

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE MEDICINA
HOSPITAL UNIVERSITARIO “DR. JOSÉ ELEUTERIO GONZÁLEZ”
POSGRADO TERAPIA INTENSIVA PEDIÁTRICA



**ENERGÍA POR RESPIRACIÓN NORMALIZADA POR KG EN PACIENTES
PEDIÁTRICOS SÍNDROME DE DISTRÉS RESPIRATORIO AGUDO
PEDIÁTRICO.**

POR:

Dr. Alejandro Escoboza García.

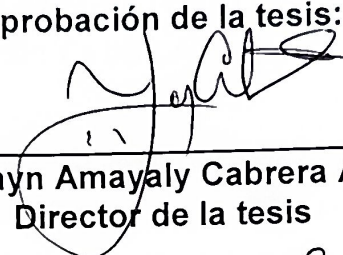
Como requisito parcial para obtener el grado de:

Especialista en Terapia Intensiva Pediátrica.

DICIEMBRE 2025.

ENERGÍA POR RESPIRACIÓN NORMALIZADA POR KG EN PACIENTES
PEDIÁTRICOS SÍNDROME DE DISTRÉS RESPIRATORIO AGUDO
PEDIÁTRICO.

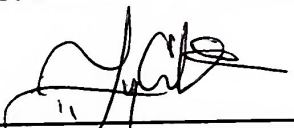
Aprobación de la tesis:



Dra. Yanyn Amayaly Cabrera Antonio
Director de la tesis



Dra. Verónica Rodríguez Martínez
Coordinador de Enseñanza



Dra. Yanyn Ameyaly Cabrera Antonio
Coordinador de Investigación



Dr. med. Fernando Félix Montes Tapia
Jefe de Departamento



Dr. med. Arturo Gerardo Garza Alatorre
Jefe de servicio

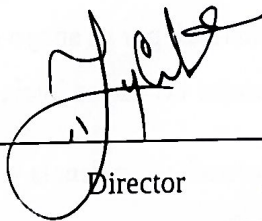


Dr. med. Felipe Arturo Morales Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado

**DECLARACIÓN DE LOS LUGARES EN DONDE
SE DESARROLLÓ EL TRABAJO.**

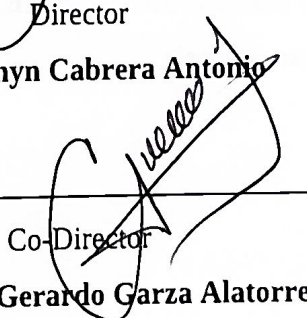
**PODER MECÁNICO NORMALIZADO POR KG EN PACIENTES
PEDIÁTRICOS
SÍNDROME DE DISTRÉS RESPIRATORIO AGUDO PEDIÁTRICO ANTES Y
DESPUÉS DE LA PRONACIÓN.**

Este trabajo fue realizado en la Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos, de la Subdirección de Medicina Crítica Pediátrica, en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León, bajo la Dirección de la Dra. Yanyn Cabrera Antonio y la Co-dirección del Dr. Arturo Garza.



Director

Dra. Yanyn Cabrera Antonio



Co-Director

Dr. Arturo Gerardo Garza Alatorre

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, a la Facultad de Medicina y al Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”, por brindar el espacio académico, institucional y clínico necesario para la realización de este proyecto de investigación.

A la Dra. Yanyn Amayaly Cabrera Antonio, directora de esta tesis, por su guía, su dedicación y su acompañamiento constante, fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Arturo Gerardo Garza Alatorre, codirector de tesis, por sus valiosos aportes, su orientación metodológica y su compromiso para fortalecer la calidad científica de esta investigación.

A la Est. Nina Violeta Colunga Villarreal, por su apoyo en la elaboración del protocolo de investigación y su colaboración durante las etapas iniciales del proyecto.

A mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y su confianza, que han sido un pilar indispensable para culminar esta tesis.

DEDICATORIA.

A mi familia, por ser mi mayor motivo, mi refugio y la fuerza que sostiene cada uno de mis pasos.

“A mi familia”

En cada meta que alcanzo,

en cada paso que doy,

hay un poco de su cariño

sosteniendo lo que soy.

LISTA DE ABREVIATURAS.

A) Abreviaturas clínicas y generales

Abreviatura	Significado	Fórmula / Nota técnica
COVID-19	Coronavirus Disease 2019	—
ECMO	Oxigenación por Membrana Extracorpórea	—
SDRA	Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo	—
SDRAp / PARDS	Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo Pediátrico	—
UCIP / UCIPed	Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos	—
UCI	Unidad de Cuidados Intensivos	—

B) Variables de mecánica ventilatoria

Abreviatura	Significado	Fórmula / Nota técnica
Cstat	Compliance estática	$C_{stat} = V_t \div (P_{plat} - PEEP)$
ΔP / DP	Presión de conducción	$\Delta P = P_{plat} - PEEP$
FiO ₂	Fracción inspirada de oxígeno	—
MAP	Presión media de la vía aérea	Variable según modo
MErs	Energía por respiración	$MErs = 0.098 \times (V_t/kg) \times$

	normalizada por kg	$(PIP - [(Pplat - PEEP)/2])$
PaCO ₂	Presión arterial de dióxido de carbono	—
PaO ₂	Presión arterial de oxígeno	—
PIP / Ppeak	Presión inspiratoria pico	—
Pplat	Presión meseta	Obtenida con pausa inspiratoria
PEEP	Presión positiva al final de la espiración	—
PF	Relación PaO ₂ /FiO ₂	$PF = PaO_2 \div FiO_2$
PM	Poder mecánico	$PM = 0.098 \times Vt \times RR \times (Ppeak - [(Pplat - PEEP)/2])$
PM-PCV	Poder mecánico en presión control	$PM-PCV = 0.098 \times RR \times Vt \times (\Delta P_{control} + PEEP/2)$
PM/kg	Poder mecánico normalizado por kg	$PM/kg = PM \div peso(kg)$
RR / FR	Frecuencia respiratoria	respiraciones/min
SaO ₂	Saturación arterial de oxígeno	—
Vt	Volumen corriente	—
Vt/kg	Volumen corriente ajustado por peso	$Vt/kg = Vt \div peso(kg)$

C) Índices de oxigenación

Abreviatura	Significado	Fórmula / Nota técnica
-------------	-------------	------------------------

IO	Índice de Oxigenación	$IO = (MAP \times FiO_2 \times 100) \div PaO_2$
ISO	Índice de Saturación-Oxigenación	$ISO = (MAP \times FiO_2 \times 100) \div SpO_2$

D) Modos y fórmulas ventilatorias

Abreviatura	Significado	Fórmula / Nota técnica
PCV	Ventilación controlada por presión	—
VCV	Ventilación controlada por volumen	—

E) Abreviaturas estadísticas

Abreviatura	Significado	Fórmula / Nota técnica
α	Nivel de significancia	—
β	Error tipo II	—
DE / SD	Desviación estándar	—
n	Tamaño de muestra	—
p	Valor de significancia	—
r	Coefficiente de Pearson	—
ρ (rho)	Coefficiente de Spearman	—
RIC / IQR	Rango Intercuartílico	—

F) Metodología del estudio

Abreviatura	Significado	Fórmula / Nota técnica
HU	Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”	—
PALICC	Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference	—
PALICC-2	Segunda actualización del consenso PALICC	—
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences	—

ÍNDICE DE CONTENIDO.

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
LISTA DE ABREVIATURAS	III
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	2
MARCO TEÓRICO	2
ANTECEDENTES	5
OBJETIVOS	7
HIPÓTESIS	7
JUSTIFICACIÓN	7
MATERIALES Y MÉTODOS	9
ASPECTOS ÉTICOS	13
PLAN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO	14
CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA	16
MECANISMOS DE CONFIDENCIALIDAD	17

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	18
RESULTADOS	20
DISCUSIÓN	30
CONCLUSIÓN	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Variables.	15
Tabla 2. Cronograma de Actividades.	18
Tabla 3. Tabla por edad y valores de IO e ISO.	21
Tabla 4. Cuartiles de poder mecánico pre y post-prono.	22
Tabla 5. Normalidad del PM/kg (K–S y S–W) pre y post-prono.	23
Tabla 6. Prueba de Wilcoxon antes y después del prono.	24
Tabla 7. Prueba de Wilcoxon antes y después del prono.	24
Tabla 8. Correlación PM/kg post-prono vs IO 24 h (Spearman).	25
Tabla 9. Correlación PM/kg post-prono vs ISO 24 h (Spearman).	27

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 Asociación IO a 24hy PM	25
Figura 2 Relación entre PM antes y después de pronación.	26
Figura 3 <i>Relación PM/kg e ISO 24 h.</i>	27
Figura 4 Presión de conducción pre y post-prono.	28
Figura 5 Complianza estática pre y post-prono.	29
Figura 6 Presión de conducción vs PM/kg post-prono (24 h).	30

RESUMEN

Dr. Alejandro Escoboza García

Universidad Autónoma de Nuevo León

Título del estudio: Poder mecánico normalizado por kg en pacientes pediátricos con síndrome de distrés respiratorio agudo antes y después de la pronación.

Área de Estudio: Unidad de Medicina Crítica Pediátrica.

Introducción: El síndrome de distrés respiratorio agudo pediátrico (SDRAp) es una causa frecuente de ingreso a UTIP, con mortalidad que puede superar el 30% en casos graves. El poder mecánico (PM) ha surgido como un marcador fisiológico del riesgo de lesión pulmonar inducida por el ventilador, pero su comportamiento ante intervenciones como la pronación no ha sido suficientemente estudiado en pediatría.

Objetivo: Evaluar el efecto de la posición prona sobre el poder mecánico normalizado por kg en pacientes pediátricos con SDRA.

Materiales y Métodos: Estudio observacional, analítico, longitudinal y ambispectivo en pacientes de 1 mes a 15 años con SDRA bajo ventilación mecánica invasiva y posición prona. Se compararon valores intraindividuales de PM absoluto y normalizado antes y 24 horas después del prono. Se aplicó Shapiro–Wilk para normalidad y Wilcoxon para mediciones pareadas.

Resultados: La pronación no produjo una disminución significativa del PM/kg a las 24 horas ($p = 0.981$). Sin embargo, se observó mejoría del IO, indicando una respuesta favorable en oxigenación sin un cambio paralelo en la carga mecánica.

Conclusión: La posición prona no reduce significativamente el poder mecánico, aunque sí mejora la oxigenación (disminución del IO). Esto confirma la existencia de respondedores y no respondedores mecánicos en pediatría y resalta la necesidad de individualizar la evaluación de la respuesta al prono, así como el valor del poder mecánico como herramienta complementaria en ventilación protectora pediátrica

ABSTRACT

Dr. Alejandro Escoboza García

Universidad Autónoma de Nuevo León

Title: Mechanical power normalized by kg in pediatric patients with acute respiratory distress syndrome before and after prone positioning.

Study Area: Pediatric Critical Care Unit.

Introduction: PARDS remains a major cause of PICU admission, with mortality exceeding 30% in severe cases. Ventilatory management is largely extrapolated from adult data, raising concerns about its applicability in children. MP has emerged as a physiological marker of VILI risk, yet its behavior in response to prone positioning in pediatric patients is poorly characterized.

Objective: To evaluate the effect of prone positioning on mechanical power normalized by kg in pediatric patients with PARDS.

Materials and Methods: Observational, analytical, longitudinal, ambispective study including patients aged 1 month to 15 years requiring mechanical ventilation and prone positioning. Paired comparisons of MP (absolute and normalized) before and 24 hours after proning were performed. Normality was assessed with Shapiro–Wilk, and paired analyses with Wilcoxon.

Results: Prone positioning did not significantly reduce MP/kg at 24 hours ($p = 0.981$). However, the Oxygenation Index (OI) improved following prone positioning, indicating better gas exchange despite unchanged mechanical load.

Conclusion: Prone positioning does not significantly decrease mechanical power, although it improves oxygenation. These findings support the existence of mechanical responders and non-responders in pediatric PARDS and highlight the relevance of MP as a complementary tool in assessing protective ventilation.

Introducción

El síndrome de distrés respiratorio agudo pediátrico (SDRAp) representa una de las principales causas de ingreso a unidades de cuidados intensivos pediátricos (UCIP) y se asocia con una mortalidad que puede superar el 30% en los casos graves. A pesar de su relevancia clínica, el manejo ventilatorio del SDRAp continúa basándose, en gran medida, en extrapolaciones de estudios realizados en adultos, lo que genera incertidumbre sobre la verdadera eficacia y seguridad de las estrategias actuales en la población pediátrica.

En los últimos años, ha cobrado importancia el concepto de poder mecánico, entendido como la energía transferida por el ventilador al sistema respiratorio por unidad de tiempo. Esta variable ha demostrado ser un marcador integrador del riesgo de lesión pulmonar inducida por el ventilador (VILI), correlacionándose con desenlaces clínicos adversos, incluida la mortalidad. Sin embargo, la mayoría de la evidencia proviene de pacientes adultos, y su aplicación en niños sigue siendo limitada, poco estandarizada y escasamente validada.

Paralelamente, la posición prona se ha incorporado como estrategia de rescate en pacientes con hipoxemia refractaria, mostrando beneficios fisiológicos claros en términos de oxigenación, homogeneidad ventilatoria y distribución de presiones transpulmonares. Se ha propuesto que el prono podría contribuir, además, a disminuir el poder mecánico requerido para ventilar, lo cual representaría un mecanismo adicional de protección pulmonar. Sin embargo, esta hipótesis no ha sido validada en población pediátrica, y no se cuenta con estudios que evalúen de manera objetiva el impacto del prono sobre el poder mecánico en niños con SDRA.

Esta situación evidencia una vulnerabilidad estructural en el conocimiento científico pediátrico, faltando herramientas objetivas y validadas que permitan cuantificar el efecto

de intervenciones como la pronación sobre la carga energética del ventilador limita el manejo y las estrategias de ventilación mecánica.

Por lo que resulta fundamental estudiar la interacción del poder mecánico en el contexto pediátrico. Explorar esta relación podría abrir nuevas alternativas de manejo y monitoreo, mejorando así la calidad del soporte respiratorio y los desenlaces clínicos.

Pregunta de investigación

¿Disminuye el poder mecánico en pacientes pediátricos con SDRA que son manejados en posición prona, en comparación con el decúbito supino?

Marco Teórico

Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo Pediátrico (SDRAp)

El síndrome de distrés respiratorio agudo pediátrico (SDRAp) es una condición clínica caracterizada por insuficiencia respiratoria hipoxémica, que resulta de un daño inflamatorio agudo al parénquima pulmonar. La definición propuesta por la Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference (PALICC) y actualizada en PALICC-2 establece criterios diagnósticos específicos para la población pediátrica, distinguiéndose del SDRA adulto por sus manifestaciones fisiológicas y etiológicas únicas [1].

Las principales causas de SDRAp incluyen neumonía, sepsis, aspiración, trauma y, recientemente, infecciones virales como COVID-19 [2]. El manejo se basa en una estrategia de ventilación mecánica protectora, que limita el volumen corriente y la presión meseta, con el objetivo de minimizar la lesión pulmonar inducida por el ventilador (VILI, por sus siglas en inglés) [3].

Poder Mecánico en Ventilación Mecánica

El concepto de poder mecánico (PM) es la unión en una sola variable de la energía total transferida por el ventilador al sistema respiratorio durante cada minuto, integra componentes tanto elásticos como resistivos del ciclo respiratorio, incluyendo el volumen corriente (V_t), la presión inspiratoria, la frecuencia respiratoria, el flujo y la PEEP [4].

Gattinoni y colaboradores formalizaron este concepto en 2016, derivándolo de la ecuación

del movimiento y proponiendo una fórmula simplificada para pacientes bajo ventilación por volumen control $PM_{VCV} = 0.098 \times V_t \times FR \times (P_{ico} - [P_{plat} - PEEP]/2)$ y la siguiente fórmula para pacientes por presión control $PM_{PCV} = 0.098 \times RR \times V_t \times (\Delta P_{control} + PEEP/2)$, donde el resultado se expresa en Joules/minuto, una medida de energía transferida por unidad de tiempo [4].

Se reconoce el PM como un marcador fisiológico integral que cuantifica la carga energética impuesta al pulmón. Su valor pronóstico ha sido documentado en adultos con SDRA, mostrando correlación con el desarrollo de VILI y con el aumento de la mortalidad [5]. En el entorno pediátrico, aunque el uso de PM aún es limitado, investigaciones recientes sugieren una asociación significativa entre valores elevados de PM y desenlaces adversos, especialmente en casos de SDRA grave [6][7].

Además, estudios como el de Khemani et al. destacan que en niños, el cálculo del poder mecánico requiere ajustes importantes, como la normalización por el tamaño pulmonar o la compliance, debido a la variabilidad fisiológica según la edad. [6]

Posición Prona en el Manejo del SDRA Pediátrico

La posición prona, estrategia terapéutica utilizada para mejorar la oxigenación en pacientes con SDRA, al redistribuir la ventilación y perfusión dentro del parénquima pulmonar. Su uso se ha consolidado en adultos tras estudios como el PROSEVA, que demostraron una reducción significativa en la mortalidad cuando se implementa tempranamente y de forma prolongada [8].

En pediatría, los datos son más limitados. Aunque estudios preliminares mostraron mejoras transitorias en la oxigenación, los resultados respecto a desenlaces clínicos más relevantes (como días libres de ventilación o mortalidad) han sido variables [9]. Las recomendaciones actuales, como las de PALICC, sugieren considerar la posición prona en pacientes con SDRA grave, especialmente cuando no responden a otras intervenciones[1].

Desde el punto de vista fisiológico, el prono en niños mejora la relación ventilación/perfusión, disminuye el colapso dorsal de los pulmones y reduce el shunt

intrapulmonar. Además, favorece una distribución más homogénea de la presión transpulmonar y podría contribuir a una ventilación más protectora al disminuir la sobredistensión regional y los gradientes de presión [10][11].

La pronación podría tener un impacto directo sobre el PM, al mejorar la compliance pulmonar global y disminuir la necesidad de presiones mas lara para alcanzar volúmenes tidal adecuando, disminuyendo así la energía transferida al parénquima [12].

Relación entre Poder Mecánico, Posición Prona y Mortalidad en el SDRA Pediátrico

El poder mecánico se ha propuesto como un marcador fisiopatológico clave para predecir la aparición de lesión pulmonar inducida por el ventilador (VILI) y como un predictor independiente de mortalidad en pacientes con SDRA [5][13]. Esta variable cuantifica no solo la magnitud del esfuerzo ventilatorio, sino también la frecuencia con la que se aplica, convirtiéndose en una representación más completa del “daño energético” impartido al pulmón [4].

Estudios recientes han demostrado que tanto el poder mecánico como la presión de conducción (ΔP) están independientemente asociados a la mortalidad, incluso tras ajustar por severidad de la enfermedad y otros factores confusores [5]. En pacientes pediátricos, investigaciones emergentes refuerzan esta relación, encontrando una correlación entre mayor poder mecánico y peores desenlaces clínicos, como más días de ventilación mecánica, menor número de días libres de soporte y aumento en la mortalidad [6][14].

La posición prona, al mejorar la distribución de la ventilación y reducir los gradientes regionales de presión, puede contribuir a disminuir el poder mecánico necesario para ventilar al paciente, al reducir el estrés y strain regionales [11][15]. En otras palabras, el prono no solo mejora la oxigenación, sino que también puede modular

fisiológicamente el costo energético de la ventilación, disminuyendo el riesgo de VILI. Esta hipótesis ha cobrado fuerza en el contexto pediátrico, especialmente ante la falta de terapias farmacológicas específicas para el SDRA [10].

Dada la variabilidad en peso, edad y frecuencia respiratoria en pediatría, se ha propuesto normalizar el poder mecánico. El estudio de Shaikh et al. (2024) encontró que el uso de PM ajustado por peso corporal (MPBW), compliance (MPCRS) o como energía por respiración normalizada por kg (MErs) correlaciona mejor con la gravedad del SDRAp y con desenlaces como mortalidad y días libres de ventilador. La fórmula para MErs es:

$$\text{MErs} = 0.098 \times (\text{Vt/kg}) \times (\text{PIP} - [(\text{Pplat} - \text{PEEP})/2])$$

Esta permite cuantificar la energía transmitida por respiración, eliminando la influencia de la frecuencia respiratoria y del tamaño corporal, y ha demostrado ser más útil para comparar entre pacientes de diferentes edades o tamaños.

Antecedentes

El abordaje ventilatorio del síndrome de distrés respiratorio agudo pediátrico (SDRAp) ha evolucionado considerablemente en los últimos años, especialmente con la incorporación de estrategias fisiológicamente orientadas a reducir el daño pulmonar inducido por el ventilador (VILI). No obstante, la evidencia pediátrica específica continúa siendo escasa y heterogénea, lo cual ha motivado múltiples estudios observacionales y ensayos clínicos en busca de parámetros fisiológicos útiles para guiar la ventilación protectora.

Uno de los avances más relevantes ha sido el desarrollo del concepto de poder mecánico (PM). En adultos, diversos estudios han demostrado que el PM, al integrar volumen corriente, presión, PEEP, frecuencia respiratoria y flujo, se correlaciona con la aparición de VILI y con la mortalidad en pacientes con SDRA [5][7]. En el ámbito pediátrico,

investigaciones recientes como la de Khemani et al. han comenzado a explorar esta variable, encontrando una asociación significativa entre el PM elevado y la mortalidad en niños con SDRA grave, aún tras ajustar por otros factores clínicos relevantes [6][14]. Sin embargo, se reconoce que las fórmulas derivadas de población adulta no siempre son directamente aplicables a la pediátrica, debido a diferencias en mecánica pulmonar, flujo y tamaño pulmonar [13].

Paralelamente, la posición prona ha sido ampliamente estudiada en adultos con SDRA, demostrando beneficios consistentes en oxigenación y reducción de mortalidad cuando se implementa tempranamente [8]. En población pediátrica, sin embargo, los resultados han sido más variables. El estudio multicéntrico de Curley et al. (2005) evidenció mejoras transitorias en la relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, pero no diferencias significativas en días libres de ventilación ni mortalidad [9]. A pesar de ello, las guías de PALICC recomiendan considerar el prono como opción terapéutica en casos de SDRA grave refractario [1].

Durante la pandemia por COVID-19, el uso del prono resurgió como estrategia incluso en pacientes no intubados, lo que motivó nuevas revisiones fisiológicas sobre sus mecanismos en pediatría. Se ha postulado que el prono no solo mejora la oxigenación, sino que podría disminuir el poder mecánico al reducir gradientes de presión y favorecer la distribución homogénea del volumen tidal [2][11].

Por otro lado, el estudio de Proulx et al., analizado críticamente por Khemani, resalta cómo el PM puede ser un mejor marcador de injuria pulmonar que otras variables tradicionales, como la presión de conducción o el volumen corriente aislado [6]. Sin embargo, se reconoce que faltan estudios pediátricos que integren de manera simultánea la posición prona y el análisis dinámico del poder mecánico como herramientas de seguimiento ventilatorio.

Dado este vacío en la literatura, resulta relevante y novedoso estudiar si la posición prona en pacientes pediátricos con SDRA tiene un efecto modulador sobre el poder mecánico, permitiendo así una ventilación más segura y personalizada.

Justificación del trabajo

Objetivo general

Evaluar el efecto de la posición prona sobre el poder mecánico en pacientes pediátricos con síndrome de distrés respiratorio agudo.

Objetivos específicos

- Cuantificar el poder mecánico en decúbito supino y en posición prona en pacientes con SDRA pediátrico.
- Comparar los valores de poder mecánico antes y después de la intervención con pronación.
- Analizar la relación entre los cambios en el poder mecánico y otras variables ventilatorias como la presión de conducción y compliance.

Hipótesis

Hipótesis principal

La posición prona disminuye significativamente el poder mecánico en pacientes pediátricos con SDRA, en comparación con el decúbito supino.

Hipótesis nula

La posición prona no modifica significativamente el poder mecánico en pacientes pediátricos con SDRA.

Relevancia Clínica y Justificación del Estudio

El manejo del SDRA pediátrico representa un reto clínico significativo, en gran parte por la limitada evidencia disponible para esta población y por las diferencias fisiológicas respecto al adulto. En este contexto, el poder mecánico (PM) surge como una variable fisiológica con potencial para optimizar el soporte ventilatorio, al ofrecer una visión más integrada del riesgo de daño pulmonar inducido por el ventilador [4][5].

A pesar de su valor teórico, el uso clínico del PM en niños sigue siendo escaso, en parte debido a la falta de estandarización de sus fórmulas en la población pediátrica, y a las dificultades para obtener mediciones precisas como la presión meseta o la compliance pulmonar [6][13]. Además, las características propias del sistema respiratorio infantil mayor complacencia torácica, menor volumen pulmonar funcional y vías aéreas de menor calibre influyen directamente en el impacto del ventilador sobre el pulmón, modificando la expresión clínica del VILI [10].

La posición prona, ampliamente utilizada en adultos con SDRA, ha demostrado beneficios en la oxigenación y, potencialmente, en la disminución del poder mecánico necesario para mantener una ventilación adecuada [8][15]. En pediatría, sin embargo, la evidencia es limitada y pocos estudios han abordado directamente la relación entre la pronación y la reducción del PM. En la actualidad, los protocolos pediátricos derivan en gran medida de modelos adultos, lo cual podría no reflejar adecuadamente las particularidades fisiológicas de los niños, como su alta complacencia torácica, menor reserva pulmonar y diferente comportamiento frente a la presión positiva.

Este estudio contribuiría a generar evidencia original y clínicamente relevante para las unidades de cuidados intensivos pediátricos, ofreciendo una base para futuras estrategias de monitoreo y optimización ventilatoria en niños con SDRA grave.

Materiales y Métodos

Diseño del estudio

Estudio observacional, analítico, longitudinal y ambispectivo, en el que se evaluará el poder mecánico antes y después de la colocación en posición prona en pacientes pediátricos de 1 mes de edad hasta 15 años con diagnóstico de SDRA que requirieron ventilación mecánica invasiva.

Tiempo para desarrollar el estudio

El presente estudio se clasifica como ambispectivo, comprendiendo una fase retrospectiva y una fase prospectiva.

Fase retrospectiva: incluirá la recolección y análisis de datos clínicos obtenidos previos al inicio formal del estudio, correspondientes a pacientes que cumplan con los criterios de inclusión y cuyos registros estén disponibles en los expedientes clínicos y bases institucionales.

Fase prospectiva: se desarrollará a partir de noviembre de 2025, una vez obtenidas las aprobaciones correspondientes por los Comités de Ética e Investigación, y concluirá en diciembre de 2025.

Lugar de trabajo

Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos (UCIP) del Hospital Universitario, ubicado en Monterrey, Nuevo León, México.

Población

Pacientes de 1 mes a 15 años con diagnóstico de SDRA según criterios PALICC/PALICC-2, que hayan sido manejados con ventilación mecánica invasiva y colocados en posición prona como parte del tratamiento ventilatorio en la UCIP.

Criterios de inclusión

- Edad entre 1 mes y 15 años.
- Diagnóstico de SDRA.
- Requiere ventilación mecánica invasiva.

- Manejo con posición prona.
- Datos ventilatorios antes y después del prono registrados correctamente.

Criterios de exclusión

- Datos clínicos incompletos.
- Pacientes con ECMO, paro cardiorrespiratorio u otros eventos que interfieran con la medición de variables.

Criterios de eliminación

- Pacientes que presenten errores en el registro de datos, inconsistencia entre valores o cambios de estrategia ventilatoria simultáneos al prono.

Procedimientos

1. Identificación de pacientes

Se realizará la búsqueda e identificación de pacientes pediátricos que cumplan con los criterios diagnósticos de Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo (SDRA) conforme a la definición de la *Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference (PALICC)*, ingresados a la Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos (UCIP) del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” durante el periodo comprendido entre enero de 2020 y diciembre de 2025. La identificación se efectuará mediante revisión del sistema electrónico institucional de registros clínicos y de la base de datos del Servicio de Medicina Crítica Pediátrica.

2. Selección y verificación de casos

Una vez identificados los pacientes con diagnóstico de SDRA, se verificará que hayan recibido al menos un episodio documentado de posición prona durante su estancia en la UCIP, y que cuenten con **registros ventilatorios completos antes y después de la maniobra**, incluyendo: presión pico (Ppeak), presión meseta (Pplat), presión positiva al final de la espiración (PEEP), volumen corriente (VT), frecuencia respiratoria (RR), fracción inspirada de oxígeno (FiO₂) y compliance estática.

Asimismo, se corroborará la disponibilidad de **gasometrías arteriales** correspondientes a los mismos intervalos de tiempo para garantizar la validez de la comparación intraindividual.

3. **Recolección de datos clínicos y ventilatorios**

Los datos clínicos, ventilatorios y gasométricos se recopilarán mediante revisión exhaustiva de los expedientes electrónicos institucionales.

Entre las variables recolectadas se incluirán:

- **Datos demográficos:** edad, sexo, peso y diagnóstico principal.
 - **Variables ventilatorias:** modo ventilatorio, PEEP, Pplat, Ppeak, VT, RR, FiO₂, compliance estática y resistencia.
 - **Variables gasométricas:** PaO₂, PaCO₂, pH, SaO₂ y relación PaO₂/FiO₂.
 - **Variables clínicas:** días en ventilación mecánica, duración de la posición prona, estancia en UCIP y desenlace (egreso o fallecimiento).
- La información se registrará en un formato de recolección estandarizado diseñado previamente para este estudio.

4. **Cálculo del poder mecánico**

El **poder mecánico (PM)** se calculará para cada paciente en **dos momentos definidos**:

0. **Antes de la pronación (pre-prono):** medición basal en posición supina, dentro de las 6 horas previas a iniciar la maniobra de prono.
1. **Después de la pronación (post-prono):** medición realizada hasta 24 horas después de iniciada la posición prona, utilizando los registros ventilatorios y gasométricos más representativos dentro de dicho intervalo, una vez alcanzada la estabilidad hemodinámica y respiratoria del paciente.

El cálculo del poder mecánico se efectuará utilizando la fórmula estándar validada para ventilación controlada por volumen, expresada en joules por minuto (J/min):

$$MP_{PCV} = 0.098 \times RR \times V_t \times (PIP - (P_{plat} - PEEP)/2)$$

y la formula para ventilacion por presión controlada

$$PM_{PCP} = 0.098 \times RR \times V_t \times (\Delta P_{control} + PEEP/2)$$

Donde:

2. **PM** = poder mecánico (J/min)
3. **VT** = volumen corriente (mL)
4. **RR** = frecuencia respiratoria (resp/min)
5. **Ppeak** = presión pico (cmH₂O)
6. **Pplat** = presión meseta (cmH₂O)
7. **PEEP** = presión positiva al final de la espiración (cmH₂O)

Para permitir la comparación entre individuos de diferente complexión corporal, el poder mecánico se normalizará por el peso corporal (kg) mediante la siguiente ecuación:

$$PM_{norm} = \frac{PM}{Peso}$$

Donde:

8. **PM_{norm}** = poder mecánico normalizado (J/min/kg)
9. **PM** = poder mecánico absoluto (J/min)
10. **Peso** = peso corporal del paciente (kg)

Las mediciones se tomarán durante periodos de **estabilidad ventilatoria**, definidos como ausencia de cambios relevantes en modo ventilatorio, volumen corriente, PEEP o FiO₂ durante al menos dos horas previas al registro. En los casos en que existan múltiples registros dentro del intervalo de 24 horas post-prono, se seleccionará el valor correspondiente a la **mejor relación PaO₂/FiO₂**, como reflejo del punto de mayor respuesta fisiológica a la maniobra de pronación.

2. Captura y anonimización de datos

Todos los datos recolectados serán ingresados en una base de datos creada en Microsoft Excel®, asignando un código numérico único a cada paciente para preservar la confidencialidad. No se incluirán nombres, números de expediente ni ningún otro identificador personal. El archivo final será almacenado en una computadora institucional protegida con contraseña, con acceso restringido únicamente al investigador principal.

3. Análisis estadístico

Se efectuará un análisis **comparativo intraindividual** entre los valores de poder mecánico (absoluto y normalizado) obtenidos antes y después de la pronación. La distribución de las variables se evaluará mediante la **prueba de Shapiro–Wilk**. Las variables con distribución normal se analizarán con la **prueba *t* de Student para muestras pareadas**, y las no paramétricas mediante la **prueba de rangos con signo de Wilcoxon**. Los resultados se expresarán como **media \pm desviación estándar** o **mediana con rango intercuartílico (RIC)**, según corresponda. Se considerará estadísticamente significativa una $p < 0.05$. El análisis se llevará a cabo utilizando el software estadístico **IBM® SPSS® versión 26.0 o superior**.

Aspectos Éticos

El presente estudio será conducido conforme a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki, así como lo dispuesto en el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, particularmente lo establecido en su Artículo 17, que clasifica los estudios de acuerdo con el riesgo que implican para los sujetos.

Este proyecto se considera una investigación sin riesgo, ya que se trata de un estudio observacional que se basa en la recolección y análisis de datos clínicos existentes y no se interviene en el manejo habitual de los pacientes, ni se exponen a procedimientos adicionales. No se emplearán fármacos, dispositivos ni manipulaciones que impliquen riesgo físico o psicológico.

El protocolo será sometido para su evaluación, dictamen y aprobación por el Comité de Ética en Investigación del Hospital Universitario (HU), conforme a los lineamientos institucionales vigentes.

Plan de análisis estadístico

Se empleará el software [SPSS / STATA / R / Excel] para análisis de datos. Se utilizarán pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk). Para comparar el poder mecánico antes y después del prono se aplicará la prueba t de Student para muestras pareadas o Wilcoxon si no hay normalidad. Se usará un nivel de significancia estadística de $p < 0.05$. Las variables secundarias se analizarán con estadística descriptiva.

En la estadística descriptiva, las variables cualitativas poblacionales serán presentadas mediante frecuencias y porcentajes, mientras que para las variables cuantitativas serán presentadas mediante media y su desviación estándar, así como la mediana y rango.

Se evaluará la normalidad de la distribución de los datos con la prueba de Shapiro Wilk, y dependiendo del resultado se decidirá usar pruebas paramétricas o su equivalente de no paramétricas. De acuerdo al objetivo principal se obtendrá la media de los resultados obtenidos por la fórmula “energía por respiración normalizada por peso” calculados antes y después de la intervención, el análisis de estadístico se realizará tomando en cuenta la normalidad, en caso de obtener una distribución normal utilizaremos una prueba T student pareada, en caso de obtener una distribución no normal utilizaremos la prueba Wilcoxon. Los resultados se presentarán en media y desviación estándar, considerando un valor p significativo menor a 0.5.

Para el objetivo secundario de relacionar el poder mecánico antes y después de la intervención con la presión de conducción y compliance dependiendo de si obtenemos una distribución no normal de los datos se utilizará una correlación de Spearman reportando los resultados mediante el coeficiente de Spearman. En caso de obtener una distribución normal se utilizará una correlación de Pearson, reportando los resultados utilizando coeficiente de Pearson. Se consideraron estadísticamente significativos los valores $p < 0.05$. Todos los análisis de datos serán realizados utilizando Statistical Package for the Social Sciences para Windows (SPSS Inc, Chicago, IL).

Para la comparación entre los modos ISO e IO, se analizaron las variables poder mecánico, Driving Pressure y Compliance. La selección de la prueba estadística se basó en la normalidad de los datos: se utilizó la prueba t de Student pareada cuando la distribución fue normal y la prueba de Wilcoxon cuando no lo fue. Las diferencias entre ambos modos se expresaron en términos absolutos y porcentuales.

Tabla de variables

Variable	Tipo de variable	Unidad o medida
Poder mecánico	Cuantitativa continua	Joules/minuto
Posición del paciente	Cualitativa dicotómica	Supino / Prono
Presión pico	Cuantitativa continua	cmH ₂ O
Presión meseta	Cuantitativa continua	cmH ₂ O
PEEP	Cuantitativa continua	cmH ₂ O
Volumen corriente	Cuantitativa continua	ml/kg
Frecuencia respiratoria	Cuantitativa continua	rpm
FiO ₂	Cuantitativa continua	%
Presión de conducción	Cuantitativa continua	cmH ₂ O
Compliance estática	Cuantitativa continua	ml/cmH ₂ O
PaO ₂ , PaCO ₂ , pH	Cuantitativas continuas	mmHg / unidad
Días en ventilación	Cuantitativa discreta	días
Mortalidad	Cualitativa dicotómica	Sí / No

Tabla 1. Variables.

Cálculo del tamaño de la muestra.

Para el cálculo del tamaño mínimo de la muestra, se utilizó una fórmula para comparación de dos medias emparejadas (antes y después de la intervención), considerando:

$$n = \left(\frac{(Z_{\alpha} + Z_{\beta}) \cdot \sigma}{\Delta} \right)^2$$

n = tamaño mínimo de la muestra requerida.

Z α = valor crítico de la distribución normal para el nivel de confianza. Para un 95% de confianza, el valor es 1.96 en pruebas bilaterales y 1.64 en pruebas unilaterales.

Z β = valor crítico correspondiente al poder estadístico deseado. Para un poder del 90%, el valor es 1.28.

σ = desviación estándar conocida de la variable. En este estudio se utilizó un valor de 4.

Δ = diferencia mínima clínicamente significativa que se desea detectar entre los grupos. En este caso, se consideró una diferencia de 4 joules.

- | | | | |
|---|--|-----------|-----------------------|
| - | Una | hipótesis | unilateral |
| - | Nivel de confianza: | 95% | ($\alpha = 0.05$) |
| - | Poder estadístico: | 90% | (1 - $\beta = 0.90$) |
| - | Media del poder mecánico ajustado sin pronación: | 1.2 | J/kg/min |
| - | Desviación estándar: | 0.4 | J/kg/min |
| - | Diferencia mínima clínicamente significativa a detectar: 4 mJ/kg | | |

Con estos parámetros, el tamaño de muestra requerido fue de mínimo 17 pacientes. Ajustando por una tasa de pérdida del 15%, el número total de pacientes a incluir es de 19. [17].

Para el cálculo del tamaño mínimo de la muestra se utilizó una fórmula para comparar dos medias, la media del poder mecánico corregido por peso antes y después de la pronación, para una hipótesis unilateral, con un nivel de confianza del 95%, un poder estadístico del 90%, y una media conocida sin pronación en pacientes pediátricos de 12 (desviación estándar de 4) [17] y una diferencia mínima a detectar de 4 joules en el antes (grupo 1) y después (grupo 2) , el tamaño de muestra requerido es de 17. Ajustando para un 15% de posibles pérdidas, en el seguimiento el número de pacientes a incluir es de 20.

Mecanismos de confidencialidad

La información será tratada con absoluta confidencialidad. Cada paciente será asignado un código alfanumérico irreconocible, y todos los datos se almacenarán en una base de datos encriptada, accesible solo para los investigadores autorizados.

No se recopilarán nombres, números de expediente, ni ningún dato personal que permita la identificación directa del paciente. Los resultados se presentarán de forma agregada, garantizando el anonimato.

Para la fase prospectiva, en caso de requerirse, se solicitará consentimiento informado a los padres o tutores legales de los pacientes, conforme a las disposiciones del Comité de Ética y la normatividad nacional.

Cronograma de Actividades.

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Revisión bibliográfica	x					
Diseño del protocolo y redacción inicial	x	x				
Aprobación por Comité de Ética		x				
Recolección de datos retrospectivos		x	x			
Recolección de datos prospectivos			x	x		
Captura y depuración de base de datos				x		
Análisis estadístico					x	
Redacción final de resultados y					x	x

conclusiones						
Elaboración y entrega del documento de tesis						x
Preparación para defensa oral						x

Tabla 2. Cronograma de Actividades.

Resultados

En este estudio se incluyeron un total de 19 pacientes, de los cuales 63% fueron del sexo masculino y 37% del sexo femenino, reflejando una ligera predominancia de varones en la cohorte analizada. En la distribución por edad, del total de pacientes 6 pacientes (31.6%) pertenecían al grupo de edad menor a 2 años, mientras que 13 pacientes (68.4%) pertenecían al grupo mayor o igual a 2 años, lo que indica que la mayoría de los casos corresponden a niños mayores de dos años.

En relación con las variables ventilatorias derivadas, se estimaron los valores del Índice de Oxigenación (IO) y el Índice de Saturación-Oxigenación (ISO) a las 24 horas. La mediana del IO fue de 13.9, mientras que la mediana del ISO fue de 10.0, lo cual sugiere una cohorte con disfunción respiratoria de gravedad moderada, considerando los puntos de corte habituales para PARDS.

La distribución de los valores individuales mostró dispersión esperada dentro del espectro clínico del síndrome de dificultad respiratoria aguda pediátrico. El grupo menor a 2 años presentó mayor variabilidad interindividual en IO e ISO, aunque sin diferencias visibles relevantes a simple inspección con respecto al grupo ≥ 2 años. Esto fue analizado formalmente posteriormente mediante pruebas inferenciales según normalidad (Shapiro–Wilk). (Tabla 3).

Paciente	Sexo	Edad categoría	IO 24h	ISO 24h
1	M	<2 años	12.0	7.0
2	F	<2 años	6.0	9.0
3	F	<2 años	22.0	22.0
4	F	≥2 años	10.0	10.0
5	M	<2 años	9.0	11.0
6	M	≥2 años	25.0	23.0
7	F	≥2 años	32.0	20.0
8	F	≥2 años	9.0	9.0
9	F	<2 años	5.6	5.6
10	M	≥2 años	12.5	8.0
11	M	≥2 años	6.0	5.0
12	M	≥2 años	22.0	23.0
13	F	≥2 años	28.0	28.0
14	F	≥2 años	15.0	10.0
15	M	≥2 años	13.9	9.8
16	M	≥2 años	38.0	42.0
17	M	≥2 años	28.0	28.0
18	M	≥2 años	15.0	10.0
19	F	≥2 años	28.0	28.0

Variable	Resultado
n total	19
% Masculino	63%
% Femenino	37%
Edad <2 años	6 pacientes (31.6%)
Edad ≥2 años	13 pacientes (68.4%)
IO 24h Mediana	13.9
ISO 24h Mediana	10.0

Tabla 3. Tabla por edad y valores de IO e ISO.

Para la comparación del poder mecánico normalizado por peso, los pacientes fueron clasificados en cuartiles clínicos establecidos previamente (Q1 <0.5; Q2 0.5–1.0; Q3 1.0–1.5; Q4 >1.5). El comportamiento de la distribución antes y después de la intervención mostró lo siguiente: En el cuartil 1 (<0.5 J·min⁻¹·kg⁻¹), correspondiente al grupo de menor poder mecánico, se encontraban 15 pacientes antes de la pronación, disminuyendo ligeramente a 14 pacientes después. Lo que demostró que la mayoría de los pacientes permanecieron en rangos bajos de poder mecánico, con mínima variabilidad tras la intervención.

En el cuartil 2 (0.5–1.0) se observó un incremento de 3 a 4 pacientes, lo cual indica que un pequeño subgrupo experimentó un aumento moderado en el poder mecánico después de la pronación, sin alcanzar cuartiles superiores.

Los cuartiles 3 (1.0 - 1.5) y 4 (>1.5), representan los de mayor poder mecánica y a subes mayor riesgo de daño por ventilación mecánica, el Q3 se mantuvo en 0 pacientes antes y después y el Q4 se mantuvo de igual manera en 1 paciente tanto antes como después de la pronación.

Esto demuestra que la pronación no generó disminución en el poder mecánico, suficiente

como para cambiar a un rango menor manteniendo la carga mecánica en este paciente paciente.

En conjunto, la distribución de cuartiles evidencia que la ventilación mecánica tras la pronación no incrementó de manera sustancial el poder mecánico en la cohorte, permaneciendo la mayoría de los pacientes dentro de los rangos más bajos (Q1–Q2). Esta estabilidad es clínicamente relevante, ya que sugiere que la estrategia de pronación no se asoció con disminución del poder mecánico pero sí con aumento en un paciente. (Tabla 4).

Cuartil	Antes de pronación	Después de pronacion
Q1 <0.5	15	14
Q2 0.5–1.0	3	4
Q3 1.0–1.5	0	0
Q4 >1.5	1	1

Tabla 4. Cuartiles de poder mecánico pre y post-prono.

Antes de realizar cualquier comparación estadística, verificamos si los datos del poder mecánico ajustado a peso seguían una distribución normal.

Se aplicaron dos pruebas: Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, en los valores de PM/kg antes de la pronación y 24 horas después.

En ambos casos, los valores de p fueron menores a 0.05, lo que indica que los datos no cumplen con la normalidad. Por lo tanto, la prueba estadística adecuada para la comparación es Wilcoxon, que es una prueba no paramétrica para muestras relacionadas. (Tabla 5).

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PM ajustado a peso antes	,320	19	,000	,719	19	,000
PM ajustado a peso después	,210	19	,027	,811	19	,002

a. Lilliefors Significance Correction

Tabla 5. Normalidad del PM/kg (K-S y S-W) pre y post-prono.

La tabla de Tests of Normality muestra los resultados de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para evaluar si las variables PM ajustado a peso antes y PM ajustado a peso después siguen una distribución normal. En ambos casos, los valores de significancia (p) son menores de 0.05 en las dos pruebas (por ejemplo, $p = 0.000$ y $p = 0.027$ en Kolmogorov-Smirnov; $p = 0.000$ y $p = 0.002$ en Shapiro-Wilk), lo que indica que ninguna de las dos variables cumple con el supuesto de normalidad. Esto justifica que se hayan utilizado pruebas no paramétricas en el análisis posterior, como Wilcoxon y la correlación de Spearman.

Después de confirmar que el PM/kg no sigue una distribución normal, se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para comparar los valores antes y 24 h después del prono. El resultado fue $p = 0.981$, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambas mediciones. Es decir, la pronación no produjo un cambio real en el poder mecánico aplicado al pulmón en nuestra cohorte.

Esto es muy importante ya que aunque el prono tiene beneficios mecánicos, no todos los parámetros responden igual, y en nuestro caso el PM/kg permanece estable tras 24 horas. El PM es un índice compuesto, no depende solo de la presión de conducción o la complianza, sino también de la frecuencia respiratoria y el volumen corriente.

La pronación mejora la mecánica, pero no reduce el trabajo global del ventilador sobre el pulmón en 24 horas.

En la tabla de Test Statistics se muestra el resultado del test de Wilcoxon aplicado a las dos mediciones. El estadístico Z fue -0.024 y el valor $p = 0.981$, lo que indica que no existe diferencia estadísticamente significativa entre el PM ajustado a peso antes y después. Este

resultado confirma que los cambios observados en la tabla anterior no fueron lo suficientemente consistentes ni grandes como para considerarse un efecto real. (Tablas 6 y 7).

Wilcoxon Signed Ranks Test

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
PM ajustado a peso despues - PM ajustado a peso antes	Negative Ranks	9 ^a	8,56	77,00
	Positive Ranks	8 ^b	9,50	76,00
	Ties	2 ^c		
	Total	19		

a. PM ajustado a peso despues < PM ajustado a peso antes

b. PM ajustado a peso despues > PM ajustado a peso antes

c. PM ajustado a peso despues = PM ajustado a peso antes

Tabla 6. Prueba de Wilcoxon antes y después del prono.

Test Statistics^a

PM ajustado a peso despues - PM ajustado a peso antes	
Z	-,024 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,981

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

Tabla 7. Prueba de Wilcoxon antes y después del prono.

Luego, se evaluó la relación entre el poder mecánico ajustado a peso después de la pronación y el índice de oxigenación (IO) a las 24 horas mediante una correlación de Spearman, debido a la falta de normalidad de las variables. Se obtuvo un coeficiente rho = 0.464, lo que indica una correlación positiva de magnitud moderada entre ambas mediciones, indicando que a mayor IO 24 h, tiende a haber un mayor PM ajustado después. El valor de significancia fue $p = 0.046$, por lo que la asociación observada es

estadísticamente significativa, es decir, existe evidencia suficiente para afirmar que ambas variables están asociadas de manera positiva. (Tabla 8 y Figura 1).

Nonparametric Correlations

Correlations			PM ajustado a peso despues	IO 24H DESPUES DE PRONACION
Spearman's rho	PM ajustado a peso despues	Correlation Coefficient	1,000	,464*
		Sig. (2-tailed)	.	,046
		N	19	19
	IO 24H DESPUES DE PRONACION	Correlation Coefficient	,464*	1,000
		Sig. (2-tailed)	,046	.
		N	19	19

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tabla 8. Correlación PM/kg post-prono vs IO 24 h (Spearman).

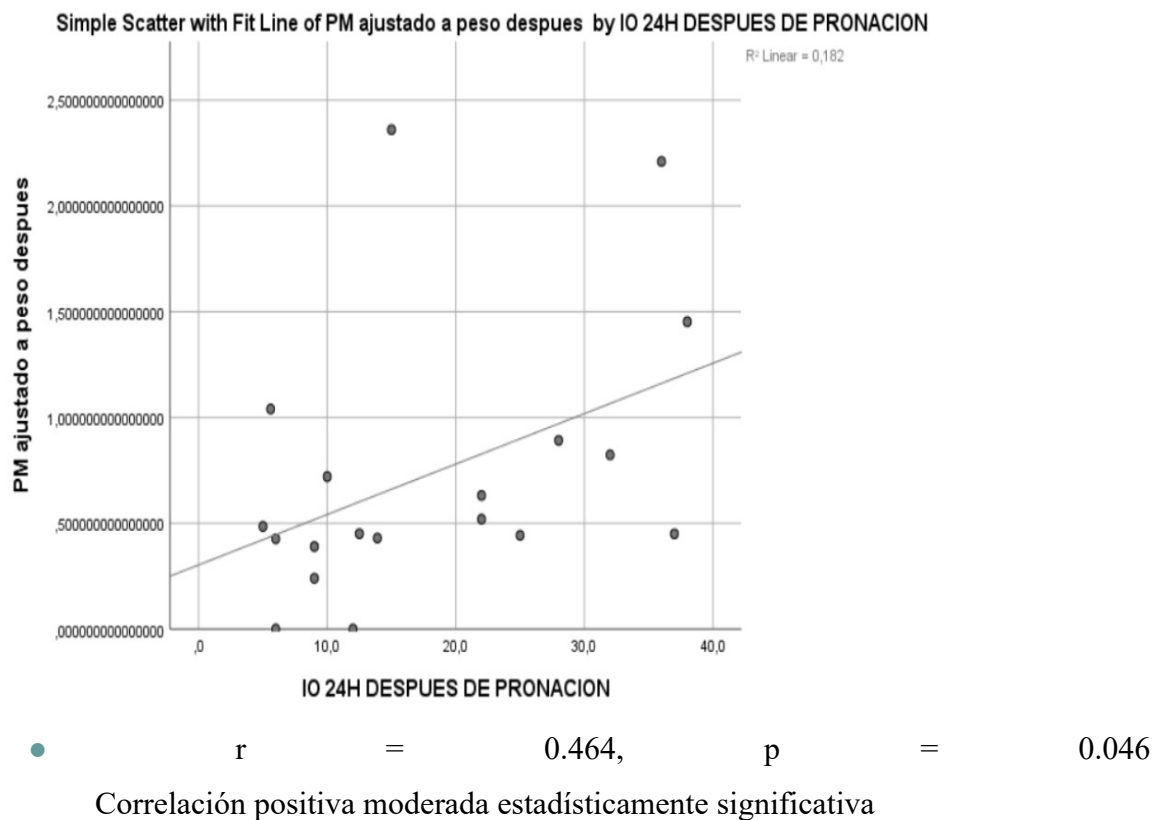


Figura 1. Asociación IO a 24hy PM

En esta gráfica, cada punto representa a un paciente. Conforme aumenta el poder mecánico ajustado a peso, también lo hace el índice de oxigenación a las 24 horas del prono. Un IO mayor significa peor oxigenación,

por lo tanto una mayor carga mecánica se asocia con menor eficiencia del intercambio gaseoso tras el prono. Esta asociación es significativa desde el punto de vista estadístico ($p = 0.046$), sin embargo, se trata de una relación en un único punto temporal, por lo que hablamos de asociación, no causalidad.

En relación al poder mecánico, el poder mecánico por respiración previo a la pronación fue de 0.24 ± 0.16 J/resp, con una mediana de 0.20 J/resp (RIC 0.10–0.33), mientras que después de la pronación fue de 0.23 ± 0.19 J/resp, mediana 0.20 J/resp (RIC 0.10–0.30).

Al normalizar por peso, el poder mecánico antes de la pronación fue de 0.0179 ± 0.0092 J·kg⁻¹·resp⁻¹, mediana 0.020 (RIC 0.010–0.020), y tras la pronación se mantuvo en 0.0179 ± 0.0103 J·kg⁻¹·resp⁻¹, mediana 0.020 (RIC 0.010–0.030).

Las diferencias pareadas no mostraron desviaciones de la normalidad (prueba de Shapiro–Wilk, $p < 0.05$), por lo que se utilizó la prueba de Wilcoxon, sin encontrarse cambios estadísticamente significativos ni para el poder mecánico no ajustado ($p = 0.48$) ni para el ajustado ($p = 0.52$). Sin embargo, se observó una correlación fuerte entre el poder mecánico antes y después de la pronación ($r = 0.79$, $p < 0.001$; $\rho = 0.82$, $p < 0.001$), lo que indica que los pacientes con mayor exposición inicial a energía mecánica tienden a conservar valores relativamente altos tras la maniobra. (Figura 2).

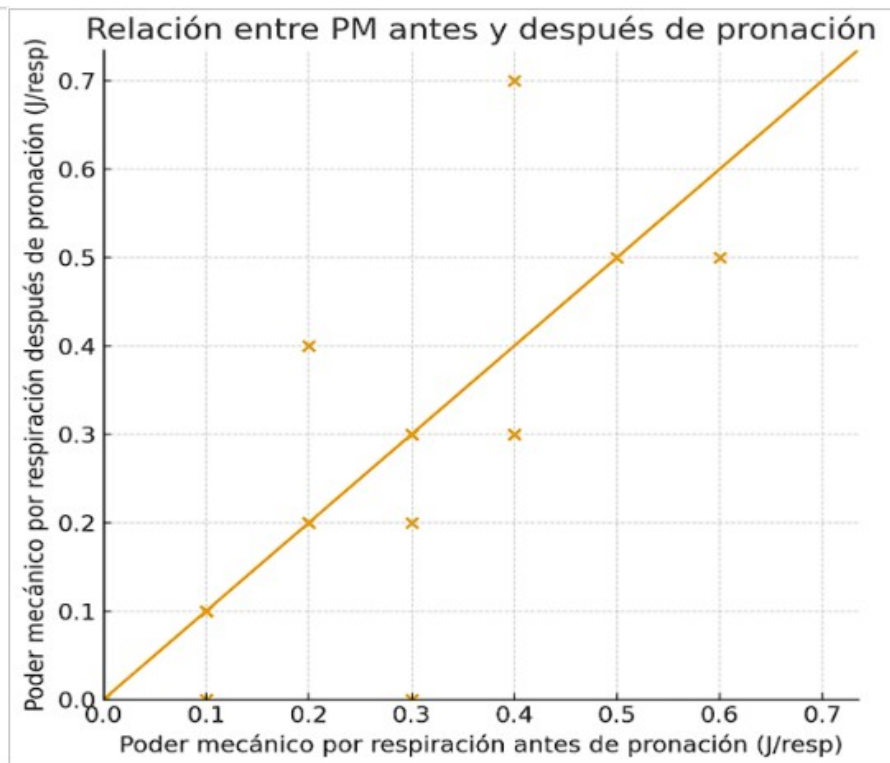


Figura 2. Relación entre PM antes y después de pronación.

Posterior a esto, se analizaron las correlaciones no paramétricas (rho de Spearman) entre el poder mecánico ajustado a peso después de la pronación y el índice de saturación (ISO) 24 horas posteriores a la pronación. El coeficiente de correlación fue $\rho = 0.418$, indicando una correlación positiva moderada entre ambas variables. Sin embargo, el valor de significancia fue $p = 0.075$, mayor al umbral de 0.05, por lo que esta correlación no es estadísticamente significativa. Esto sugiere una tendencia a que valores más altos del índice de saturación se asocian con valores más altos del poder mecánico ajustado, aunque no existe evidencia suficiente para confirmar esta asociación. (Tabla 9 y Figura 3).

Nonparametric Correlations

Correlations			PM ajustado a peso despues	ISO 24H DESPUES PRONACION
Spearman's rho	PM ajustado a peso despues	Correlation Coefficient	1,000	,418
		Sig. (2-tailed)	.	,075
		N	19	19
	ISO 24H DESPUES PRONACION	Correlation Coefficient	,418	1,000
		Sig. (2-tailed)	,075	.
		N	19	19

Tabla 9. Correlación PM/kg post-prono vs ISO 24 h (Spearman).

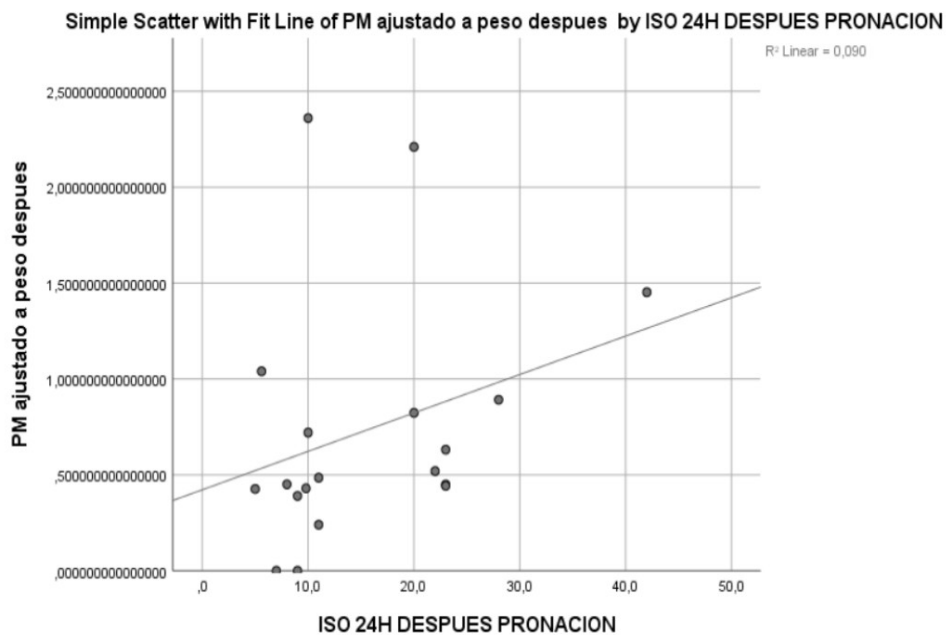


Figura 3. Relación PM/kg e ISO 24 h.

Esta gráfica representa la relación entre el PM ajustado a peso y el ISO 24 horas post-prono. Aunque se observa una correlación positiva moderada, el valor de significancia de 0.075 indica que no es estadísticamente significativa en nuestra muestra de 19 pacientes. Esto sugiere una tendencia, pero sin evidencia concluyente.

Un mayor poder mecánico podría asociarse con una peor eficiencia en la oxigenación, pero se requiere una muestra mayor para confirmarlo.

También, se analizaron los valores de presión de conducción antes de la pronación y 24 horas después. La media disminuyó de 16.56 ± 9.01 cmH₂O a 14.54 ± 7.46 cmH₂O, y la mediana pasó de 16 cmH₂O a 15 cmH₂O, lo que sugiere una tendencia a valores ligeramente menores tras la intervención. Sin embargo, al aplicar la prueba no paramétrica de Wilcoxon se obtuvo un valor de $p = 0.150$, por lo que la diferencia no alcanzó significancia estadística. La distribución de los datos mostró rangos amplios y solapados en ambos momentos, indicando una variabilidad considerable entre los pacientes, lo cual coincide con la ausencia de un cambio significativo a las 24 horas. (Figura 4).

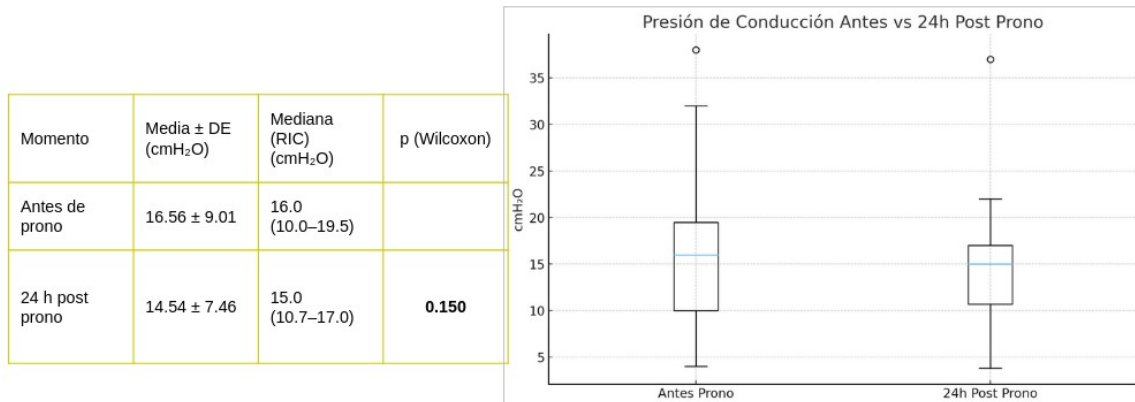


Figura 4. Presión de conducción pre y post-prono.

Cada caja de la gráfica representa la distribución de la presión de conducción en cada momento. La línea horizontal dentro de la caja es la mediana: se ve ligeramente más baja a las 24 horas, pero los rangos (la altura de las cajas y las ‘antenas’) siguen muy solapados. También se observan algunos valores más altos en ambos momentos, lo que muestra variabilidad importante entre pacientes. Este solapamiento tan marcado explica por qué, a pesar de la pequeña caída en la mediana, la prueba de Wilcoxon no detecta un cambio significativo.

En relación con la complianza estática, el análisis antes y 24 horas después de la pronación mostró que los valores permanecieron prácticamente estables. La media pasó de 0.37 ± 0.19 a 0.39 ± 0.20 mL/cmH₂O/kg y la mediana de 0.33 a 0.40 mL/cmH₂O/kg, con rangos intercuartílicos muy similares entre ambos momentos. En la gráfica de cajas se observa que la posición, el tamaño y la amplitud de las cajas son casi idénticos, con antenas superpuestas y sin un desplazamiento global del grupo. La prueba de Wilcoxon confirmó esta ausencia de cambio significativo, con un valor de $p = 0.589$. En conjunto, tanto la inspección visual como el análisis estadístico indican que la pronación no produjo modificaciones relevantes en la complianza estática durante las primeras 24 horas. (Figura 5).

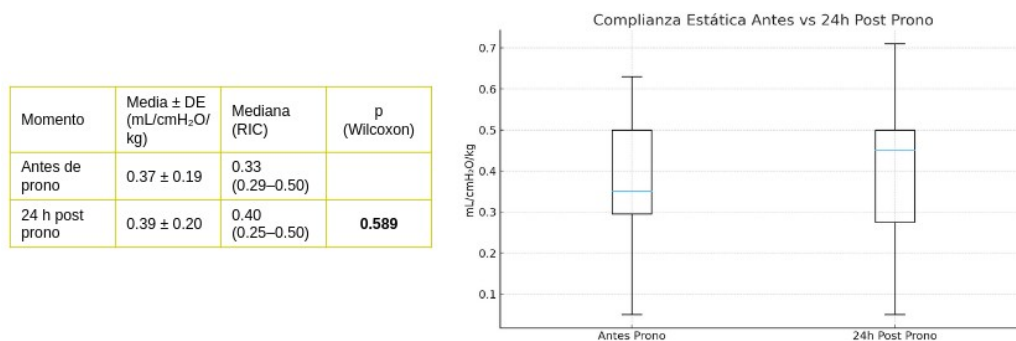


Figura 5. Complianza estática pre y post-prono.

Finalmente, se evaluó la relación entre la presión de conducción y el poder mecánico ajustado a peso, ambos medidos 24 horas después de la pronación. En el diagrama de dispersión se observó una distribución amplia y sin un patrón visible de tendencia ascendente o descendente. El coeficiente rho de Spearman fue -0.17, lo que indica una correlación negativa muy débil. Este valor no alcanzó significancia estadística ($p = 0.49$), por lo que no se identificó una asociación consistente entre una mayor presión de conducción y un mayor poder mecánico ajustado en esta cohorte. En conjunto, estos hallazgos refuerzan que, a pesar de la variabilidad interindividual, la pronación no modificó de manera relevante las interrelaciones entre los parámetros mecánicos ventilatorios a las 24 horas. (Figura 6).

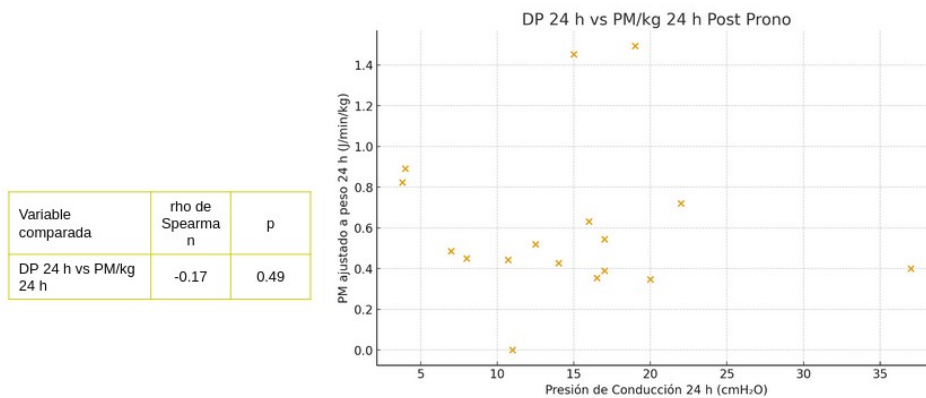


Figura 6. Presión de conducción vs PM/kg post-prono (24 h).

Discusión

Interpretación mecánica del prono en SDRA pediátrico

En los adultos, el prono suele disminuir la presión de conducción por reclutamiento homogéneo no demostrado consistentemente en pediatría

El pulmón pediátrico tiene:

- Mayor compliance torácica
- Mayor tendencia al colapso alveolar
- Menor volumen pulmonar funcional el reclutamiento depende mucho del fenotipo

Si el pulmón no es reclutable, mejorar la oxigenación no garantiza:

- ↓ presión de conducción
- ↓ poder mecánico

Limitaciones y fortalezas del estudio:

- Limitaciones:

Muestra pequeña, de 19 pacientes.

Único centro, sesgo poblacional posible.

Se realizó análisis solo 24 horas posterior al pronóstico, puede requerirse de seguimiento más prolongado.

Falta estratificación por fenotipo de reclutamiento.

- Fortalezas:

Medición directa del poder mecánico en pediatría, pocos estudios se han hecho al respecto.

Cohorte real de UCI pediátricos con SDRA moderado-grave.

Aplicación estricta de ventilación protectora.

Análisis antes y después en el mismo paciente, controlando el factor individual.

Conclusión

Como objetivo principal se demuestra que la posición prono no redujo significativamente el poder mecánico ajustado a peso en las primeras 24 horas ($p = 0.981$).

La mecánica pulmonar no se modificó de manera significativa con la pronación

- Presión de conducción: $p = 0.150$
- Complianza estática: $p = 0.589$

La respuesta mecánica al prono fue heterogénea entre pacientes, sin un patrón uniforme.

Como objetivos secundarios se demostró que PM/kg no se asoció con PC ni Cstat en 24 h post prono. ($p > 0.05$).

El PM/kg sí mostró relación con parámetros de oxigenación lo que indica relevancia clínica en la lesión pulmonar inducida por ventilación.

Nuestros hallazgos refuerzan el concepto de que en pediatría hay respondedores y no respondedores a prono, y la mecánica no siempre mejora al mismo tiempo que la oxigenación.

Esto resalta la importancia de valorar de manera individual la respuesta a la posición prona en pacientes con Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo Pediátrico, y enfatiza el papel del poder mecánico como una herramienta adicional dentro de la evaluación integral de la ventilación protectora.

Referencias Bibliográficas

1. Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med*. 2015;16(5):428-39.
2. Leroue MK, Maddux AB, Mourani PM. Prone Positioning in Children with Respiratory Failure Due to COVID-19. *Curr Opin Pediatr*. 2021;33(3):319–24.
3. Bhalla AK, Klein MJ, Emeriaud G, Lopez-Fernandez YM, et al. Adherence to lung-protective ventilation principles in pediatric acute respiratory distress syndrome: A Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome Incidence and Epidemiology Study. *Crit Care Med*. 2021;49(8):1340–52.
4. Gattinoni L, Tonetti T, Cressoni M, et al. Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power. *Intensive Care Med*. 2016;42(10):1567–75.
5. Tonna JE, Peltan I, Brown SM, et al. Mechanical power and driving pressure as predictors of mortality among patients with ARDS. *Intensive Care Med*. 2020;46(10):1941–3.
6. Khemani RG. Should we embrace mechanical power to understand the risk of ventilator-induced lung injury in children? *Pediatr Crit Care Med*. 2022;23(1):71–74.
7. Serpa Neto A, Deliberato RO, Johnson AEW, et al. Mechanical power of ventilation is associated with mortality in critically ill patients. *Intensive Care Med*. 2018;44(11):1914–22.
8. Guérin C, Reignier J, Richard JC, et al. Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2013;368(23):2159–68.
9. Curley MAQ, Hibberd PL, Fineman LD, et al. Effect of prone positioning on clinical outcomes in children with acute lung injury: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2005;294(2):229–37.
10. Khemani RG, Parvathaneni K, Yehya N, et al. PEEP lower than the ARDS network protocol is associated with higher pediatric ARDS mortality. *Am J Respir Crit Care Med*. 2018;198:A7260.

11. Marini JJ, Rocco PRM, Gattinoni L. Static and dynamic contributors to ventilator-induced lung injury in clinical practice. *Am J Respir Crit Care Med*. 2020;201(7):767–74.
12. Ferraz IS, Borges PS, et al. The impact of PEEP on mechanical power during mechanical ventilation: a crossover study in children. *Clinics*. 2021;76:e3062.
13. Becher T, van der Staay M, et al. Calculation of mechanical power for pressure-controlled ventilation. *Intensive Care Med*. 2019;45(9):1321–3.
14. Kneyber MCJ, et al. Driving pressure and mechanical power: the return of physiology in pediatric mechanical ventilation. *Pediatr Crit Care Med*. 2021;22(12):e637–e640.
15. Khemani RG, Newth CJL. The effects of patient positioning on lung function and mechanical power. *Pediatr Crit Care Med*. 2019;20(3):275–82.
16. Shaikh FAR, Munir A, Nazir S, Khan A, Sadiq H, Ilyas S. Mechanical power and normalized mechanical power in pediatric acute respiratory distress syndrome. *Front Pediatr*. 2024;12:1293639. doi:10.3389/fped.2024.1293639.
17. Kneyber MCJ, Ilia S, Koopman AA, van Schelven P, van Dijk J, Burgerhof JGM, et al. Energy transmission in mechanically ventilated children: a translational study. *Crit Care*. 2020;24(1):601. doi:10.1186/s13054-020-03313-7.