posiciones luego de 90 minutos de ventilación mecánica.

METODOLOGÍA:

Se realizó el análisis de datos obtenidos de un estudio experimental llevado a cabo durante el año 2021, el cual se presentó ante la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (CHEA) y fue aprobado. El estudio experimental fue llevado a cabo por el equipo de tutores.

Los investigadores de este estudio se centraron en analizar datos recabados del referido experimento, sin intervenir en ningún momento en las maniobras llevadas a cabo para la obtención de los datos utilizados.

A continuación, se describe la metodología realizada para la obtención de datos con los cuales se trabajó en la presente investigación:

Se estudiaron cerdos hembra, con un peso promedio de 25-35 Kg.

Luego de la sedación con Ketamina 5 mg/Kg por vía intramuscular, se procedió a la obtención de una vía venosa en el pabellón auricular con Abocat fino y se realizó anestesia con Pentobarbital a dosis inicial de 35 mg/kg por vía intravenosa. El plano anestésico se mantuvo con perfusión continua de Pentobarbital a 1-2 mg/min (mediante bomba de infusión continua).

De ser necesario se administró dosis adicionales de pentobarbital.

Una vez dormido se procedió a realizar traqueostomía rápida potenciando la sedación con anestesia general y se colocó una cánula adecuada Nº 5-6 con manguito para evitar aspiración, que se conectó a un ventilador artificial.

Por colocación de electrodos se obtuvo registro electrocardiográfico y monitoreo continuo de la frecuencia cardiaca.

Se colocó una vía venosa central por abordaje yugular que permitía la administración de drogas anestésicas, obtención de muestras de sangre venosa para estudio gasométrico y bioquímico y medida de la presión venosa central (PVC). Se obtuvo una vía arterial mediante canalización de arteria femoral para monitoreo de presión arterial, y muestreo de gases sanguíneos. Los accesos vasculares se realizaron por técnicas de disección del paquete vascular bajo anestesia local. Cada catéter intravascular se conectó a un transductor de presión, obteniéndose el registro de las ondas de presión en un monitor (Nihon Koden) de 2 canales con impresión en papel y monitoreo instantáneo de los valores de presión correspondiente. El catéter arterial se conectó además al sistema presurizado. Se colocó un catéter para monitoreo hemodinámica transcárdio pulmonar por termodilución (PiCCO) para monitorización del gasto cardiaco, presiones sistémicas y resistencias periféricas y medida del agua extravascular pulmonar.

Se realizó un modelo de injuria pulmonar, por LBA con Suero Fisiológico (SF), para barrer con el surfactante, y determinar cambios fisiopatológicos similares a los que se ven en la clínica en los pacientes con SDRA.

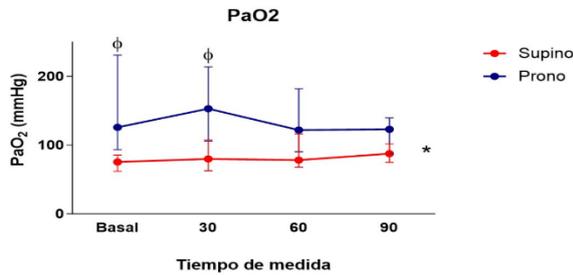
Todos los animales fueron ventilados con ventilador mecánico con patrones ventilatorios que se ajustaron de acuerdo al protocolo de investigación. Se obtuvieron registros de curvas de presión en vía aérea, flujo y volumen. Todas las señales se grabaron en un programa de registro de señales biológicas para su ulterior análisis (Sistema de análisis de señales SAMAY, Uruguay).

Para la medida de la mecánica del sistema respiratorio se utilizó la técnica de oclusión inspiratoria y espiratoria transitoria con el animal paralizado. Se hizo el cálculo de compliance-quasi estática del sistema respiratorio (CSR) y pulmonar.

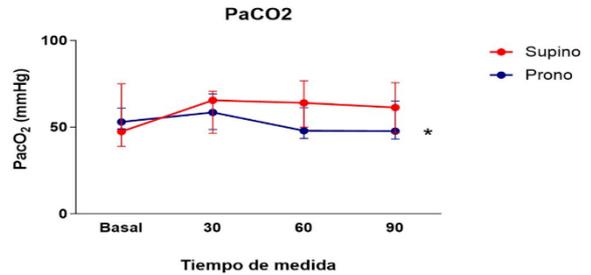
Todos los cerdos fueron monitorizados mediante TIE (Timpel, Brasil) durante el procedimiento. Al finalizar los experimentos se procedió a la eutanasia de los animales siguiendo las normas éticas, mediante la administración de potasio con el cerdo anestesiado.

RESULTADOS:

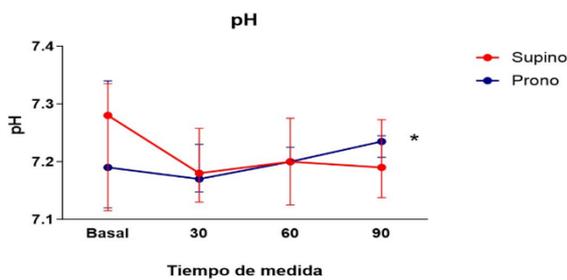
A



B



C



D

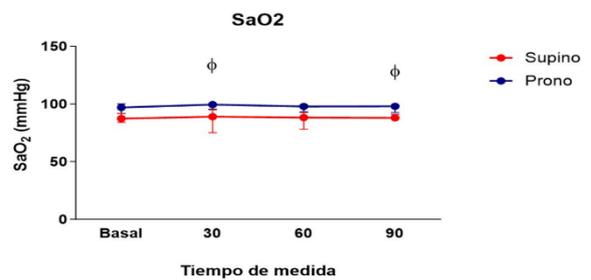


Figura 6.

A: PaO₂ en el tiempo en posición supino y pronó. B: PaCO₂ en el tiempo en posición supino y pronó. C: pH en el tiempo en posición supino y pronó. D: SaO₂ en el tiempo en posición supino y pronó.

Al analizar las gráficas (B) y (C) se registró un cambio significativo (Valor p 0,34 - 0,007 respectivamente) en el tiempo en posición pronó. En la gráfica (A) existe significancia (Valor p 0,008) a lo largo del tiempo en posición supino, logrando también observarse un cambio significativo en comparación a ambas posiciones al inicio del estudio (basal) y a los 30 minutos. En relación a la gráfica (D) se mostró un aumento estadísticamente significativo (Valor p 0,006 - 0,006) comparando ambas posiciones en los minutos 30 y 90.

*: Variación estadísticamente significativa dentro del grupo respecto al tiempo.

Φ: Diferencia estadísticamente significativa entre los grupos respecto al mismo tiempo.

PaO₂: Presión arterial de oxígeno. PaCo₂: Presión arterial de dióxido de carbono. pH: Potencial de hidrógeno. SaO₂: Saturación de oxígeno.

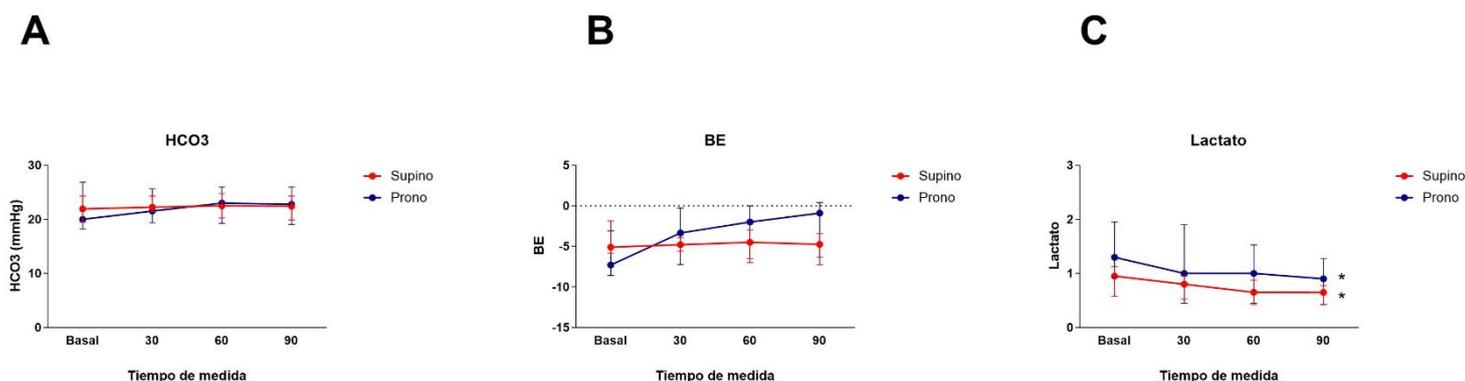


Figura 7.

A: HCO₃ en el tiempo en posición supino y prono. B: BE en el tiempo en posición supino y prono. C: Lactato en el tiempo en posición supino y prono.

En relación a las gráficas (A y B) se encontró que a lo largo del tiempo y comparando posición supino y prono, no se constató que sean significativas. Sin embargo, en la gráfica (C) hubo diferencias significativas (Valor p 0,003 - 0,003) en relación al tiempo de medida en supino y prono.

*: Variación estadísticamente significativa dentro del grupo respecto al tiempo.

HCO₃: Bicarbonato. BE: Exceso de bases.

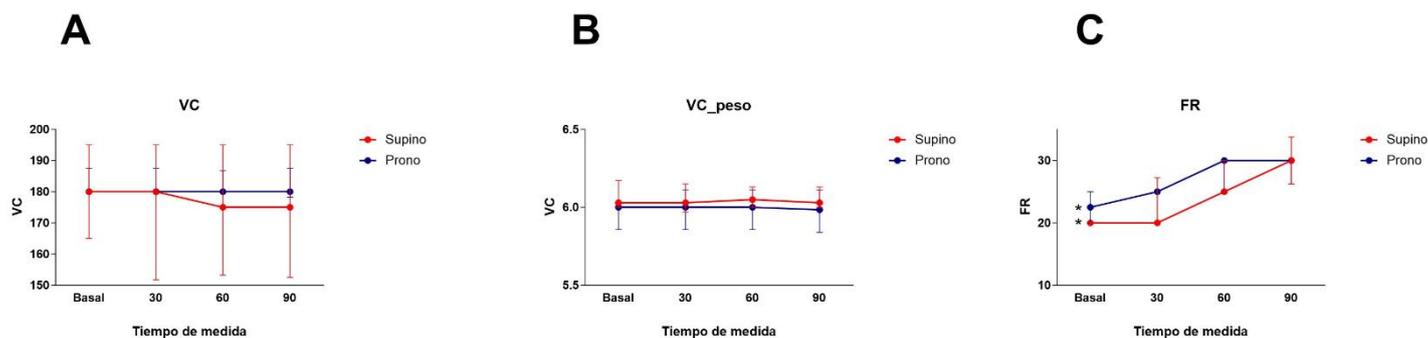


Figura 8.

A: VC en el tiempo en posición supino y prono. B: VC-peso en el tiempo en posición supino y prono. C: FR en el tiempo en posición supino y prono.

En cuanto a las gráficas (A) y (B) no se observaron valores significativos, en cambio en la gráfica (C) si se encuentran diferencias significativas (Valor p 0,000 - 0,001) en el tiempo en ambas posiciones.

*: Variación estadísticamente significativa dentro del grupo respecto al tiempo.

VC: Volumen corriente. FR: Frecuencia respiratoria.

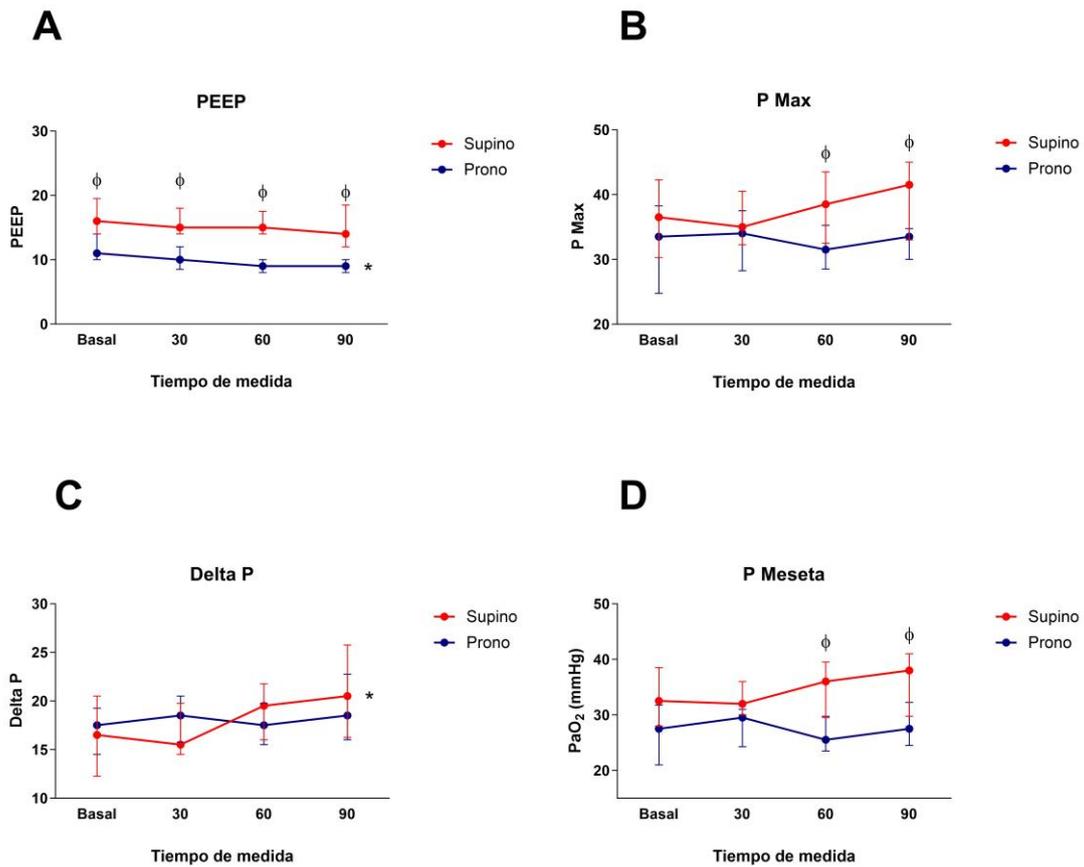


Figura 9.

A: PEEP en el tiempo en posición supino y pronó. **B:** P máx en el tiempo en posición supino y pronó. **C:** Delta P en el tiempo en posición supino y pronó. **D:** P Meseta en el tiempo en posición supino y pronó.

Analizando la figura 4 podemos concluir que en la gráfica (A) es significativa en el tiempo en pronó y entre ambas posiciones en todas las medidas de tiempo consideradas.

En la gráfica (C) se logró evidenciar un cambio significativo (Valor p 0,011) en el tiempo en relación a la posición supino. En las gráficas (D) y (B) se constataron diferencias significativas a los 60 (Valor p 0,008 - 0,020) y 90 (Valor p 0,028 - 0,050) minutos entre ambas posiciones.

*: Variación estadísticamente significativa dentro del grupo respecto al tiempo.

Φ: Diferencia estadísticamente significativa entre los grupos respecto al mismo tiempo.

PEEP: Presión positiva al final de la espiración. P Máx: Presión máxima. Delta P: Variación de la presión. P Meseta: Presión meseta.

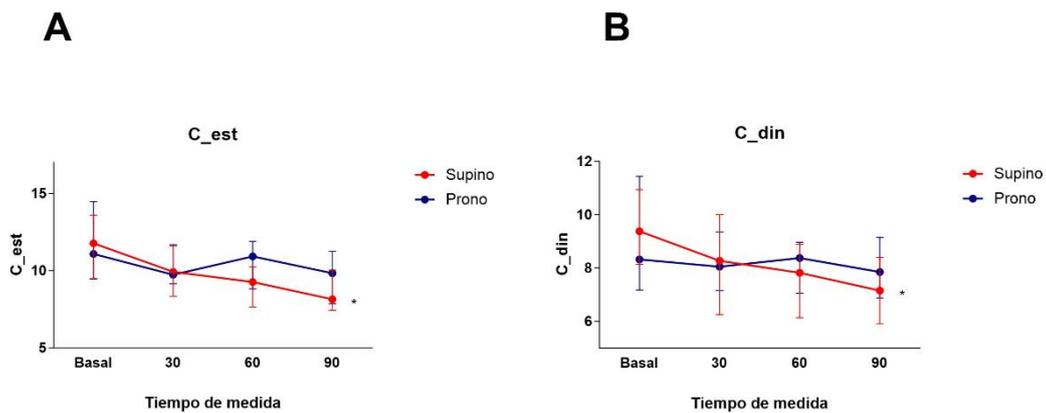


Figura 10.

A: Complacencia Estática en el tiempo en posición supino y prono. B: Complacencia Dinámica en el tiempo en posición supino y prono.

En las gráficas (A) y (B) se logró evidenciar un cambio significativo (Valor p 0,002 - 0,005) en el tiempo en relación a la posición supino.

*: Variación estadísticamente significativa dentro del grupo respecto al tiempo.

C_est: Complacencia estática. C_din: Complacencia dinámica.

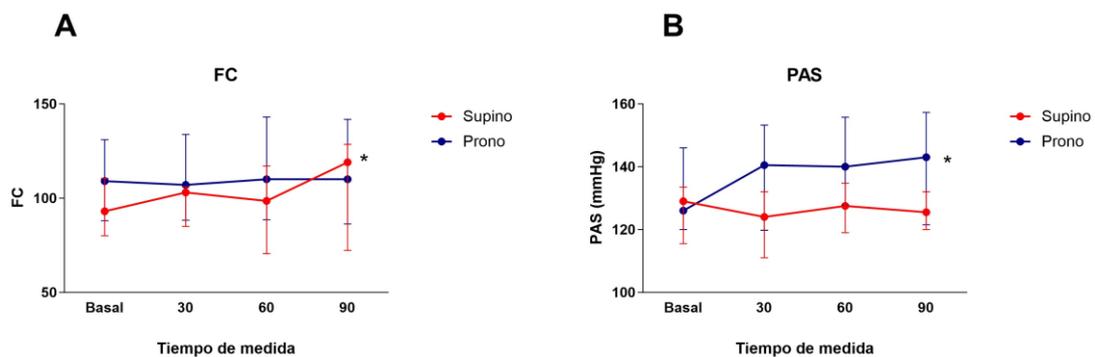


Figura 11.

A: FC en el tiempo en posición supino y prono. B: PAS en el tiempo en posición supino y prono.

En la gráfica (A) se observa que en la posición supino fue a lo largo del tiempo significativo (Valor p 0,044). En la gráfica (B) se evidenció cambios significativos (Valor p 0,049) en el tiempo en posición prono.

*: Variación estadísticamente significativa dentro del grupo respecto al tiempo.

FC: Frecuencia cardíaca. PAS: Presión arterial sistólica.

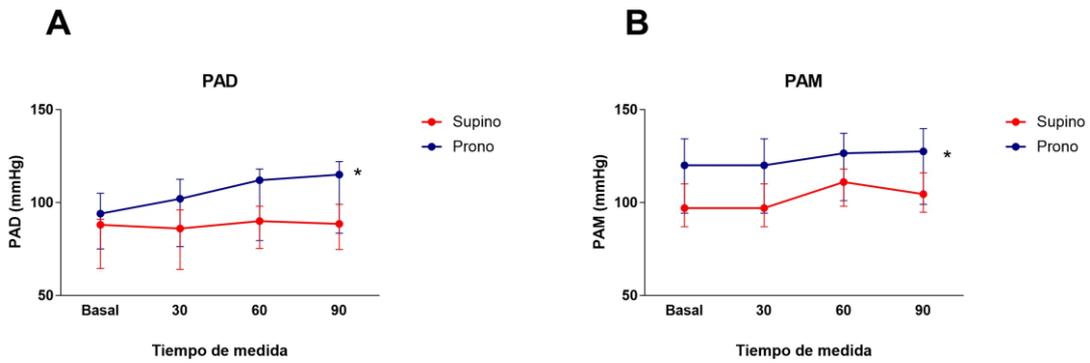


Figura 12.

A: PAD en el tiempo en posición supino y prono. B: PAM en el tiempo en posición supino y prono.

En las gráficas (A) y (B) se evidenció cambios significativos (Valor p 0,012 - 0,035) en el tiempo en posición prono.

*: Variación estadísticamente significativa dentro del grupo respecto al tiempo.

PAD: Presión arterial diastólica. PAM: Presión arterial media.

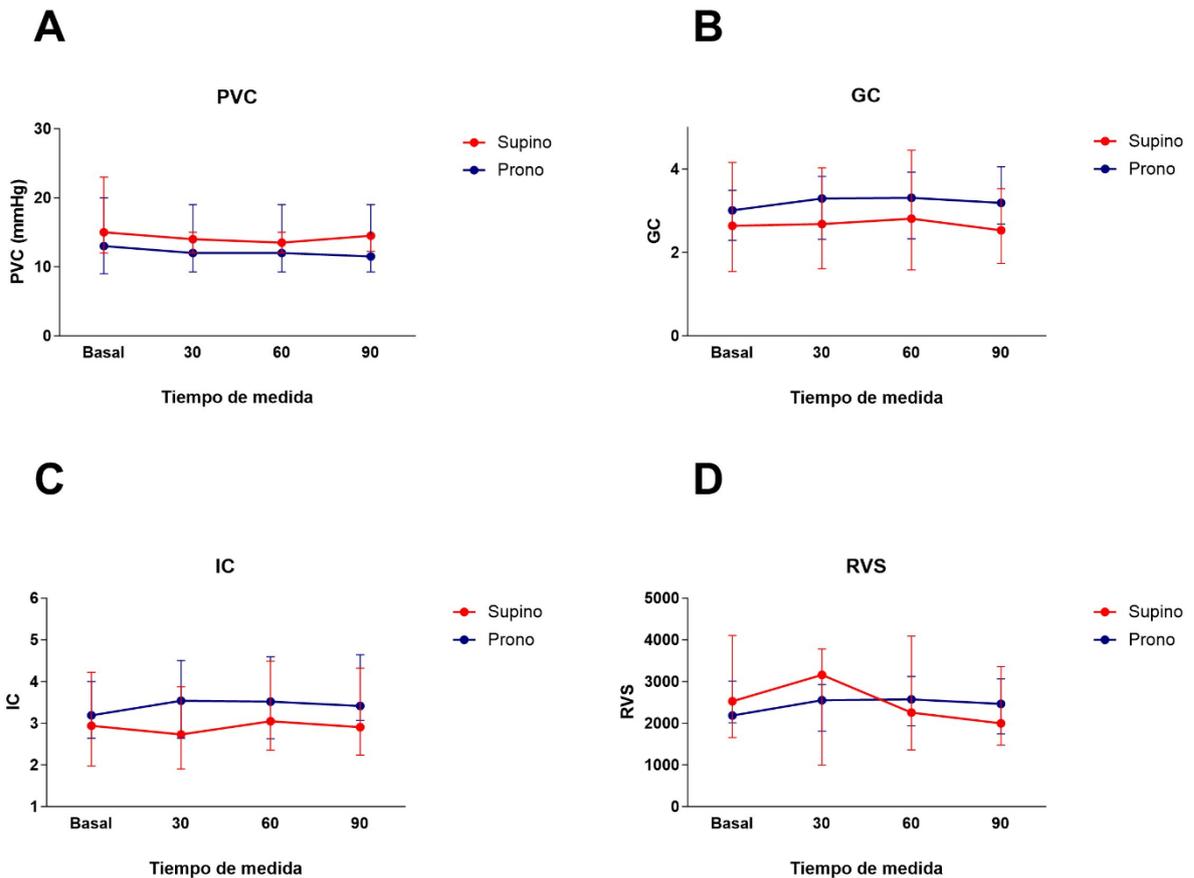


Figura 13.

A: PVC en el tiempo en posición supino y prono. B: GC en el tiempo en posición supino y prono.

C: IC en el tiempo en posición supino y prono. D: RVS en el tiempo en posición supino y prono.

En relación a las gráficas de la Figura 6, no se evidenció diferencias significativas en ninguno de los parámetros medidos.

PVC: Presión venosa central. GC: Gasto cardíaco. IC: Índice cardíaco. RVS: Resistencia vascular sistémica.

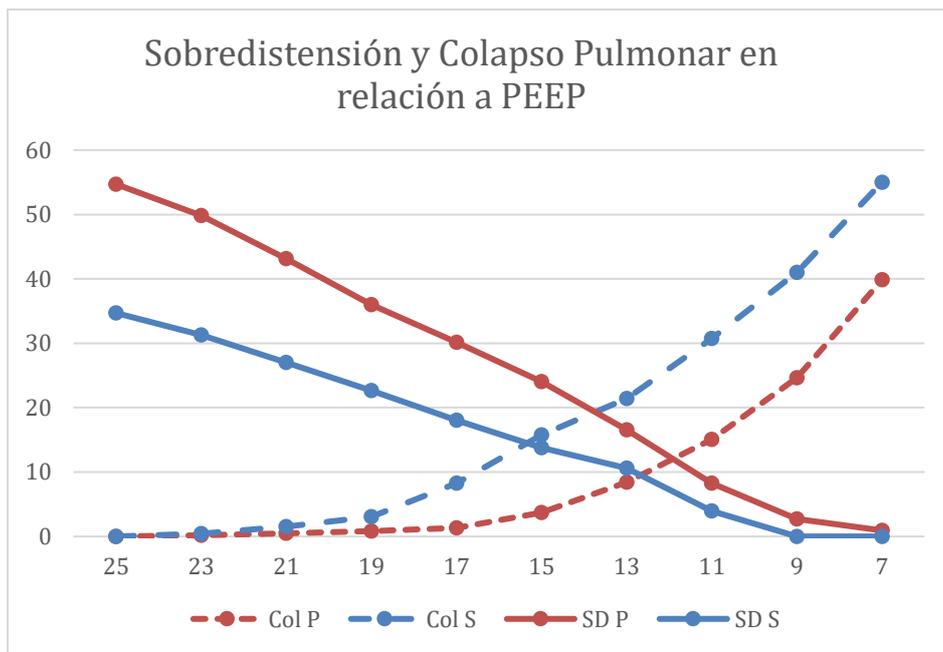


Figura 14.

Se observa que el colapso en la posición prono es menor en comparación a la posición supino en los distintos valores de PEEP. En cuanto a la sobredistensión pulmonar es mayor en la posición prono que en la posición supino en los distintos valores de PEEP.

Col P: Colapso posición prono. Col S: Colapso posición supino. SD P: Sobredistensión posición prono. SD S: Sobredistensión posición supino. PEEP: Presión positiva al final de la espiración.

DISCUSIÓN:

Al analizar los datos obtenidos del estudio "Tomografía de Impedancia Eléctrica: Nuevo método para optimizar la ventilación mecánica en LPA/SDRA: comparación supino-prono" llevado a cabo por Santos, M. en el Hospital de Clínicas "Dr Manuel Quintela" realizado en ocho cerdos, con el objetivo de evidenciar diferencias entre estas dos posiciones anatómicas al momento de realizar ventilación mecánica en un modelo animal con SDRA, se encontraron los resultados mostrados anteriormente, de los cuales se desprende:

En cuanto a la mecánica ventilatoria se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la PEEP, P max y en P meseta, sin hallar cambios en el resto de las variables analizadas. Los cambios en las presiones de la vía aérea están dados por los cambios en la mecánica ventilatoria, que varían con la posición anatómica. En este caso, el decúbito prono mejora la complacencia pulmonar evidenciándose una disminución de las presiones en vía aérea, llevándolo dentro de parámetros de protección pulmonar.

Respecto a las variables gasométricas se observaron diferencias estadísticamente significativas en la PaO₂ y Saturación de O₂ siendo estas superiores en posición prono, sin hallarse diferencias en los restantes parámetros. Dicho resultado evidencia una clara mejora en la oxigenación que puede deberse a una mejora en la relación ventilación-perfusión, esta mejora ocurre por el aumento del reclutamiento de las zonas dorsales que en la posición supino se encuentran colapsadas, disminuyendo la atelectasia y generando un mejor intercambio gaseoso.

En los estudios "Prone Positioning in Acute Respiratory Distress Syndrome" y "Prone position in ARDS patients: why, when, how and for whom" se obtuvieron resultados similares a los adquiridos en nuestro estudio.

Al analizar las variables hemodinámicas no se encontraron diferencias estadísticamente significativas con la variación de posición ni con los cambios de presiones de la vía aérea.

Utilizando la TIE, al medir la sobredistensión y el colapso pulmonar en los diferentes valores de PEEP, se observó que en posición prono el entrecruzamiento de las gráficas se mueve a la derecha. Esto traduce que, en este modelo experimental, el nivel de PEEP asociado a menor grado de colapso y mayor grado de sobredistensión es menor en posición prono que en supino. Si bien estas diferencias no alcanzaron significancia estadística, esto podría deberse al número limitado de animales analizados (n=4 por grupo).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS:

El Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo (SDRA) constituye una entidad muy importante en terapia intensiva, debido a su alta incidencia, mortalidad, secuelas y ausencia de un tratamiento específico.

La ventilación en decúbito prono ha demostrado ser efectiva en la mejoría de estos pacientes, contribuyendo en el reclutamiento alveolar y en la mejora de la relación ventilación perfusión.

En nuestro trabajo de investigación se evidenció que la ventilación en decúbito prono mejora la mecánica ventilatoria en este modelo de distrés en los cerdos analizados.

La mejoría en la mecánica ventilatoria se manifiesta en una mejoría de intercambio pulmonar de gases con menores requerimientos de PEEP.

Los parámetros hemodinámicos no se modificaron con la variación de posición ni con los cambios en la presión de vía aérea.

Se necesita ampliar la muestra para obtener resultados contundentes y poder extrapolarlos a la práctica clínica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Meyer NJ, Gattinoni L, Calfee CS. Acute respiratory distress syndrome. *Lancet Lond Engl*. 2021;398(10300):622-37.
2. Kushimoto S, Endo T, Yamanouchi S, Sakamoto T, Ishikura H, Kitazawa Y, et al. Relationship between extravascular lung water and severity categories of acute respiratory distress syndrome by the Berlin definition. *Crit Care*. 2013;17(4):R132.
3. Gutiérrez Muñoz F. Ventilación mecánica. *Acta Médica Peru*. abril de 2011;28(2):87-104.
4. Maniobras de reclutamiento alveolar en el síndrome de distrés respiratorio agudo [Internet]. [citado 26 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.medintensiva.org/es-pdf-S0210569113000168>
5. Rialp Cervera G. Efectos del decúbito prono en el síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA). *Med Intensiva*. 1 de agosto de 2003;27(7):481-7.
6. Katira BH, Osada K, Engelberts D, Bastia L, Damiani LF, Li X, et al. Positive End-Expiratory Pressure, Pleural Pressure, and Regional Compliance during Pronation. An Experimental Study. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 de mayo de 2021;203(10):1266-74.
7. Papazian L, Munshi L, Guérin C. Prone position in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med*. 1 de agosto de 2022;48(8):1062-5.
8. Gattinoni L, Busana M, Giosa L, Macrì MM, Quintel M. Prone Positioning in Acute Respiratory Distress Syndrome. *Semin Respir Crit Care Med*. febrero de 2019;40(1):94-100.
9. Guérin C, Albert RK, Beitler J, Gattinoni L, Jaber S, Marini JJ, et al. Prone position in ARDS patients: why, when, how and for whom. *Intensive Care Med*. diciembre de 2020;46(12):2385-96.
10. Wang Y xian, Zhong M, Dong M hui, Song J qiong, Zheng Y jun, Wu W, et al. Prone positioning improves ventilation–perfusion matching assessed by electrical impedance tomography in patients with ARDS: a prospective physiological study. *Crit Care*. 27 de mayo de 2022;26(1):154.
11. Barreiro M, Sanchez P, Vera J. IMPETOM-Clínico: Tomógrafo por Impedancia Eléctrica para el seguimiento del edema pulmonar.

AGRADECIMIENTOS:

Primeramente, agradecer a los tutores, Martín Angulo, Rodrigo Beltramelli y Pedro Alzugaray por brindarnos su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Agradecer al Laboratorio de Exploración Funcional y Respiratorio que nos aportaron los materiales y el espacio físico en el Hospital de Clínicas, donde se llevaron a cabo las reuniones.

Por último, agradecer a los integrantes de la Cátedra de Medicina Intensiva por colaborar con nosotros en este proyecto.

ANEXOS:



Montevideo, 29 de diciembre de 2021.-

Se deja constancia que el protocolo experimental N° 1450, titulado: “Tomografía de impedancia eléctrica: nuevo método para optimizar la ventilación mecánica en LPA/SDRA: Comparación supino-prono”, cuenta con el aval de la Comisión de Ética en el Uso de Animales de la Facultad de Medicina.

Investigador responsable del proyecto y del protocolo experimental: Dr. Martín Angulo.

Lic. Mariela Santos
Secretaria de la Comisión
de Ética en el Uso de
Animales
Facultad de Medicina

