



ESCUELA DE DOCTORADO INTERNACIONAL
DE LA USC

Ricardo Miguel
Rodrigues Gomes

Tesis doctoral

Efectos de la técnica de compresión
torácica rápida en la presión intracraneal
en pacientes neurocríticos agudos en
ventilación mecánica invasiva

Santiago de Compostela, 2025

TESIS DOCTORAL

**EFFECTOS DE LA TÉCNICA DE COMPRESIÓN
TORÁCICA RÁPIDA EN LA PRESIÓN
INTRACRANEAL EN PACIENTES
NEUROCRÍTICOS AGUDOS EN VENTILACIÓN
MECÁNICA INVASIVA**

Autor

Ricardo Miguel Rodrigues Gomes

Directores:

Rosa Martínez Rolán

Eduardo Arán Echabe

Tutor:

Miguel Gelabert González

Conflictos de interés

El autor y los directores de esta tesis doctoral manifiestan, de manera formal, la ausencia de cualquier conflicto de interés en relación con los contenidos de la presente investigación.

Aspectos éticos y legales

Para la realización del presente protocolo, caso clínico y ensayo clínico aleatorizado se siguieron las normas del Comité de Ética de Investigación de Galicia, obteniendo consentimiento expreso para la publicación del caso clínico y la autorización para el protocolo y ensayo clínico aleatorizado por el Comité de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense, código de registro 2018/446.

Financiación

Para la realización de este trabajo se contó con financiación procedente de diversas fuentes. El Colegio de Fisioterapeutas de Galicia concedió una beca de apoyo a la investigación por un importe de 1.000 euros, y el Servicio de Medicina Intensiva del Hospital Álvaro Cunqueiro aportó una ayuda adicional de 650 euros, ambas destinadas a cubrir los gastos de publicación en acceso abierto del protocolo del ensayo clínico aleatorizado. Por su parte, la publicación en acceso abierto de los resultados del ensayo clínico aleatorizado fue financiada por el Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur, mediante una ayuda de 3.490 euros.

Agradecimientos

Quise publicar para crear evidencia en Fisioterapia y con eso, hacer el doctorado.

En ese proceso, como en la vida, se conocen personas buenas y otras muy buenas.

Pepa me presentó a María y María me presentó a mi directora de tesis, que me puso en contacto con el otro director de tesis y así todo empezó.

Vino la pandemia y todo se retrasó, pero siguió.

El Equipo de la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital Álvaro Cunqueiro me hizo suyo y en todo me ayudaron. No cito a uno porque tendría que citarlos a todos, desde enfermería a medicina, pasando por auxiliares, celadores y limpiadoras, un engranaje perfecto. Gracias infinitas.

Para llevar a cabo estas publicaciones, fue necesario contar con financiación propia, ya que en ese momento el IISGS aún no ofrecía ayudas destinadas a investigadores sin grupo consolidado o que no formaban parte de uno. En este sentido, el papel del Colegio de Fisioterapeutas fue fundamental gracias a sus becas de apoyo a la investigación. Además, quiero destacar la ayuda de Lola, cuya contribución resultó clave para cubrir los costes restantes de mi primera publicación incluida en el compendio.

Con la jubilación de Miguel Gelabert, se me asignó un nuevo director/tutor, que, aunque no figura como autor en las publicaciones derivadas de este trabajo, ha estado presente y ha contribuido en el desarrollo de esta tesis. Gracias, Eduardo.

Y siempre se acaba con los más importantes, mi Cecilia y mi Roque que tanto me aguantaron y empujaron y que lo sigan haciendo...

Antecedentes

Los pacientes con lesiones cerebrales agudas, tales como el traumatismo craneoencefálico, la hemorragia subaracnoidea, el accidente cerebrovascular isquémico o la hemorragia intracerebral, presentan una elevada incidencia de complicaciones respiratorias cuando se encuentran en ventilación mecánica invasiva. La retención de secreciones, agravada por la intubación, la sedación profunda y la inhibición de la tos efectiva, incrementa el riesgo de atelectasias e infecciones respiratorias asociadas.

La técnica de compresión torácica rápida es una técnica manual de fisioterapia respiratoria utilizada para aumentar el flujo espiratorio y favorecer la movilización de secreciones. Si bien su eficacia ha sido documentada en animales y pacientes ventilados, su uso en sujetos con lesiones cerebrales agudas sigue siendo limitado por la posibilidad teórica de generar aumentos de la presión intracraneal (PIC), comprometiendo así la perfusión cerebral.

Los datos clínicos sobre la seguridad cerebral de esta intervención son escasos y heterogéneos. Por lo tanto, se hace necesario evaluar con rigor científico los efectos hemodinámicos y respiratorios de la técnica de compresión torácica rápida en este grupo vulnerable.

Objetivos

El objetivo principal de este estudio fue determinar si la técnica de compresión torácica rápida produce modificaciones significativas en la presión intracraneal en pacientes con lesiones cerebrales agudas sometidos a ventilación mecánica invasiva. La investigación también buscó evaluar la seguridad hemodinámica y respiratoria de la técnica en este grupo clínicamente vulnerable, valorando posibles cambios en la presión de perfusión cerebral y en los parámetros ventilatorios y gasométricos antes, durante y después de la intervención.

Como objetivos secundarios se planteó explorar la relación entre el comportamiento de la presión intracraneal y el tipo de lesión cerebral subyacente, así como analizar el impacto de la técnica sobre los flujos espiratorios e inspiratorios registrados por el ventilador.

Finalmente, se examinó la respuesta de las variables fisiológicas en el contexto clínico de la aplicación de esta técnica con fines de higiene bronquial, con el propósito de establecer si su implementación puede considerarse segura y efectiva en el entorno de cuidados intensivos neurocríticos.

Métodos

Se llevó a cabo un estudio compuesto por tres abordajes complementarios: un protocolo de ensayo clínico, un estudio de caso clínico y un ensayo clínico aleatorizado, con ciego simple y controlado. Todos fueron desarrollados en la unidad de cuidados intensivos del Hospital Álvaro Cunqueiro, en Galicia, España.

En el ensayo clínico, participaron cincuenta pacientes adultos diagnosticados con lesiones cerebrales agudas, incluyendo traumatismo craneoencefálico, hemorragia subaracnoidea, accidente cerebrovascular isquémico y hemorragia intracerebral. Todos los pacientes se encontraban bajo

ventilación mecánica invasiva por un período superior a 48 horas, con sedación profunda, monitorización continua de la presión intracraneal mediante sensor intraventricular y estabilidad hemodinámica basal. En los criterios de inclusión se establecieron, entre otros, una puntuación en la escala de coma de Glasgow igual o inferior a 8 antes de la sedación, presión intracraneal inferior a 20 mmHg, presión arterial media mayor a 65 mmHg y una puntuación de -5 en la escala RASS (*Richmond Sedation and Agitation Scale*). Fueron excluidos pacientes con fracturas torácicas inestables, lesiones abdominales que impidieran la aplicación de la técnica o condiciones musculoesqueléticas que contraindicasen la movilización pasiva de miembros inferiores.

Los participantes fueron asignados aleatoriamente en dos grupos mediante un sistema de bloques. El grupo experimental recibió la técnica de compresión torácica rápida, aplicada bilateralmente por un fisioterapeuta en el momento de transición entre la inspiración y la espiración, una vez cada tres ciclos respiratorios, durante cinco minutos. La intervención se realizó con el paciente en decúbito supino, con la cabeza y el tronco elevados a 30 grados. El grupo control recibió una intervención alternativa consistente en movilización pasiva de los miembros inferiores mediante un cicloergómetro motorizado, con la misma duración. Ambas intervenciones fueron monitorizadas en tiempo real por el equipo clínico para garantizar la seguridad del procedimiento, con criterios de interrupción preestablecidos ante cambios significativos en la PIC, saturación de oxígeno o frecuencia cardíaca.

Las variables principales incluyeron presión intracraneal, presión de perfusión cerebral, frecuencia cardíaca, presión arterial media, saturación de oxígeno, y parámetros gasométricos como pH, presión parcial de oxígeno arterial (PaO_2) y presión parcial de dióxido de carbono arterial (PaCO_2). Además, se registraron los flujos pico espiratorio e inspiratorio proporcionados por el ventilador.

Las mediciones se realizaron en los siguientes momentos: una hora antes, treinta minutos antes, cinco minutos antes, inmediatamente antes de la intervención, durante cada minuto de la misma, y a los cinco y treinta minutos posteriores. Los datos se analizaron mediante pruebas paramétricas o no paramétricas, en función de la distribución de la muestra, empleando como valor de referencia el registrado cinco minutos antes de la intervención.

En el caso clínico, se evaluó la aplicación de la misma técnica en una paciente con hemorragia subaracnoidea aneurismática sometida a craneotomía descompresiva. La intervención se llevó a cabo bajo condiciones ventilatorias controladas, con monitorización simultánea de la presión intracraneal, la presión arterial media, la presión de perfusión cerebral, el diferencial de flujos espiratorio-inspiratorio y los parámetros gasométricos antes y después del procedimiento.

Resultados

En el ensayo clínico, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la presión intracraneal entre los grupos intervención y control en ninguno de los tiempos evaluados. Sin embargo, el análisis intragrupo evidenció un descenso significativo de la PIC en el grupo que recibió la técnica de compresión torácica rápida durante la intervención, con un retorno progresivo a los valores basales en los treinta minutos posteriores. En cuanto a la presión de perfusión

cerebral, se identificó también una disminución transitoria en ambos grupos, aunque en el grupo intervención esta reducción fue más pronunciada durante los primeros minutos de aplicación de la técnica. A los treinta minutos postintervención, la presión de perfusión cerebral no recuperó completamente los valores preintervención, tanto en el grupo control como en el grupo experimental.

En relación con los parámetros respiratorios, se evidenció una disminución significativa de la PaCO₂ en el grupo intervención al finalizar la técnica, sin que se observaran variaciones relevantes en el pH ni en la PaO₂. La presión arterial media y la frecuencia cardíaca se mantuvieron estables en ambos grupos durante todo el procedimiento, sin diferencias estadísticamente significativas.

En el caso clínico, correspondiente a una paciente con hemorragia subaracnoidea sometida a craneotomía descompresiva, la aplicación de la técnica de compresión torácica rápida no produjo aumentos relevantes en la PIC, que se mantuvo dentro del rango de normalidad. Tampoco se observaron alteraciones hemodinámicas significativas. Se registró un diferencial de flujos espiratorio-inspiratorio superior a 33 litros por minuto, considerado clínicamente efectivo para la movilización de secreciones. Asimismo, la PaO₂ aumentó en 25 mmHg tras la intervención, mientras que la PaCO₂ y el pH permanecieron estables.

Conclusiones

La aplicación controlada de la técnica de compresión torácica rápida es segura en pacientes con lesiones cerebrales agudas bajo ventilación mecánica. No se observaron incrementos clínicamente significativos de la PIC, y se constató una disminución transitoria de la PIC y la PaCO₂.

Los resultados respaldan el uso prudente de la técnica de compresión torácica rápida como técnica de higiene bronquial en pacientes neurocríticos, siempre que se realice bajo estricta monitorización de variables neurológicas y respiratorias. Se requieren estudios adicionales para explorar su impacto en distintos subtipos lesionales y su efecto a largo plazo sobre la evolución clínica.

Abreviaturas

cmH₂O – Centímetros de agua
FEM – Flujo espiratorio máximo
FIM – Flujo inspiratorio máximo
GCS – Glasgow coma scale
HIC – Hemorragia intracerebral
HSA – Hemorragia subaracnoidea
HTIC – Hipertensión intracraneal
IIA – Infarto isquémico agudo
IV – Intravenoso
JCR – Journal citation reports
LCA – Lesión cerebral aguda
mmHg – Milímetros de mercurio
PaCO₂ – Presión arterial parcial de dióxido de carbono
PaO₂ – Presión arterial parcial de oxígeno
PEdro – Physiotherapy evidence database
Peep – Positive end expiratory pressure
PIC – Presión intracraneal
PPC – Presión de perfusión cerebral
RASS – Richmond sedation and agitation scale
SJR – SCImago journal rank
VMI – Ventilación mecánica invasiva
VT – Volumen corriente
Zeep – Zero end expiratory pressure

Índice

Conflictos de interés	3
Aspectos éticos y legales	4
Financiación	5
Agradecimientos	6
Resumen	7
Abreviaturas	10
Índice	11
1. Introducción	13
1.1 Justificación de la coherencia temática y metodológica de la tesis	13
1.2 Lesiones cerebrales agudas graves	15
1.3 Ventilación mecánica invasiva	18
1.4 Farmacología	21
1.5 Fisioterapia respiratoria	23
1.6 Técnica de compresión torácica rápida	27
1.7 Justificación de la línea de trabajo	30
2. Objetivos	32
3. Metodología general	34
3.1 Muestra y diseño	34
3.2 Aspectos éticos y consentimientos	38
3.3 Cumplimiento de estándares de reporte	39
3.4 Variables principales y secundarias	40
3.5 Métodos estadísticos	41

4. Resultados – Artículos publicados	42
4.1 Artículo 1 (Trials, 2022: JCR Q3; SJR Q2)	43
4.2 Artículo 2 (Fisioterapia, 2024: JCR no; SJR Q4)	53
4.3 Artículo 3 (Critical Care, 2024: JCR Q1; SJR Q1)	58
5. Discusión	70
5.1 Justificación general	70
5.2 Resultados comentados	71
5.3 Fortalezas de los estudios	77
5.4 Limitaciones de los estudios	80
6. Conclusiones	83
7. Bibliografía	85
Anexo I – Declaración sobre licencias y derechos de autor	90
Anexo II – Dictamen del Comité de Ética	93
Anexo III – Conformidad para realización de Ensayo Clínico	96
Anexo IV – Hoja de información y modelo de consentimiento informado	98

1. Introducción

1.1 Justificación de la coherencia temática y metodológica de la tesis

Esta tesis doctoral por compendio de publicaciones, titulada “*Efectos de la técnica de compresión torácica rápida en pacientes neurocríticos agudos en ventilación mecánica invasiva*”, se compone de tres artículos científicos que guardan coherencia temática con los objetivos planteados y presentan una línea temporal clara de desarrollo.

Los tres trabajos han sido publicados en revistas científicas nacionales e internacionales con revisión por pares y han sido elaborados por el doctorando en calidad de primer autor.

A lo largo del manuscrito se hace referencia a estos artículos mediante citas bibliográficas en tercera persona, conforme a los principios de integridad académica. Las autorizaciones correspondientes para su reproducción se recogen en el *Anexo I*.

El primer artículo “*Rapid chest compression effects on intracranial pressure in patients with acute cerebral injury*”, estableció la línea de desarrollo del ensayo clínico aleatorizado. El protocolo intentó plasmar, con la revisión bibliográfica, la evidencia limitada sobre la aplicación de la técnica de compresión torácica rápida en pacientes neurocríticos en ventilación mecánica invasiva y la existencia de datos contradictorios que existían por la común mezcla de técnicas de fisioterapia respiratoria y sus efectos en la presión intracraneal. Los objetivos e hipótesis se establecieron para estudiar los efectos de la técnica de compresión torácica rápida en la presión intracraneal en pacientes neurológicos críticos. Se desarrolló un plan de intervención teórico intentando controlar el mayor número de variables posible, aunque en la aplicación real hubo que optimizar la recogida por las complicaciones técnicas, dilemas éticos y por la limitación de presupuesto¹.

El segundo artículo “*Efectos de la compresión torácica rápida en la presión intracraneal en paciente con hemorragia subaracnoidea: caso clínico*”, demuestra los efectos de la técnica de compresión torácica rápida en una paciente neurocrítica en ventilación mecánica invasiva. Normalmente la técnica está indicada para el drenaje de secreciones, verificándose en esta paciente que hubo mejoría importante de la oxigenación, situación que pone en valor una de las indicaciones en este tipo de pacientes. La presión intracraneal no sufrió alteraciones significativas y la presión de perfusión cerebral se mantuvo en rangos diana, así como la presión parcial de dióxido de carbono, que si hubiese cambiado de forma significativa podría enmascarar posibles cambios en la presión intracraneal².

El tercer artículo “*Effects of Rapid Chest Compression Technique on Intracranial and Cerebral Perfusion Pressures in Acute Neurocritical Patients: A Randomized Controlled Trial*”, culmina con la publicación de los resultados del ensayo clínico aleatorizado de ciego simple. En este artículo se publican los resultados de la aplicación del protocolo del ensayo clínico aleatorizado,

inicialmente publicado, con algunas modificaciones por aspectos éticos y presupuestarios. En él se verifica la seguridad de la técnica de compresión torácica rápida en pacientes neurocríticos agudos en ventilación mecánica invasiva. Se comparó el grupo intervención, en que se aplicó la técnica a estudio, con un grupo control en que se aplicó una técnica de movilización pasiva de las extremidades inferiores a velocidad controlada. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos, lo que respalda la seguridad de la técnica empleada. En el estudio de las variables intragrupo se observaron algunos cambios significativos en la presión intracraneal y en la presión de perfusión cerebral, que recuperaron valores previos a las intervenciones de forma parcial. Este ensayo clínico aleatorizado vino a ocupar un hueco vacío, ya que no existía hasta el momento de su publicación, ningún ensayo clínico aleatorizado sobre este tema³.

El conjunto de las tres publicaciones tiene coherencia temática y metodológica, ya que partimos de la génesis de la investigación clínica con un protocolo de investigación; verificamos un efecto colateral positivo en un caso clínico y, aplicamos, recogemos datos, los estudiamos y publicamos los resultados de la aplicación del protocolo. Tal como comentó un revisor de la *Critical Care*, donde se publicaron los resultados del ensayo clínico, “*this work clearly fills a gap*”.

Los tres artículos están indexados en Scopus y dos en PubMed. Cronológicamente, el primero fue “*Rapid chest compression effects on intracranial pressure in patients with acute cerebral injury*”, publicado en la revista *Trials* (2022; 23:312), que en el año 2022 estaba indexada en el cuartil 2 (Q2) en la categoría de *Medicine (miscellaneous)* de Scopus y en el cuartil 3 (Q3) en la categoría de *Medicine, Research and Experimental* de JCR. Este artículo había recibido 8 citaciones según Research Gate en el momento de redactar esta tesis y 2.282 lecturas según BMC.

El segundo artículo fue “*Efectos de la compresión torácica rápida en la presión intracraneal en paciente con hemorragia subaracnoidea: caso clínico*”, publicado en la revista *Fisioterapia* (2024; 46:158-161). Esta revista está indexada en Scopus en el cuartil 4 (Q4) en la categoría *physical therapy, sports therapy and rehabilitation*.

El tercer artículo fue “*Effects of rapid chest compression technique on intracranial and cerebral perfusion pressures in acute neurocritical patients: a randomized controlled trial*”, publicado en la revista *Critical Care* (2025; 29:159), que en el año 2024 estaba indexada en el cuartil 1 (Q1 4/118) en la categoría de *critical care and intensive care medicine* de Scopus y en el cuartil 1 (Q1 5/55) en la categoría de *critical care medicine* en JCR. Este artículo había recibido 2.318 lecturas en los primeros 3 meses de publicación.

El doctorando es primer autor en los tres artículos publicados. En colaboración con los directores y coautores de los artículos, fue el responsable por la elaboración del protocolo, recogida y elaboración de la base de datos, análisis estadístico y redacción de los mismos.

1.2 Lesiones cerebrales agudas graves

La lesión cerebral aguda (LCA) constituye una de las principales causas de morbilidad grave, discapacidad y mortalidad a nivel mundial^{4,5}. Estas afecciones representan una emergencia neurológica crítica que implica una lesión súbita y profunda del cerebro^{4,5}. Tras el daño inicial, se desencadenan una serie de eventos bioquímicos y celulares en cascada, conocida como cascada isquémica o lesión cerebral secundaria, que puede comprometer la integridad y función neuronal, disminuyendo significativamente las posibilidades de recuperación funcional^{5,6}. El objetivo primordial en el manejo de la LCA es precisamente mitigar este daño cerebral secundario, que puede manifestarse a través de edema, hematomas, aumento de la presión intracraneal y compromiso de la presión de perfusión cerebral, todos ellos factores que pueden provocar daño cerebral adicional y peores resultados clínicos^{5,6}.

Las principales categorías de LCA que requieren una comprensión profunda de su fisiopatología incluyen el traumatismo craneoencefálico, la hemorragia intracerebral, la hemorragia subaracnoidea y el ictus isquémico agudo.

- **Traumatismo craneoencefálico (TCE):** El TCE es el resultado de una fuerza física externa que perturba el equilibrio entre el suministro de energía y las demandas metabólicas del cerebro. Representa una de las principales causas de mortalidad y discapacidad, especialmente en individuos menores de 40 años, con una incidencia global de aproximadamente 27 millones de casos al año. La lesión primaria ocurre en el momento del impacto, incluyendo hematomas intracraneales, fracturas de cráneo, laceraciones, contusiones y lesiones mecánicas difusas. La lesión secundaria se desarrolla a partir de una compleja interacción de eventos sistémicos y cerebrales que exacerban la lesión primaria, manifestándose como alteraciones cerebrovasculares, disrupción de la barrera hematoencefálica, edema cerebral y aumento de la PIC. La hipoxemia y la hipercapnia pueden comprometer aún más los resultados neurológicos. El manejo de la PIC es fundamental, con valores sostenidos ≥ 18 mmHg asociados a peores pronósticos. La presión de perfusión cerebral, calculada como la diferencia entre la presión arterial media y la PIC, se mantiene típicamente entre 60 y 80 mmHg. Valores bajos (< 50 mmHg) aumentan el riesgo de hipoperfusión e isquemia neuronal, mientras que valores excesivamente altos pueden exacerbar el edema perilesional y la lesión cerebral secundaria. Las alteraciones en la autorregulación de la presión cerebral son comunes en los TCE y se asocian con una peor evolución del edema por contusión y un metabolismo energético más alterado. La monitorización de la autorregulación de la presión cerebral se ha aplicado para desarrollar objetivos de presión arterial media y de presión de perfusión cerebral más dinámicos e individualizados que podrían optimizar el flujo sanguíneo cerebral, la oxigenación del tejido cerebral y el metabolismo energético^{5,7}.

- **Hemorragia Intracerebral (HIC):** La HIC es una forma devastadora de ictus, caracterizada por el sangrado dentro del parénquima cerebral. Es un contribuyente significativo a la mortalidad y dependencia relacionadas con el ictus⁸. Las causas principales de la HIC espontánea son la hipertensión crónica,

que conduce a una vasculopatía perforante profunda (afectando estructuras como los ganglios basales, el tálamo y el tronco encefálico), y la angiopatía amiloide cerebral que causa HIC lobar debido a depósitos de amiloide en las paredes de los vasos^{6,8}. Otras etiologías incluyen malformaciones vasculares (malformaciones arteriovenosas, cavernomas, enfermedad de Moyamoya), tumores y coagulopatías⁶. La lesión se clasifica clásicamente en primaria y secundaria⁶. La lesión primaria se debe al efecto de masa del hematoma inicial, su expansión y la hidrocefalia, siendo el volumen de la HIC un predictor clave de mortalidad^{6,8}. La lesión secundaria, que se desarrolla en días o semanas, resulta de la activación de vías dañinas como la inflamación, la toxicidad inducida por hierro y sangre, y el estrés oxidativo. El edema perihematoma es un componente importante, a menudo derivado del plasma. La hemorragia intraventricular es un factor de riesgo independiente para un peor pronóstico funcional y una mayor mortalidad en pacientes con HIC, debido a la hidrocefalia obstructiva aguda, el efecto de masa y los productos tóxicos de degradación de la sangre^{6,8}.

- **Hemorragia Subaracnoidea (HSA):** La HSA, especialmente la aneurismática (que constituye el 85% de los casos de HSA espontánea), es una forma grave de ictus con alta mortalidad y discapacidad a largo plazo, que afecta desproporcionadamente a una población más joven. La lesión cerebral asociada a la HSA es un proceso complejo y multifásico. La lesión cerebral temprana (0-72 horas) comienza en el momento de la ruptura del aneurisma, llevando a un aumento transitorio y repentino de la PIC, isquemia global transitoria y una cascada de procesos patológicos. Se asocia también con un síndrome de respuesta inflamatoria sistémica. La isquemia cerebral tardía (3-21 días) es una lesión asociada a la HSA y uno de los predictores más fuertes de un mal pronóstico. Aunque históricamente se ha atribuido principalmente al vasospasmo cerebral (visible angiográficamente en hasta el 70% de los pacientes), la evidencia emergente sugiere que la isquemia cerebral tardía implica múltiples mecanismos más allá del vasospasmo de grandes vasos, como la disfunción microcirculatoria, la despolarización cortical propagada y la inflamación. El vasospasmo sintomático (síntomas clínicos atribuibles a isquemia) está fuertemente asociado con la isquemia cerebral tardía y un peor pronóstico⁹.

Dentro del manejo de la HSA aneurismática, la derivación ventricular externa y la derivación lumbar han demostrado ser seguras¹⁰.

- **Ictus Isquémico Agudo (IIA):** El IIA se caracteriza por la oclusión aguda de un vaso cerebral, que provoca un infarto cerebral y una penumbra circundante de tejido cerebral potencialmente salvable¹⁰. En su fisiopatología, se pueden producir alteraciones de la autorregulación cerebral, a menudo ipsilaterales en el IIA de grandes vasos^{7,10}. Estas alteraciones se asocian a un mayor volumen de infarto, menor respuesta a la trombólisis, mayor riesgo de edema cerebral y un pronóstico más desfavorable. Además, la barrera hematoencefálica suele estar alterada, lo que aumenta el riesgo de transformación hemorrágica y edema cerebral con una presión arterial alta¹⁰.

Independientemente de la etiología específica, el manejo de las lesiones cerebrales agudas comparte estrategias críticas como el mantenimiento de la oxigenación, el control de la PIC y la optimización de la presión de perfusión cerebral⁵. El cerebro, confinado en un cráneo rígido, es intrínsecamente vulnerable al aumento de la presión focal que puede causar herniación, y a los aumentos generalizados que pueden impedir el flujo de nutrientes^{7,11}. Por lo tanto, el manejo adecuado de la PIC y la garantía de una presión de perfusión cerebral suficiente son cruciales^{11,12}.

1.3 Ventilación mecánica invasiva en pacientes neurocríticos

La ventilación mecánica invasiva (VMI) es una intervención esencial en el manejo de pacientes neurocríticos, que se utiliza para proteger la vía aérea, asegurar la oxigenación adecuada y el control del dióxido de carbono, y así mitigar el daño cerebral secundario. Estos pacientes a menudo presentan características clínicas complejas, como déficits neurológicos prolongados y alteración del nivel de conciencia, lo que los hace particularmente susceptibles a complicaciones respiratorias y neurológicas asociadas a la VMI^{13,14}.

1.3.1 Principios Generales de la Ventilación Mecánica en Pacientes Neurocríticos

El objetivo primordial de la VMI en pacientes neurocríticos es mantener un equilibrio óptimo entre el suministro y el consumo de sustratos cerebrales⁷. La optimización de los ajustes del ventilador y los objetivos respiratorios es un desafío, dado que las decisiones dependen del tipo de lesión cerebral y de la compleja interacción cerebro-pulmón^{13,14}.

Configuración y Objetivos Ventilatorios:

• Volumen Corriente (VT) y Presiones Pulmonares:

Las recomendaciones actuales sugieren mantener volúmenes corrientes protectores de 6 a 8 mL/kg de peso corporal predicho. Este enfoque busca minimizar las complicaciones pulmonares^{13,15}. En pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda, los VT pueden reducirse a 4-6 mL/kg peso corporal predicho¹⁵.

La aplicación de VT protectores es crucial para reducir el riesgo de daño cerebral secundario en el contexto neurocrítico¹³. Algunos estudios han observado que el uso de VT altos es más frecuente en pacientes con lesión cerebral en comparación con la población general de pacientes críticos, debido a la necesidad de una modulación más amplia de los gases cerebrales^{13,14}.

La presión meseta debe mantenerse por debajo de 30 cmH₂O¹⁶.

• Presión Arterial Parcial de Dióxido de Carbono (PaCO₂):

Los cambios en la PaCO₂ tienen efectos significativos en la regulación cerebrovascular, impactando el tono cerebrovascular, el flujo sanguíneo cerebral y el volumen sanguíneo cerebral^{7,14}.

Se ha observado que por cada reducción de 1 mmHg en la PaCO₂, el flujo sanguíneo cerebral disminuye aproximadamente entre un 3 % y un 4 %¹⁷.

La hipocapnia inducida (hiperventilación) se utiliza como intervención de segunda línea para manejar la presión intracraneal elevada que no responde a otras medidas. Sin embargo, se debe usar con cautela, ya que la hiperventilación prolongada y la hipocapnia severa (PaCO₂ < 25 mmHg) pueden provocar hipoperfusión cerebral e isquemia^{7,14}.

En ausencia de herniación cerebral, la PaCO₂ generalmente debe mantenerse entre 35 y 38 mmHg. En casos de hipertensión intracraneal (HTIC) refractaria, se puede considerar una hipocapnia leve (30-35 mmHg) por períodos

cortos (15-30 minutos)⁷. Algunas investigaciones sugieren que la hipocapnia leve y de corta duración podría ser segura, con cambios mínimos y no clínicamente relevantes en la oxigenación y el metabolismo cerebral⁷.

- **Presión Arterial Parcial de Oxígeno (PaO₂):**

La oxigenación debe ser estrictamente monitorizada, recomendándose evitar la hiperoxemia excesiva (PaO₂ ≥ 100 mmHg), ya que se ha asociado con un aumento de la mortalidad y un peor resultado clínico. A pesar de esto, una PaO₂ ≥ 94 mmHg podría ser necesaria para mantener una presión tisular de oxígeno cerebral por encima de 20 mmHg en pacientes con traumatismo craneoencefálico^{7,15}.

- **Presión Positiva al Final de la Espiración (Peep):**

La Peep puede mejorar la oxigenación al prevenir la atelectasia. No obstante, niveles por encima de 12 cmH₂O pueden afectar negativamente la dinámica cerebral, especialmente en pacientes con reserva cerebrovascular limitada y distensibilidad intracraneal reducida^{7,15}.

Los estudios no han encontrado un efecto clínicamente significativo de la Peep en la PIC o la presión de perfusión cerebral en pacientes con traumatismo craneoencefálico, recomendándose una aplicación individualizada para minimizar los efectos adversos hemodinámicos y neurológicos⁷.

1.3.2 Complicaciones Asociadas a la VMI:

- **Lesión Cerebral Asociada al Ventilador:**

La lesión cerebral asociada a la ventilación es una nueva prioridad para la investigación. La VMI puede estar asociada con complicaciones iatrogénicas que afectan la función neurológica^{15,18}.

Estudios preclínicos sugieren que la ventilación mecánica puede afectar la activación neuronal, inducir neuroinflamación y desencadenar apoptosis hipocámpal, incluso con estrategias de ventilación protectoras¹⁸.

- **Neumonía Asociada al Ventilador:**

Los pacientes neurocríticos tienen un alto riesgo de desarrollar neumonía asociada a la ventilación. La intubación endotraqueal y la sedación/relajación pueden disminuir drásticamente el transporte mucociliar y el reflejo de tos, favoreciendo la retención de secreciones^{13,19}.

- **Asincronías Paciente-Ventilador:**

Las asincronías son comunes en pacientes con daño cerebral y se asocian con una prolongación de la VMI¹⁵.

1.3.3 Destete y Extubación:

Los pacientes neurológicos pueden presentar un control y un impulso respiratorio alterados, lo que dificulta el destete. La tasa de fracaso de la extubación puede ser alta, de hasta un 19% en pacientes neurológicos^{13,20}.

- **Factores Predictivos de Fracaso de la Extubación:** Incluyen el sexo femenino, una puntuación motora de la Escala de Coma de Glasgow (GCS) < 5, un volumen de secreciones de moderado a grande, tos ausente o débil, y VMI durante más de 10 días²⁰.

- **Escalas:** La escala VISAGE se ha validado para la preparación para la extubación en pacientes de UCI generales. Un estudio reciente propuso una puntuación simplificada de siete ítems que incluía lesión cerebral traumática, tos vigorosa, reflejo nauseoso, intentos de deglución, aspiración endotraqueal ≤ 2 veces por hora, puntuación motora de la GCS y temperatura el día de la extubación²⁰.

- **Traqueostomía:** Es necesaria en el 32%-45% de los pacientes neurocríticos. La traqueostomía temprana (≤ 7 días) puede facilitar la movilización, reducir el riesgo de neumonía asociada a la ventilación, aumentar los días libres de ventilador y disminuir la estancia en la UCI¹³.

1.4 Farmacología

El manejo farmacológico de pacientes neurocríticos en ventilación mecánica invasiva es fundamental para prevenir la lesión cerebral secundaria y optimizar los resultados. Este enfoque se centra en la modulación de la presión intracraneal, la presión arterial, la oxigenación, el dióxido de carbono y otras variables fisiológicas, además de abordar complicaciones específicas.

Este manejo influye directamente en la aplicación de la técnica de compresión torácica rápida.

Presión intracraneal y de perfusión cerebral

Para el control de la presión intracraneal y de la presión de perfusión cerebral se pueden usar agentes osmóticos, como el manitol y la solución salina hipertónica. Estos son eficaces para controlar la PIC elevada. Un metaanálisis no encontró diferencias clínicamente significativas en la mortalidad, los resultados neurológicos o la reducción de la PIC entre ambos^{10,15}. Los barbitúricos son fármacos que también pueden emplearse para el manejo de la hipertensión intracraneal refractaria como terapia de segunda línea¹⁵. Así como la reducción de la actividad de catecolaminas se ha sugerido como una estrategia para mejorar la función del sistema linfático, lo que podría contribuir a una perfusión cerebral óptima¹².

Presión arterial

Para el control de la presión arterial los vasopresores como la norepinefrina o la dopamina son cruciales en el mantenimiento de la estabilidad hemodinámica y de una adecuada perfusión cerebral. La norepinefrina es el vasopresor más comúnmente utilizado y se ha documentado su seguridad para la movilización precoz en la UCI. Sin embargo, su administración debe ser cautelosa en situaciones de inestabilidad hemodinámica, ya que las catecolaminas vasoconstrictoras pueden reducir la microcirculación. Se utilizan con mayor frecuencia en pacientes con lesión pulmonar severa^{5,15,21}.

En el manejo de la presión arterial sistólica posterior a una trombectomía endovascular, el control intensivo por debajo de 120 mmHg se asoció con peores resultados en el ensayo ENCHANTED2/MT, lo que sugiere precaución frente a una reducción generalizada y respalda un enfoque individualizado¹⁰.

En la hemorragia intracerebral aguda, los ensayos como ATACH-2 e INTERACT han investigado la reducción intensiva de la presión arterial, con resultados que varían en cuanto a su impacto en el crecimiento del hematoma y el edema perihematoma⁸.

Sedación y relajación

La sedación profunda y los bloqueadores neuromusculares son necesarios para manejar la presión intracraneal, facilitar procedimientos como el reposicionamiento y la aspiración de la vía aérea, minimizando el aumento de la PIC. Sin embargo, el uso continuo de bloqueadores neuromusculares puede asociarse con efectos adversos extracraneales⁵.

El fentanilo y el midazolam se utilizan como parte del protocolo estándar de sedación en la UCI. Puede ser necesario profundizar la sedación o añadir fármacos para atenuar la respuesta a estímulos nocivos¹⁵. La supresión de la tos durante la ventilación mecánica invasiva con propofol puede mejorar los resultados neurológicos¹⁵.

La lidocaína (IV) ha demostrado ser eficaz para atenuar el aumento de la frecuencia cardíaca, la presión arterial media y la PIC en respuesta a la aspiración traqueal. También se le atribuyen posibles efectos neuroprotectores²².

La dexmedetomidina, administrada por vía intravenosa, atenúa el incremento de la frecuencia cardíaca, la presión arterial media y PIC asociado a procedimientos como la aspiración traqueal. Si bien puede inducir una disminución significativa de la presión arterial media y, en consecuencia, de la presión de perfusión cerebral, su uso es frecuente en pacientes neurocríticos por su estabilidad hemodinámica, la facilidad que ofrece para la evaluación neurológica y su mínima depresión respiratoria. Además, ha sido empleada como opción terapéutica en casos de hipertensión intracraneal refractaria^{13,15,22}.

Otros Agentes y Consideraciones

- Nimodipino (oral): Es un tratamiento fundamental después de la hemorragia subaracnoidea aneurismática, administrado durante 21 días. También se ha utilizado de forma intraarterial e intravenosa para el vasoespasmio cerebral⁹.

- Corticosteroides: Una revisión Cochrane no apoya su uso rutinario en hemorragia subaracnoidea ni en hemorragia intracerebral. Dosis altas de metilprednisolona se han asociado con mayor mortalidad en el traumatismo craneoencefálico. Su uso podría estar indicado si el síndrome de dificultad respiratoria aguda es el problema dominante^{9,15}.

- Control Glucémico: El control de la glucemia constituye una medida neuroprotectora clave. El control glucémico intensivo ha sido objeto de investigación en el contexto del traumatismo craneoencefálico, asociándose la hiperglucemia de forma consistente, con peores resultados clínicos^{9,10}.

- Control de la Fiebre: Es una medida profiláctica para controlar la PIC⁶.

Este manejo farmacológico se integra con la monitorización multimodal y las estrategias no farmacológicas para ofrecer una atención integral al paciente neurocrítico en ventilación mecánica invasiva⁵.

1.5 Fisioterapia respiratoria

La fisioterapia respiratoria constituye un área especializada de la fisioterapia cuyo objetivo principal es la prevención, el tratamiento y el seguimiento de las disfunciones y complicaciones del aparato respiratorio. Su aplicación resulta especialmente relevante en el paciente crítico, en particular en aquellos sometidos a ventilación mecánica invasiva²³⁻²⁵.

El propósito fundamental de esta disciplina es optimizar el intercambio gaseoso y preservar la mecánica respiratoria, al tiempo que se minimiza el riesgo de lesión pulmonar asociada al soporte ventilatorio. Para ello, se emplean intervenciones basadas en la evidencia que incluyen, entre otras, la movilización y la deambulación tempranas, el entrenamiento para el mantenimiento de la fuerza muscular global y de la función diafragmática, así como la aplicación de técnicas específicas destinadas al manejo y la eliminación eficaz de secreciones traqueobronquiales²⁵⁻²⁷.

Diversos estudios han demostrado que la implementación precoz y protocolizada de la fisioterapia respiratoria en el paciente crítico se asocia con beneficios clínicos relevantes, como la reducción de la estancia en UCI, la disminución de la duración de la ventilación mecánica y la mejora de los resultados funcionales post alta^{25,26,28}.

Las técnicas de fisioterapia respiratoria en pacientes críticos se pueden clasificar según si utilizan o no un ventilador mecánico para su ejecución:

1.5.1 Técnicas realizadas sin ventilador mecánico

El objetivo de estas técnicas es lograr una interacción óptima entre el gas y el líquido (aire-moco) durante la espiración para movilizar las secreciones bronquiales de la periferia pulmonar hacia la boca. La eficacia de estas técnicas depende de la calidad de las fases inspiratorias; las inspiraciones lentas y profundas, seguidas de una pausa teler inspiratoria con la glotis abierta, optimizan la entrada de aire detrás de las secreciones al favorecer la ventilación colateral, limitar la asincronía ventilatoria y reducir la migración de moco hacia la periferia pulmonar²³.

- **Aumento del Flujo Espiratorio:**

Consiste en un aumento del flujo espiratorio que puede ser activo, activo-pasivo o pasivo, iniciado a diferentes volúmenes pulmonares, con el objetivo de movilizar y evacuar secreciones traqueobronquiales. La *Forced Expiratory Technique* es la versión anglosajona del aumento de flujo espiratorio activo, descrita como una aceleración controlada del flujo espiratorio, realizada con la glotis abierta y desde distintos volúmenes pulmonares hasta alcanzar el volumen residual²³.

- **Ciclo Activo de Técnicas Respiratorias:**

Esta técnica es activa por parte del paciente, no ejerciendo el fisioterapeuta ninguna presión externa. Es la repetición de un ciclo de tres fases, primero el control respiratorio con respiración relajada, a volumen corriente, segundo, ejercicios de expansión torácica con inspiraciones

profundas seguidas de una pausa teler inspiratoria con la glotis abierta, y por fin una fase de aumento de flujo espiratorio con una o varias maniobras²³.

- **Drenaje Autógeno:**

Se compone de espiraciones "suspiradas" con la glotis abierta, realizadas a niveles crecientes de volúmenes pulmonares. El objetivo es aumentar el reclutamiento de los territorios pulmonares obstruidos^{23,24}.

- **Espiración Lenta Total con Glotis Abierta en Decúbito Lateral:**

Esta técnica busca optimizar la distensibilidad pulmonar local utilizando los efectos de la gravedad sobre el tejido pulmonar. En ella, el paciente se posiciona de lado, con la zona pulmonar a desobstruir en la parte inferior (pulmón infralateral), donde la deflación y la ventilación se maximizan, el fisioterapeuta realiza una presión bimanual tóraco-abdominal, lenta, iniciada desde la capacidad residual funcional y continuada hasta el volumen residual. Se busca de esta forma aumentar la velocidad del flujo de aire en las vías respiratorias mediales y periféricas^{23,24}.

- **Compresión Manual Torácica:**

El objetivo de esta técnica es aumentar el diferencial de flujo espiratorio y es una de las técnicas con gran potencial para facilitar la eliminación de secreciones, aunque en un estudio en modelo animal la eficacia fue limitada en atelectasias^{25,29}.

- **Percusiones Manuales / *Clapping*, Vibración y Sacudidas:**

Esta intervención consiste en oscilaciones rítmicas externas aplicadas manualmente sobre la pared torácica por el fisioterapeuta, basándose su mecanismo de acción en la transmisión de la oscilación a las vías respiratorias para reducir la adhesividad de la capa de moco, cambiar las propiedades viscoelásticas del moco y desprenderlo de la pared bronquial. Además, la vibración manual puede aumentar el flujo espiratorio y la presión intrapleural, siendo el impacto combinado de la compresión y la oscilación mayor que el de cada técnica por separado^{24,25}.

- **Drenaje Asistido por Gravedad:**

El paciente se posiciona con el segmento pulmonar relevante en una posición semi-vertical para que el segmento broncopulmonar con exceso de moco esté más alto que las vías respiratorias centrales, facilitando así el drenaje por gravedad²⁴.

1.5.2 Técnicas realizadas con ventilador mecánico

Las técnicas de fisioterapia respiratoria aplicadas en pacientes sometidos a ventilación mecánica buscan promover una interacción eficiente entre la fase gas (aire) y la fase líquida (mucosidad) durante la espiración, de modo que las secreciones bronquiales se movilicen desde la periferia pulmonar hacia las vías aéreas superiores para su posterior eliminación. Este proceso se consigue

modulando los volúmenes pulmonares y los flujos espiratorios con el fin de generar una velocidad lineal de aire suficiente para producir fuerzas de cizallamiento capaces de desprender y desplazar el moco adherido a la luz bronquial^{15,23}.

- **Hiperinsuflación con Ventilador / Hiperinsuflación Manual:**

Se realizan utilizando el ventilador mecánico o una bolsa de reanimación manual, siendo su objetivo principal aumentar los volúmenes pulmonares y movilizar las secreciones³⁰. Cuando es ejecutada con el ventilador, se puede optimizar seleccionando configuraciones específicas que aportan seguridad y disminuyen las complicaciones³¹. Se ha comparado la eficacia de la hiperinsuflación con el ventilador con la hiperinsuflación manual en la eliminación de esputo y la mejora de la distensibilidad pulmonar, con resultados favorables para la primera³⁰.

- **Compresión Torácica Espiratoria:**

Esta técnica se aplica con intensidad gradual para prolongar la exhalación o con compresiones fuertes sincronizadas con el inicio de la espiración para movilizar secreciones de las vías respiratorias distales o proximales, respectivamente, pudiendo combinarse con las técnicas de hiperinsuflación³².

- **Peep-Zeep:**

La maniobra de presión positiva al final de la espiración-presión cero al final de la espiración (Peep-Zeep) modifica el patrón de flujo espiratorio para transportar las secreciones de las vías respiratorias más pequeñas hacia las vías centrales, realizándose sin desconectar el circuito del ventilador. Cuando es combinada con la compresión torácica rápida, al aumentar el diferencial de flujos, se incrementa el potencial de drenaje de secreciones. Es importante considerar los efectos de la Peep sobre la presión intracraneal y la hemodinámica cerebral, ya que puede afectarlas^{15,30}.

- **Insuflación-Exsuflación Mecánica:**

Esta técnica usa dispositivos mecánicos adicionales para generar un alto flujo espiratorio máximo para simular la tos y arrastrar las secreciones proximalmente³³. Estudios recientes han mostrado que puede reducir el tiempo en ventilación mecánica, la atelectasia y la estancia en UCI³⁴. Cuando se realiza a diferentes niveles de presiones, buscando un diferencial de flujos favorable a la espiración, se potencian sus efectos de drenaje, pudiendo incluso asociarse a la nebulización con suero salino hipertónico para maximizar los efectos de la técnica^{33,34}.

- **Ventilación Percusiva Intrapulmonar:**

Estos dispositivos administran pequeños volúmenes de aire a altas frecuencias (80-650 ciclos/min) para producir percusiones intratorácicas y vibraciones, intentando de esta forma movilizar las secreciones, reclutar áreas no aireadas y mejorar el intercambio gaseoso²³.

- Oscilación de Alta Frecuencia de la Pared Torácica:

Se aplica a través de un chaleco inflable que crea variaciones de presión intermitentes, produciendo vibraciones en la pared torácica con el objetivo de aumentar el transporte de moco²⁴.

- Entrenamiento Muscular Inspiratorio:

Esta técnica con evidencia creciente tiene el potencial de aliviar los efectos negativos de la ventilación mecánica invasiva y mejorar la fuerza de los músculos inspiratorios, implicando los protocolos, dispositivos de umbral y aplicación de cargas crecientes. Este entrenamiento puede mejorar la presión inspiratoria máxima y puede ayudar en el proceso de destete en pacientes intubados^{35,36}.

1.6 Técnica de compresión torácica rápida

La técnica de compresión torácica rápida, comúnmente utilizada en la fisioterapia respiratoria, es una técnica diseñada para mejorar el aclaramiento de secreciones en pacientes con ventilación mecánica. Su objetivo principal es modular los flujos de aire para movilizar el moco desde las vías respiratorias periféricas hacia las vías centrales y la boca³¹.

Principios Fisiológicos

La técnica busca generar un diferencial de flujo espiratorio (la diferencia entre el flujo espiratorio máximo y el flujo inspiratorio máximo), que es crucial para una eliminación eficaz de las secreciones. Al aplicar compresión, se acentúa la compresión dinámica de las vías respiratorias durante la espiración, lo que reduce su diámetro, aumentando la velocidad del flujo de aire y las fuerzas de cizallamiento sobre el moco^{31,32}.

El diferencial de flujos se refiere a la diferencia entre el flujo espiratorio máximo y el flujo inspiratorio máximo generado en las vías aéreas.

En condiciones saludables, el estrechamiento natural de las vías respiratorias durante la espiración aumenta la velocidad del aire espiratorio, favoreciendo el movimiento del moco hacia la glotis (un diferencial de flujo espiratorio). Sin embargo, en pacientes con ventilación mecánica, es común que el flujo inspiratorio máximo sea significativamente mayor que el flujo espiratorio máximo, lo que crea un diferencial de flujo inspiratorio y aumenta el riesgo de que las secreciones se impacten o se muevan hacia el árbol bronquial. La técnica busca, por tanto, generar un diferencial de flujo espiratorio (es decir, FEM > FIM) para promover el movimiento cefálico del moco^{31,37}.

El diferencial de flujo actúa a través del mecanismo de transporte bifásico gas-líquido, el cual es influenciado por la velocidad del aire inspiratorio-espiratorio, la viscosidad del moco y el grosor de la capa de moco (que alcanza entre el 5% y el 10% del diámetro de la vía aérea). Este transporte de moco puede ocurrir incluso con ventilación a volumen corriente, sin necesidad de flujos elevados o tos^{31,32,37}.

Para inferir la eficacia de las técnicas de aclaramiento de las vías aéreas, el diferencial de flujo se expresa habitualmente como la relación FEM:FIM o como la diferencia FEM-FIM. Se han identificado umbrales críticos para el desplazamiento del moco hacia la glotis: inicialmente, una relación FEM:FIM > 1.11, y posteriormente, un umbral más clínicamente relevante (basado en estudios *in vivo* en cerdos) de una diferencia FEM-FIM > 33.0 L/min, o una relación FEM:FIM > 4.3. La diferencia FEM-FIM ha mostrado una correlación más fuerte y significativa con el movimiento de las secreciones que la relación FEM:FIM^{31,32,37,38}.

Variantes y Ejecución

La compresión torácica, también conocida como compresión manual de la caja torácica o compresión de la caja torácica espiratoria, se puede aplicar de diversas maneras:

- **Compresión Dura/Breve (Rápida):**

Se aplica mediante compresiones fuertes y rápidas en completa sincronización con el inicio de la espiración, con las manos posicionadas bilateralmente en el tercio inferior del tórax. La liberación del tórax después de la compresión debe ser lenta para evitar un aumento en la elasticidad del sistema respiratorio y prevenir una reducción en el diferencial de flujo espiratorio del siguiente ciclo. Esta técnica ha mostrado eficacia en el aumento del flujo espiratorio máximo, lo que favorece la movilización y expulsión de secreciones del árbol bronquial^{31,32,37}.

- **Compresión Suave/Larga (Gradual):**

Se aplica con una intensidad gradual (de suave a fuerte) para prolongar la espiración después del inicio de la fase espiratoria. Su objetivo es movilizar secreciones de las vías aéreas distales, aunque estudios en modelo animal cuestionan su eficacia con posible retroceso de las secreciones hacia el árbol bronquial^{31,37}.

Combinación con otras técnicas:

- **Hiperinsuflación Manual o con Ventilador:**

La compresión torácica rápida puede combinarse con la técnica de hiperinsuflación, aumentando el volumen tidal entre un 50% y un 130%, con una meseta inspiratoria para reclutar la periferia y compresión torácica rápida sincronizada con la espiración. Dependiendo de la bibliografía, se considera el límite de seguridad para la presión inspiratoria entre 35 y 40 cmH₂O^{25,35}. Hay que tener en cuenta el volumen minuto previo para bajar la frecuencia respiratoria aplicada y así evitar el lavado de CO₂, especialmente en pacientes neurocríticos o con sospecha de daño cerebral¹⁴.

- **Maniobra Peep-Zeep:**

La compresión torácica rápida también puede combinarse con la maniobra de presión positiva al final de la espiración-presión cero al final de la espiración (Peep-Zeep), implicando aumentar la Peep a 15 cmH₂O durante 5 ciclos, con una presión inspiratoria máxima limitada a 40 cmH₂O, seguido de una reducción abrupta de la Peep a cero, al añadir la compresión torácica rápida a la Peep-Zeep se potencia el aumento del diferencial de flujo espiratorio^{30,32}.

Evidencia

La evidencia disponible sobre la compresión torácica rápida y otras técnicas de aclaramiento de las vías aéreas durante la ventilación mecánica indica que estas intervenciones pueden contribuir de manera significativa al mantenimiento de la permeabilidad de las vías respiratorias, a la reducción del trabajo respiratorio y al aumento del volumen de esputo expectorado²⁵.

En modelos pulmonares, animales y en sujetos adultos ventilados, la técnica de compresión torácica rápida ha mostrado un aumento significativo del flujo espiratorio máximo. Además, se ha observado que, cuando se combina con la aspiración de secreciones, puede reducir la resistencia de las vías aéreas y mejorar

la oxigenación. Por su parte, la técnica de compresión torácica lenta, aplicada junto con compresión abdominal en pacientes con neumonía asociada a la ventilación mecánica, ha evidenciado una mejora transitoria en la distensibilidad pulmonar estática^{31,32}.

Asimismo, la combinación de la compresión torácica rápida con la maniobra Peep-ZEEP ha demostrado un incremento significativo en el diferencial de flujo espiratorio, con una media de $6,7 \pm 3,4$ L/min, lo que podría potenciar su efectividad en la movilización de secreciones³².

Seguridad y Presión Intracraneal:

En pacientes con lesión cerebral, las maniobras de fisioterapia respiratoria, incluida la compresión torácica rápida manual y la percusión mecánica, pueden causar un aumento significativo de la presión intracraneal, que, aunque transitorios, pueden contraindicar la intervención^{39,40}.

Un estudio piloto no encontró que la percusión torácica mecánica aumentara la presión intracraneal, lo que sugiere que podría ser segura en pacientes con riesgo de hipertensión intracraneal, aunque en otro ensayo se refiere lo contrario, que aumenta de forma significativa^{40,41}.

Las consecuencias fisiológicas de la maniobra de compresión torácica rápida se consideran análogas a las de la tos espontánea, con la salvedad de que no existe cierre glótico. Aunque se genera un incremento transitorio de la presión intraalveolar, este se acompaña de un aumento concomitante de la presión pleural, lo que evita un incremento significativo del gradiente de presión transpulmonar y, por consiguiente, minimiza el riesgo de lesión del parénquima pulmonar³².

Consideraciones y Limitaciones:

La eficacia de la técnica de compresión torácica rápida puede verse influenciada por el momento de la aplicación, las propiedades del sistema respiratorio del paciente, el volumen corriente y el uso de una o dos manos, señalándose que flujos inspiratorios elevados pueden comprometer la efectividad de la técnica al no permitir un diferencial de flujos suficiente para la eliminación de las secreciones³¹.

1.7 Justificación de la línea de trabajo

La retención de secreciones asociada a la ventilación mecánica invasiva es un problema descrito y con publicaciones abundantes sobre su manejo, pero la fisioterapia respiratoria no se contempló como un abordaje válido hasta hace una década. Los fisioterapeutas no tenían un cuerpo de conocimientos sólido que permitiera el manejo de la ventilación mecánica invasiva para manejar este problema^{23,24,31}.

Actualmente la fisioterapia va consolidando sus bases, de la que esta tesis es una prueba, y se aborda el problema de la retención de secreciones con técnicas de fisioterapia estudiadas y validadas y se van acercando a cuadros clínicos agudos complejos donde antes no se contemplaba la presencia de un fisioterapeuta^{37,42}.

En esta necesidad, se realiza esta tesis en la que se estudia el efecto de la técnica de compresión torácica rápida en pacientes neurocríticos ventilados invasivamente, y específicamente sus efectos en la presión intracraneal y componentes hemodinámicos asociados.

Retención de secreciones en pacientes neurocríticos con ventilación mecánica invasiva:

Los pacientes críticos con lesiones cerebrales agudas, como la hemorragia subaracnoidea, la hemorragia intraparenquimatosa, el traumatismo craneoencefálico o el ictus isquémico agudo, con frecuencia requieren ventilación mecánica invasiva con la inherente intubación endotraqueal y el neumotaponamiento, responsables por la disminución drástica del transporte mucociliar e imposibilitando la tos efectiva. Además, la sedación y los relajantes musculares, comunes en estos pacientes, inhiben la motilidad ciliar y la activación de los músculos respiratorios, lo que aumenta aún más la retención de secreciones^{31,37}.

Esta retención de secreciones aumenta el riesgo de morbilidad asociada, incluyendo atelectasias o neumonía asociada a la ventilación. La fisioterapia respiratoria se considera actualmente una herramienta útil para el manejo de estas secreciones^{31-34,37}.

La preocupación por el aumento de la presión intracraneal:

La aplicación de técnicas de fisioterapia respiratoria en pacientes con lesión cerebral aguda ha sido tradicionalmente vista con cautela o directamente contraindicada debido al riesgo potencial de aumentar la PIC. Las maniobras de fisioterapia respiratoria pueden aumentar momentáneamente la presión intratorácica, lo que a su vez puede disminuir el retorno venoso y aumentar la PIC. Un aumento sostenido de la PIC, o uno que no se acompañe de un incremento en la presión arterial media, puede llevar a una disminución de la presión de perfusión cerebral. Esta disminución de la presión de perfusión cerebral puede causar daño cerebral adicional en las áreas de penumbra, afectando la neuroplasticidad en las fases de recuperación de las lesiones cerebrales agudas^{11,40,41,43-45}.

El vacío en la evidencia científica y la necesidad de rigor metodológico:

Aunque estudios previos han investigado la efectividad de la compresión torácica rápida en la movilización de secreciones y el flujo espiratorio máximo, mostrando que puede aumentar el flujo espiratorio y facilitar el transporte de moco, la seguridad de su aplicación en pacientes neurocríticos con ventilación mecánica invasiva, específicamente en relación con la PIC, no estaba clara^{40,44-47}.

Gran parte de la evidencia existente antes de esta línea de trabajo era limitada. Los primeros estudios sobre el tema a menudo se realizaron sin grupos de control ni aleatorización y algunos estudios mezclaban diferentes técnicas de fisioterapia respiratoria^{40,44-47}.

Es crucial señalar que muchos protocolos de fisioterapia respiratoria incluían la aspiración de secreciones, la cual se sabe que por sí misma puede aumentar la PIC y la presión arterial media, lo que dificultaba aislar el efecto real de la técnica de compresión torácica rápida^{40,44-47}.

Justificación de la línea de trabajo:

Ante esta incertidumbre y la poca evidencia científica sólida (especialmente ensayos clínicos aleatorizados y controlados) sobre la seguridad de la compresión torácica rápida manual en este tipo de pacientes, la línea de investigación se justificó para clarificar si la técnica provoca cambios significativos en la presión intracraneal durante y después de su aplicación.

La meta fue proporcionar conclusiones metodológicamente sólidas mediante el control de variables y el estudio de una única técnica. Esto permitiría a los profesionales de la salud, especialmente a los fisioterapeutas, aplicar la técnica de compresión torácica rápida de manera más informada y segura, mejorando el manejo respiratorio de pacientes neurocríticos ventilados sin comprometer su condición neurológica ni su futura recuperación.

2. Objetivos

Los objetivos iniciales del protocolo del ensayo clínico aleatorizado definieron una línea de trabajo que fue perfilándose progresivamente hasta dar lugar a un protocolo reestructurado, el cual fue remitido al comité de ética para su reevaluación y posterior ejecución.

El protocolo publicado sentó las bases del ensayo clínico, pero el tiempo transcurrido hasta su ejecución permitió su optimización, resolviendo algunas cuestiones éticas, como la intensificación progresiva de la intervención en el grupo control—que pasó de movilizaciones mínimas, como un dedo, a la movilización de los miembros inferiores—. Esta modificación no solo redujo el riesgo ético de no tratar adecuadamente, sino que también pudo contribuir a aumentar la potencia del análisis al evitar comparaciones excesivamente asimétricas entre grupos.

De cara a la puesta en marcha del ensayo clínico, se establecieron de forma clara los objetivos principales y secundarios que enumeramos a continuación.

Objetivo principal

- Determinar los efectos de la técnica de compresión torácica rápida sobre la presión intracraneal en pacientes con ventilación mecánica invasiva con lesión cerebral aguda.

Objetivos secundarios

- Determinar los efectos de la técnica de compresión torácica rápida sobre la presión de perfusión cerebral.
- Determinar los efectos de la técnica de compresión torácica rápida en la presión arterial media.
- Determinar los cambios gasométricos provocados por la técnica de compresión torácica rápida.
- Determinar los cambios provocados por la aplicación de la técnica de compresión torácica rápida en la frecuencia cardíaca.
- Verificar que el diferencial de flujos a favor de la espiración se logra con la técnica de compresión torácica rápida.

Objetivos del protocolo no estudiados por las limitaciones de muestra y/o de recursos

- Establecer una relación entre el tipo de lesión cerebral y el comportamiento de la presión intracraneal.
- Establecer una relación entre el pico de flujo espiratorio y el comportamiento de la presión intracraneal.

- Establecer una relación entre la presión aplicada en la técnica estudiada y los cambios en las otras variables dependientes.

En conjunto, estos objetivos buscan proporcionar una evidencia basada en la investigación, rigurosa y controlada, que permita a los médicos y fisioterapeutas la toma de decisiones informadas sobre la aplicación de la técnica de compresión torácica rápida en pacientes neurocríticos con ventilación mecánica invasiva, mejorando así su manejo respiratorio sin comprometer su estado neurológico presente o su recuperación futura.

Relación de las publicaciones con los objetivos

Las publicaciones ilustran el proceso de la investigación: el protocolo establece el plan y los objetivos para un estudio riguroso, el caso clínico ofrece una observación detallada de un efecto paralelo en un paciente individual, y el ensayo controlado aleatorizado presenta los resultados definitivos y las conclusiones basadas en una muestra de mayor tamaño, intentando responder así a las preguntas planteadas en la investigación.

3. Metodología general

La metodología general se estableció en el protocolo de investigación y de una forma general, con las correcciones efectuadas, se describe a continuación.

3.1 Muestra y diseño

Diseño del estudio: Ensayo clínico aleatorizado con ciego simple, con grupo control y grupo intervención de pacientes neurocríticos con ventilación mecánica invasiva.

Población de estudio: Pacientes ingresados en la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital Álvaro Cunqueiro, perteneciente al Área Sanitaria de Vigo, entre el 1 de mayo de 2021 y el 31 de diciembre de 2023 (fecha en la que se alcanzó el número total de sujetos). Se incluyeron pacientes con lesión cerebral aguda, con monitorización invasiva de la presión intracraneal y presión arterial, y que requerían ventilación mecánica invasiva.

Criterios de inclusión:

- Pacientes intubados con ventilación mecánica invasiva en modos de volumen controlado, volumen controlado regulado por presión o presión controlada durante 48 horas previas a la aplicación de las técnicas.
- Lesión cerebral aguda con 8 puntos o menos en la Escala de Coma de Glasgow.
- Estabilidad hemodinámica, con presión arterial media mayor que 65 mmHg.
- Estabilidad respiratoria, con Peep menor de 10 cmH₂O y fracción inspirada de oxígeno inferior a 60%.
- Estabilidad de la presión intracraneal, con valores mayores de 0 y menores de 20 mmHg.
- Valores en la escala de sedación de Richmond Sedation and Agitation Scale de -5 puntos

Criterios de exclusión:

- Fracturas torácicas en costillas, esternón, clavícula, escápula o vertebras.
- Lesiones abdominales que limiten la aplicación de compresión manual en la zona.
- Alteraciones locales o sistémicas que cursen con aumento de volumen abdominal.
- Fracturas o condiciones clínicas de miembros inferior que contraindiquen la aplicación de movilización pasiva.

Tamaño muestral, aleatorización y ciego:

Para obtener el tamaño muestral necesario para este estudio, utilizamos el software Ene 3.0 y basamos las estimaciones en los cambios de presión intracraneal observados con las técnicas aplicadas en el estudio de Thiesen et al. (2005). En dicho estudio, la media de las medidas basales (equivalente al grupo

control) fue de 6,9 mmHg, y la media en el grupo experimental fue de 7,2 mmHg a los 30 minutos después de la fisioterapia, con una desviación estándar conjunta de 2,0 mmHg en pacientes con presión intracraneal entre 0–10 mmHg. En pacientes con presión intracraneal entre 10–20 mmHg, la media basal fue de 13,7 mmHg, y la media en el grupo experimental fue de 12,7 mmHg a los 30 minutos, con una desviación estándar conjunta de 2,5 mmHg⁴⁵.

Con un poder estadístico del 80% y para detectar que la diferencia de medias es igual al límite de equivalencia mediante una prueba t de Student para dos muestras independientes, asumiendo un límite de equivalencia de 2,0 mmHg y un nivel de confianza del 95%, se obtuvo un tamaño muestral de 25 pacientes por grupo (control y experimental), con un total de 50 sujetos para este ensayo clínico aleatorizado.

La asignación de los pacientes a los grupos se realizó mediante aleatorización por bloques, utilizando la herramienta QuickCalcs de GraphPad, sin reemplazo, por el investigador principal. Se incluyeron 50 pacientes neurocríticos, distribuidos equitativamente en dos grupos: uno de intervención, que recibió la técnica de compresión torácica rápida, y otro control, que recibió movilización pasiva de extremidades inferiores. La secuencia de asignación fue generada al inicio del estudio y se aplicó siguiendo el orden de ingreso de los pacientes en la unidad de cuidados intensivos del Hospital Álvaro Cunqueiro (Vigo, Galicia). El cegamiento se aplicó en dos niveles: por un lado, los pacientes se consideraron ciegos, ya que todos se encontraban profundamente sedados (RASS = -5) y no eran conscientes del procedimiento recibido; por otro lado, el análisis estadístico fue realizado por personal independiente que no conocía la asignación de los sujetos, ya que los datos fueron codificados y anonimizados antes del análisis por parte del investigador principal.

Variable	Total (n = 50)	Grupo Control (n = 25)	Grupo Intervención (n = 25)
Edad (media, años)	56	55	57
Tiempo desde la lesión cerebral aguda (media, días)	3,3	3,3	3,3
Sexo femenino	33 (66%)	14 (56%)	19 (76%)
Traumatismo craneoencefálico (TCE)	12 (24%)	7 (28%)	5 (20%)
Ictus isquémico agudo (AIS)	2 (4%)	1 (4%)	1 (4%)
Hemorragia subaracnoidea (HSA)	20 (40%)	8 (32%)	12 (48%)
Hemorragia intracerebral (HIC)	16 (32%)	9 (36%)	7 (28%)
Drenaje ventricular	22 (44%)	9 (36%)	13 (52%)
Uso de noradrenalina	32 (64%)	17 (68%)	15 (60%)
Cirugía descompresiva	19 (38%)	9 (36%)	10 (40%)
Uso de relajantes musculares	14 (28%)	8 (32%)	6 (24%)

Tabla I – Características demográficas y clínicas (número y porcentajes).

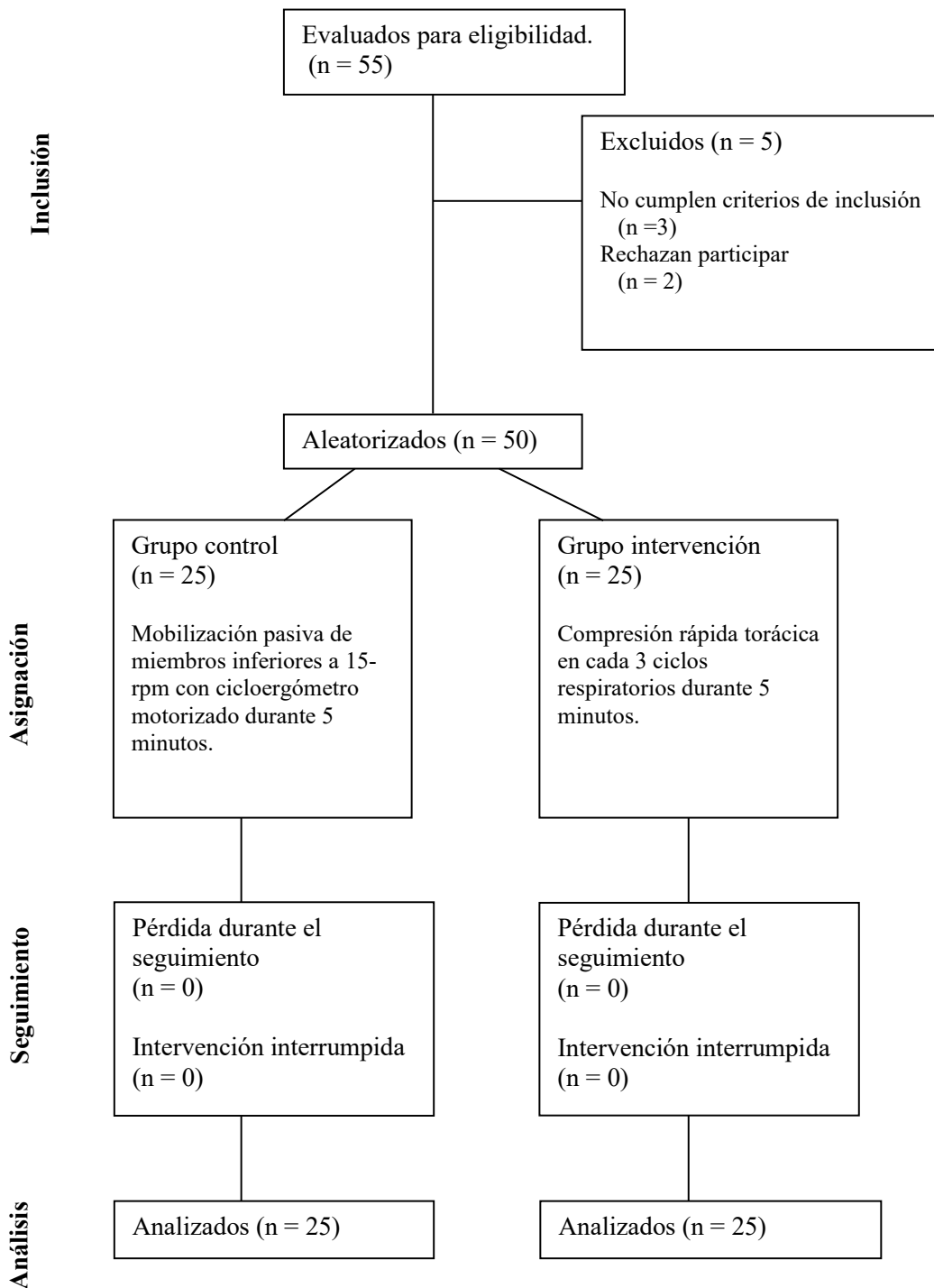


Figura 1 – Diagrama de flujo CONSORT.

Características generales de la muestra obtenida: La muestra obtenida estuvo compuesta por 33 mujeres, lo que representa el 66% del total, con una media de edad de 56 años. Los datos fueron recogidos, de media, al tercer día tras la lesión cerebral aguda.

En cuanto a la etiología, la hemorragia subaracnoidea estuvo presente en el 40% de los casos, seguida de la hemorragia intraparenquimatosa (32%), el traumatismo craneoencefálico (24%) y el infarto isquémico agudo (4%).

El 38% de la muestra (n = 19) fue sometido a cirugía descompresiva; el 44% (n = 22) presentaba drenaje ventricular externo; el 64% (n = 32) requirió soporte con aminas y el 28% (n = 14) necesitó relajación muscular.

Estos datos se recogen en la Tabla I.

Intervención:

El grupo de intervención fue sometido a la técnica de compresión torácica rápida. Esta técnica consiste en la aplicación de una compresión rápida sobre la zona lateral inferior del tórax, de forma bilateral, coincidiendo con la transición del ventilador desde la inspiración hacia la espiración. Su objetivo es generar un diferencial de flujo espiratorio de al menos 33 L/min, favoreciendo así la espiración.

La técnica se aplicó con el paciente en decúbito supino y con una elevación de 30° de la cabeza y el tronco. La compresión torácica rápida se realizó una vez durante la transición espiratoria de cada uno de tres ciclos respiratorios, durante un total de 5 minutos, por parte de un fisioterapeuta.

La monitorización de seguridad incluyó frecuencia cardíaca, presión arterial, presión intracraneal, saturación periférica de oxígeno y presión de perfusión cerebral, y fue llevado a cabo por el equipo clínico y el investigador principal. La intervención se interrumpía si se alcanzaban valores límite de seguridad o si el equipo clínico lo consideraba necesario.

El grupo control recibió movilización pasiva mecánica de miembros inferiores, a una frecuencia de 15 ciclos por minuto. El paciente se encontraba en decúbito supino con 30° de elevación de la cabeza y el tronco. La movilización pasiva de las extremidades inferiores se realizó en la mitad del rango de movimiento de la rodilla, durante 5 minutos, mediante un cicloergómetro motorizado.

La monitorización de seguridad también incluyó frecuencia cardíaca, presión arterial, presión intracraneal, saturación periférica de oxígeno y presión de perfusión cerebral, realizado por el equipo clínico y el investigador principal.

Las intervenciones se interrumpían si se alcanzaban valores límite de seguridad (PIC > 15 mmHg en pacientes descomprimidos o PIC > 20 mmHg en pacientes no descomprimidos; saturación de oxígeno < 94%; frecuencia cardíaca > 130 lpm) o si el equipo clínico lo consideraba oportuno.

3.2 Aspectos éticos y consentimientos

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense, órgano responsable de la evaluación ética en el sistema público de salud de Galicia, con número de registro 2018/446. La documentación correspondiente se incluye en el *Anexo II*.

Con posterioridad al inicio de la recogida de datos del presente estudio, se implementó en el ámbito del Servizo Galego de Saúde una normativa que exigía la conformidad expresa de la autoridad competente del área sanitaria correspondiente para el desarrollo de estudios clínicos en centros públicos. Aunque esta exigencia no estaba en vigor en el momento en que se obtuvo la aprobación del Comité de Ética de la Investigación ni al inicio de la ejecución del protocolo, se procedió voluntariamente a solicitar dicha conformidad una vez conocida la actualización normativa. La autorización expresa del Gerente del Área Sanitaria de Vigo fue emitida con fecha 21 de noviembre de 2023, y se incluye en el *Anexo III*.

El ensayo fue registrado en ClinicalTrials.gov con el identificador NCT03609866.

El consentimiento informado fue otorgado, en caso de aceptación, por los familiares más próximos de los pacientes, a quienes se proporcionó información escrita detallada sobre la participación en el ensayo clínico. Se les informó expresamente de que podían retirar su consentimiento en cualquier momento, sin consecuencias para la atención del paciente, y de que tenían derecho a presentar una reclamación ante la Agencia Española de Protección de Datos si consideraban que sus derechos no estaban siendo respetados. El modelo de consentimiento informado utilizado en el estudio se adjunta en el *Anexo IV*.

Dado que las lesiones cerebrales agudas graves tienen una evolución relativamente lenta, no se previó obtener el consentimiento del propio paciente en el momento inicial de inclusión.

El estudio se llevó a cabo de acuerdo con los principios éticos recogidos en la Declaración de Helsinki y la legislación española vigente sobre investigación biomédica en personas con incapacidad para consentir.

3.3 Cumplimiento de estándares de reporte

El presente estudio fue diseñado y ejecutado como un ensayo clínico aleatorizado y controlado, siguiendo las recomendaciones internacionales de la declaración CONSORT (*Consolidated Standards of Reporting Trials*). Esta declaración establece los principios fundamentales para una presentación transparente, completa y rigurosa de los ensayos clínicos, con el objetivo de garantizar la calidad metodológica y la reproducibilidad de los resultados.

La lista de verificación CONSORT correspondiente a este estudio ha sido cumplimentada y se incluye como material adicional de esta tesis doctoral.

Asimismo, se incorpora el diagrama de flujo CONSORT que representa el proceso de selección, aleatorización, seguimiento y análisis de los participantes incluidos en el ensayo. Dicho diagrama se presenta en la figura 1.

Presión intracraneal

Los datos de presión intracraneal (mmHg) se registraron una hora antes de la intervención, al cambiar el modo de ventilación mecánica (si correspondía), 30 minutos antes, 5 minutos antes, al inicio de la intervención, cada minuto durante la intervención, y a los 5 y 30 minutos después de finalizar, mediante un sistema de monitoreo continuo de presión intracraneal.

Cuando existía drenaje ventricular, el drenaje externo se colocaba a +20 cmH₂O por encima del conducto auditivo externo y se mantenía abierto desde 5 minutos antes del inicio de la técnica hasta su finalización.

Los datos se registraron mediante un monitor Integra Camino ICP, con un sensor de presión colocado intraventricularmente.

Frecuencia cardíaca, presión arterial y presión de perfusión cerebral

Los datos correspondientes a estas tres variables se obtuvieron directamente del monitor de constantes vitales, siguiendo la misma cronología que para la PIC (excepto los registros a 60 y 30 minutos previos, que no se realizaron para estas variables).

Flujo pico inspiratorio y espiratorio

Los datos se recolectaron en intervalos de 30 segundos, siguiendo la misma cronología que para la PIC (excepto los periodos de 60 y 30 minutos previos, que no se incluyeron). Se revisaron todos los valores de flujo pico inspiratorio y espiratorio y se registraron los mejores valores de cada secuencia de 30 segundos.

pH sanguíneo, PaO₂ y PaCO₂

Estudios recientes han identificado que el control estricto de los límites inferiores de la presión parcial de CO₂ en sangre actúa como un factor protector en casos de lesión cerebral, dado que concentraciones elevadas de CO₂ inducen vasodilatación arterial, como se ha demostrado en estudios de laboratorio¹⁴.

Se realizó una gasometría arterial 5 minutos antes y al finalizar la intervención, con el objetivo de evaluar el equilibrio ácido-base y los niveles de oxígeno y dióxido de carbono arteriales.

Información clínica recogida

Además de las variables anteriores, se recogió información en los mismos puntos de tiempo de la saturación de oxígeno, temperatura corporal y frecuencia respiratoria.

Se recogió información sobre variables demográficas, antecedentes clínicos relevantes y medicación en el día de la recogida de datos.

3.5 Métodos estadísticos

Tratamiento y seguridad de los datos

Los datos de los pacientes fueron recogidos por el doctorando en un Cuaderno de Recogida de Datos específico del estudio. Los datos clínicos fueron almacenados de forma separada de cualquier información de identificación personal, con el fin de garantizar la confidencialidad y el anonimato de los participantes, conforme a la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales y al Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) de la Unión Europea.

Cada sujeto fue registrado en la base de datos mediante un código alfanumérico único, no trazable por terceros. La base de datos fue almacenada en un soporte digital con acceso restringido y protegido mediante contraseña, disponible únicamente para el investigador principal y el equipo autorizado del estudio.

Además, se aplicaron medidas de seguridad técnicas y organizativas apropiadas para prevenir el acceso no autorizado o la pérdida de la información, conforme a la legislación vigente.

Análisis estadístico

Se presentaron estadísticas descriptivas en forma de números absolutos y porcentajes para las variables categóricas, y como medias y desviaciones estándar o medianas y rangos intercuartílicos para las variables cuantitativas, según la normalidad de los datos. Para evaluar la normalidad de las variables se utilizó la prueba de Shapiro–Wilk.

Las variables se registraron 5 minutos antes de la intervención (T-5), al inicio (T0), en cada minuto durante la intervención (T1, T2, T3, T4, T5), y a los 5 (T+5) y 30 minutos (T+30) después de finalizar.

Para analizar si existían diferencias en los valores de presión intracraneal, presión de perfusión cerebral o PaCO₂ entre los grupos control e intervención en cada uno de los momentos del estudio (T-5, T0, T1, T2, T3, T4, T5, T+5 y T+30), se empleó la prueba t de Student o la prueba U de Mann–Whitney, según la normalidad de las variables cuantitativas.

Para evaluar las diferencias a lo largo del tiempo en la PIC, presión de perfusión cerebral o PaCO₂ dentro de cada grupo, se aplicó un ANOVA de medidas repetidas o la prueba de Friedman, también en función de la distribución de los datos.

Se consideraron estadísticamente significativos los valores de $p < 0,05$. El momento T-5 fue tomado como valor de referencia, al reflejar el estado basal previo a cualquier intervención. Las medias o medianas en los demás momentos fueron comparadas respecto a dicho valor, aunque también se realizaron comparaciones con otros puntos temporales.

4. Resultados – Artículos publicados

Trials, 2022

JCR: Q3

SJR: Q2

Tercil 2

Contribución del doctorando:

El doctorando, Ricardo Miguel Rodrigues Gomes, participó en el diseño del estudio, la elaboración del protocolo, la redacción del manuscrito y la tramitación de las autorizaciones éticas.

Los directores y coautores colaboraron en la revisión metodológica y en la aprobación final del texto.

STUDY PROTOCOL

Open Access



Rapid chest compression effects on intracranial pressure in patients with acute cerebral injury

Ricardo Miguel Rodrigues-Gomes^{1,2*} , Joan-Daniel Martí³, Rosa Martínez Rolán¹ and Miguel Gelabert-González²

Abstract

Background: Patients with acute brain injury often require invasive mechanical ventilation, increasing the risk of developing complications such as respiratory secretions retention. Rapid chest compression is a manual chest physiotherapy technique that aims to improve clearance of secretions in these patients. However, the rapid chest compression technique has been suggested to be associated with increased intracranial pressure in patients with acute brain injury. The aim of this work is to elucidate the effects of the technique on intracranial pressure in mechanically ventilated patients with acute brain injury. Furthermore, the effects of the technique in different volumes and flows recorded by the ventilator and the relationship between the pressure applied in the intervention group and the different variables will also be studied.

Methods: Randomized clinical trial, double-blinded. Patients with acute brain injury on invasive mechanical ventilation > 48 h will be included and randomized in two groups. In the control group, a technique of passive hallux mobilization will be applied, and in the intervention group, it will be performed using the rapid chest compression technique. Intracranial pressure (main variable) will be collected with an intracranial pressure monitoring system placed at the lateral ventricles (Integra Camino).

Discussion: The safety of chest physiotherapy techniques in patients at risk of intracranial hyperpressure is still uncertain. The aim of this study is to identify if the rapid manual chest compression technique is safe in ventilated patients with acute brain injury.

Trial registration: NCT03609866. Registered on 08/01/2018.

Keywords: Chest physiotherapy, Intracranial pressure, Rapid chest compression technique

* Correspondence: ric.mr.gomes@gmail.com

¹Hospital Álvaro Cunqueiro, Vigo, Spain

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2022 **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.



Administrative information

Note: the numbers in curly brackets in this protocol refer to SPIRIT checklist item numbers. The order of the items has been modified to group similar items (see <http://www.equator-network.org/reporting-guidelines/spirit-2013-statement-defining-standard-protocol-items-for-clinical-trials/>).

Title {1}	The Rapid Chest Compression Technique effects on the Intracranial Pressure in mechanical ventilated patients with acute cerebral injury
Trial registration {2a and 2b}	NCT03609866 Chest Physiotherapy Effects on Intracranial Pressure
Protocol version {3}	December, 2020
Funding {4}	A research grant from the Colexio de Fisioterapeutas de Galicia of 1000 Euros.
Author details {5a}	Ricardo Miguel Rodrigues-Gomes, Physiotherapist, MSc. Hospital Álvaro Cunqueiro, Vigo, Spain. Universidade de Santiago de Compostela, Spain Joan-Daniel Martí, Physiotherapist, PhD, Hospital Clinic, Barcelona, Spain Rosa Martínez Rolán, MD, PhD, Hospital Álvaro Cunqueiro, Vigo, Spain Miguel Gelabert-González, MD, PhD, Universidade Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain
Name and contact information for the trial sponsor {5b}	Not applicable
Role of sponsor {5c}	Not applicable

Introduction

Background and rationale {6a}

Critically ill patients on invasive mechanical ventilation (IMV) usually develop mucus retention, increasing the risk for associated morbidity [1–5]. Endotracheal intubation and inflation of the endotracheal tube cuff are associated with a drastic decrease of mucociliary transportation (aprox. 10x) and impeded an effective cough. Additionally, the semi-sitting position at 30°, which is currently recommended by international guidelines to prevent ventilator-associated pneumonia, may further hinder mucus clearance because of the gravity force in the greater caliber airways. Also, the use of sedative and relaxing drugs may inhibit cilia motility and respiratory muscles activation which increases mucus retention. Finally, associated comorbidities and recurrent respiratory infections also play an important role in the increased production of respiratory secretions [1–5].

Respiratory physiotherapy has been proposed as a potential strategy to prevent and/or reduce the retention of secretions in critical patients connected to invasive mechanical ventilation. The scientific evidence on the effectiveness of these techniques is not clearly conclusive

and its safety has some related controversial. There are several publications that demonstrate the effectiveness of respiratory physiotherapy techniques in the mobilization of air volumes, expiratory flows, and respiratory secretions but still in an insufficient number so that clear evidence of effectiveness can be manifested in systematic review studies. Some of the respiratory physiotherapy techniques used in intensive care in ventilated patients try to modulate the ventilatory flows and improve the transport of mucus based on the double gas-liquid phase rationale. The use of these techniques is supported by laboratory evidence that mucus removal is enhanced when the expiratory flow is greater than the inspiratory flow. This is the case, for example, of the rapid chest compression technique, which aims to increase the expiratory flow and facilitate the transport of mucus to the exterior of the bronchial tree [1, 2].

In many studies, the effectiveness of the technique of rapid chest compression in the mobilization of secretions and peak expiratory flow is studied. Although in the work of Lima et al. (2008) [2] applied the thoracic compression technique, in one of its variants, to assess its effects in an animal model with atelectasis, using unilateral thoracic compression and concluding that the technique was not effective for the resolution of atelectasis with the mobilization of secretions. In a more recent work by Martí et al. (2013) [1], the technique of manual thoracic compression with different intensities was applied in pigs in IMV, and it was concluded that, with the rapid application of the technique, the secretions were mobilized outwards the bronchial tree. In this last study, controlled and randomized, the movement of respiratory secretions was studied by fluoroscopy in tracheostomized, sedated, and in IMV pigs [1, 2]. There are also studies that provide evidence of the technique of manual compression of the abdomen and chest in humans; Naue et al. (2011) [4] studied its effects associated with the increase of the support pressure to assess the amount of suctioned secretions without finding differences between groups. In 2014, the same authors published a randomized clinical trial in which they studied the increase in inspiratory pressure of 10 cmH₂O associated with the technique of manual compression of the abdomen and chest with an increase in the amount of secretions suctioned, the volume of exhaled air, and improvement in the pulmonary dynamics. In the same 2014, Guimarães et al. [3] studied the effects of rapid thoracic compression on pulmonary mechanics, amount of secretions suctioned, and peak expiratory flow, finding significant differences in peak expiratory flow in the intervention group [3–5].

Although the effects of the different variants of the rapid chest compression technique in the mobilization of secretions, pulmonary dynamics, and expiratory flow

continue to be studied, some authors devoted themselves to studying their effects in other systems and in certain pathologies in order to justify their use in specific clinical situations. This is the case of the effects of the manual rapid chest compression technique on intracranial pressure in patients with acute brain injuries. The first clinical trial on this matter was carried out by Thiesen et al. (2005) [6] where they studied the effects of some techniques of respiratory physiotherapy on intracranial pressure, among which manual thoracic compression with satisfactory results relative to the control of intracranial pressure was included; the conclusions were obtained without control group or randomization. Subsequently, Toledo et al. (2008) [7] studied the effect of vibro-compression on intracranial pressure in patients with cranio-encephalic trauma concluding that the respiratory physiotherapy maneuver did not increase intracranial pressure or cerebral perfusion pressure, this study was also performed without control group or randomization. Cerqueira-Neto et al. (2010) [8] and Cerqueira Neto et al. (2013) [9], also without a control, blind, or randomization group, studied the effects of the expiratory flow acceleration technique, one of the possible variants of the technique, in patients with traumatic brain injury, concluding that it did not significantly alter the intracranial pressure [6–9]. In a more recent study, Tomar et al. (2019) [10] in a randomized crossover trial comparing the manual chest percussion with the mechanical chest vibration concluded that the manual percussion was associated with ICP increase.

From the literature review, it can be verified that there is little scientific evidence on the safety of manual rapid chest compression in critically ill patients with acute brain injury in invasive mechanical ventilation [6–9, 11].

Patients with acute brain damage usually present respiratory complications associated with invasive mechanical ventilation and therefore could benefit from respiratory physiotherapy. However, the application of respiratory physiotherapy techniques in these patients could be associated with an increase in intracranial pressure [7–10, 12]. The maneuvers of respiratory physiotherapy can momentarily increase intrathoracic pressure, decreasing venous return and increasing intracranial pressure [6].

The intrathoracic pressure is directly related to the alveolar pressure and the manual rapid chest compression technique can increase momentarily the alveolar pressure. So, any technique that aims to increase the expiratory air flow must do it in a rapid way to avoid major intracranial pressure increases [6, 13–17].

According to the bibliography, the increase in intracranial pressure is a contraindication for the application of some techniques in patients with acute brain injury since it can cause a decrease in cerebral

perfusion pressure if it is sustained over time or if it is not accompanied of a rise in the mean arterial pressure. The lowering of cerebral perfusion pressure leads to associated damage in the control mechanisms of blood supply in areas of penumbra, which will be responsible for part of the neuroplasticity in the recovery phases of acute brain injuries, with all its implications [10, 12, 18–20].

It is important to mention that different brain lesions may have different behaviors in terms of intracranial pressure and may present higher intervention risks [18].

Cerebral lesions with a hemorrhagic component imply a more aggressive control of the mean arterial pressure and intracranial pressure and may present extreme complications with punctual rises, as these pressure rises may cause an increase in hemorrhagic lesions due to fragility. The ischemic brain lesions may have an inverse behavior since decreases in mean arterial pressure or increases in intracranial pressure can lead to decreases in the cerebral perfusion pressure and make the penumbra areas suffer [18–21].

At present, there are no randomized clinical trials that have studied the effect of the manual rapid chest compression technique alone on intracranial pressure and that try to relate its behavior with the different kinds of acute brain injuries. Therefore, we believe that it is necessary to investigate the effects of the technique with the highest possible methodological rigor and quality [10–12].

We propose this study, trying to control as many variables as possible and studying the effects of a single technique, in order to provide methodologically sound conclusions.

Objectives {7}

Main hypothesis

H0—The rapid chest compression technique does not produce a change in intracranial pressure in patients on invasive mechanical ventilation with severe acute brain injury.

H1—The rapid chest compression technique produces changes in intracranial pressure in patients on invasive mechanical ventilation with severe acute brain injury.

Objectives

Primary objective To determine the effects of the rapid chest compression technique on intracranial pressure in patients on invasive mechanical ventilation with severe acute brain injury.

Secondary objectives Establish a relationship between the type of brain injury and the behavior of intracranial pressure.

Establish a relationship between peak expiratory flow and behavior of intracranial pressure.

Establish a relationship between the pressure applied in the studied technique and the changes in the other dependent variables.

Trial design {8}

Randomized controlled trial, double-blinded with a control group and intervention group.

Methods: Participants, interventions, and outcomes

Study setting {9}

The study protocol will be applied in the intensive care unit of the Hospital Álvaro Cunqueiro, a tertiary hospital in the southwest of Galicia; Spain.

Eligibility criteria {10}

Inclusion criteria:

- Intubated patients with mechanical ventilation in Volume Controlled, Pressure Controlled and Volume Controlled Pressure Regulated modes during the 48 h prior to the application of the technique
- Severe head injury with a GCS \leq 8 before sedation or after the surgical procedures, when needed.
- Hemodynamic stability (MAP $>$ 65 mmHg)
- Respiratory stability (PEEP $<$ 10cmH₂O and FiO₂ $<$ 60%)
- Intracranial Pressure Stability (0 $<$ ICP $<$ 20 mmHg)
- RASS sedation scale of - 5 points
- Informed consent obtained

Exclusion criteria

- Thoracic fractures: unstable rib, sternal, clavicular, scapular, or vertebral
- Abdominal injuries that prevent the application of local manual compression
- Systemic or local changes that occur with increased abdominal volume
- Fractures or conditions in the lower right limb that contraindicate passive mobilization of first metatarsophalangeal joint

Who will take informed consent? {26a}

This study has been approved by the Comité de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense (ethics board of the Galician public health system) with the registration number 2018/446. The informed consent will be given, if they agree, by the next of kin, to whom will be given written information about the participation in the trial. The relatives will be informed that they can

withdraw their consent at any time and that they can claim to the Spanish Agency of Data Protection if their rights are not being fulfilled. As severe acute brain injuries have a relatively slow evolution, we do not foresee the patient's consent.

Additional consent provisions for collection and use of participant data and biological specimens {26b}

The consent document offers two options: (1) to erase the data after completion of the study or (2) to allow this data to be kept in an anonymized form for future studies.

Interventions

Explanation for the choice of comparators {6b}

The used comparator, passive first metatarsophalangeal joint mobilization, allows us to apply a technique that usually patients at this condition receive and that has no known effect in the intracranial pressure.

Intervention description {11a}

Intervention group: the application of the technique will be carried out in a single moment and will be applied with the patient in supine decubitus with 30° elevation of head and trunk, the rapid chest compression technique will be applied once in the expiratory time of each 3 respiratory cycles during 5 min by a physiotherapist. Safety monitoring of heart rate, blood pressure, intracranial pressure, peripheral oxygen saturation, and cerebral perfusion pressure will be performed by the clinical team and the principal investigator. The intervention will stop if reached some of the safety values presented below or when the clinical team considers.

Control group: the technique will be performed in a single moment and will be applied with the patient in supine decubitus with 30° elevation of head and trunk. The passive mobilization technique of the right first metatarsophalangeal joint will be applied to the available range of flexion-extension, performing 15 repetitions per minute and for 5 min by a physiotherapist. Safety monitoring of heart rate, blood pressure, intracranial pressure, peripheral oxygen saturation, and cerebral perfusion pressure will be performed by the clinical team and the principal investigator. The intervention will stop if reached some of the safety values presented below or when the clinical team considers.

Criteria for discontinuing or modifying allocated interventions {11b}

The interventions will stop if reached some of the safety values presented below or when the clinical team considers [11, 22, 23].

Safety limits40 bpm < **Heart rate** < 120 bpm60 mmHg < **Mean arterial pressure** < 110 mmHg– 10 mmHg < **Intracranial pressure** < 30 mmHg90% < **Oxygen saturation**50 mmHg < **Cerebral perfusion pressure**

The rescue plan is the usual at our ICU to manage the pathological increases in the ICP: open drainage if exists, increase sedation, apply relaxation medicines and hypertonic solution, this in a step-by-step approach.

Outcomes {12}

The data about patient's clinical situation and demographics will be collected directly from the clinical history. The main and secondary outcomes will be collected as described below:

Intracranial pressure

The intracranial pressure (mmHg) data will be recorded 1 h prior to the intervention, due to the change in mechanical ventilation mode, 30 min prior, 5 min prior, at the beginning of the intervention and every minute since the beginning, 5 and 30 min since the end with the continuous intracranial pressure monitoring system from Integra® Camino®.

Oxygen saturation, heart rate, and cerebral perfusion pressure

The data from the 3 outcomes will be recorded from the Philips IntelliVue with the time chart as exposed in Fig. 1.

Expiratory and Inspiratory peak flow

Data will be collected in 30 s periods at T–60 m, T–5 m, at the beginning and every minute, T+ 5 m, and T+ 30 m; all expiratory peak flows will be checked and the best will be recorded from every 30 s sequence. Maquet Servo U and I, Hamilton C5 ventilators will be used.

Applied pressure

In order to assure that the technique is performed consistently, the chest compression pressure made by the Physiotherapist will be monitored and data recorded during the procedure application time. The Tekscan ComfortMat 1 will be the device used to measure and record the pressure values (g/cm²).

Blood O₂ and CO₂

Recent studies identify a tight control in the lower limits of blood CO₂ partial pressure as a protective factor in case of brain injury, because high CO₂ levels induce

arterial vasodilatation as shown in laboratory studies. We will perform arterial blood gas 5 min prior to and at the end of the technique application.

CT scan

We will use the images acquired and interpretation made by Radiologists to identify the type and location of the injury.

Participant timeline {13}

The participant timeline is shown in Fig. 1.

Sample size {14}

To obtain the sample size needed for this study we worked with the software Ene 3.0 and based the estimations on the changes in intracranial pressure with the techniques performed in the study by Thiesen et al. (2005), in which the mean of baseline measures (equivalent to the control group) was 6.9 mmHg, mean in the experimental group was 7.2 mmHg 30 mins post-physiotherapy and joint standard deviation was 2.0 mmHg in patients with ICP 0–10 mm and the mean of baseline measures (equivalent to the control group) was 13.7 mmHg, mean in the experimental group was 12.7 mmHg 30 mins post-physiotherapy and joint standard deviation was 2.5 mmHg in patients with ICP 10–20 mmHg.

With a power of 80% and to detect that the difference of means is equal to the equivalence limit by means of a *T*-Student test for two independent samples, assuming that the equivalence limit is 2.0 mmHg and a level of confidence of 95%, we obtained a sample size of 25 patients in each group: control and experimental. The total number is 50 subjects for this RCT.

Recruitment {15}

The participants included in this study will be selected from the admitted patients with severe acute brain injury, ICP monitoring, and IMV in the ICU of the Hospital Álvaro Cunqueiro, Galicia, Spain. The number of patients that we had at our ICU with severe acute brain injury in 2019 was about 80. The selected patients must meet the following inclusion criteria: patients intubated with mechanical ventilation in controlled volume mode, controlled pressure and controlled volume controlled by pressure during the 48 h prior to the application of the technique; hemodynamic stability (MAP > 65 mmHg); respiratory stability (PEEP < 10 cmH₂O and FiO₂ < 60%); stability of intracranial pressure (0 < ICP < 20 mmHg); RASS sedation scale of 5 points; and informed consent obtained (Annex 1). Patients meeting any of the exclusion criteria will not be enrolled: thoracic fractures: costal, sternal, clavicular, scapular or unstable vertebral; abdominal injuries that

TIMEPOINT**	STUDY PERIOD								
	Enrolment	Allocation	Post-allocation						Close-out
	$-t_1$	0	T_{start} -5m	T	T_{end}	T_{end} +5m	T_{end} +30m	$T_{-0.5s}$ and T	t_x
ENROLMENT:									
Eligibility screen	X								
Informed consent	X								
[List other procedures]	X								
Allocation		X							
INTERVENTIONS:									
[Passive MTTPh Joint Mobilization]				X					
[Rapid Chest Compression Technique]				X					
[List other study groups]									
ASSESSMENTS:									
[Age, Gender, Type of brain injury, surgical procedures]	X	X							
IMV mode and parameters		X							
[ICP, Oxygen saturation, HR, CPP, MAP]			X	X	X	X	X		X
[Expiratory Peak Flow]								X	X
[Blood CO ₂ , O ₂ , PH]			X		X				

Fig. 1 SPIRIT (Standard Protocol Items: Recommendations for Interventional Trials) table of enrollment, intervention, and assessments. *Recommended content can be displayed using various schematic formats. See SPIRIT 2013 Explanation and Elaboration for examples from protocols. **List specific timepoints in this row

prevent the application of local manual compression; systemic or local changes that occur with abdominal volume increase; and fractures or conditions in the lower right limb that contraindicate the performance of passive mobilization of the 1st metatarsophalangeal joint.

Assignment of interventions: allocation

Sequence generation {16a}

The allocation sequence was generated at the GraphPad QuickCalcs page (<https://www.graphpad.com/quickcalcs/randomize2/>) with no repetition and 50 subjects with allocation in 2 groups.

Implementation {16c}

The allocation sequence generated as described in 16a will be applied after the acceptance and informed



consent signing. Once accepted to be part of the study, the PI will enroll and assign the subjects according to the sequence generated at GraphPad.

Assignment of interventions: blinding

Who will be blinded {17a}

Patients will be blinded, as they are sedated.

Data analysts will be blinded as the data package will be given at the end of the data collection with no reference to the main variable.

Procedure for unblinding if needed {17b}

The need of unblinding is not permissible and if for any circumstantial reason it happens, the subject will be erased from the database and not included in this study. Another subject will be enrolled in the same group of allocation.

Data collection and management

Data management {19}

Data will be kept and anonymized by the principal investigator.

Confidentiality {27}

The principal investigator will be the only person that will manage the subject's identification information. All other persons will manage limited and anonymized information.

Statistical methods

Statistical methods for primary and secondary outcomes {20a}

A descriptive analysis of the collected values of the variables under study will be carried out, studying the measures of central tendency. Normal distributions will show mean and standard deviation and median and interquartile range in case of non-observation of normal distribution. The normality of the samples will be verified with the Kolmogorov-Smirnov test.

The verification of the hypothesis under study will be assessed using Student's *T* test for independent samples in case of normality of the sample and by the *U* Mann-Whitney test otherwise.

A multiple linear regression analysis will be performed: considering as a dependent variable the intracranial pressure differences, difference or gain of expiratory flow and between the covariates, the type of technique, the pressure applied in the technique under study, the type of brain injury, blood gases changes, age, and sex.

Interim analyses {21b}

Oversight and monitoring

Composition of the data monitoring committee, its role and reporting structure {21a}

DMC will not be needed due to the clinical nature of all the data.

Plans for communicating important protocol amendments to relevant parties (e.g., trial participants, ethical committees) {25}

Protocol changes will be communicated to the Ethics Committee of Galicia and data updated at the Clinical Trials page.

Dissemination plans {31a}

The study results and conclusions are intended to be published in 1st quartile physical therapy journals or intensive care journals.

As this is a clinical issue that should be known because it's relevant to patients and professionals, we intend to publish it in international journals of intensive care and physiotherapy (Tables 1 and 2).

Discussion

Nowadays, the chest physiotherapy techniques are applied with several restrictions because of their effect in the intracranial pressure values, at least as referred to in several publications [5–12].

The main problem that we observe in almost every publication about the chest physiotherapy techniques in acute cerebral injured patients is that they usually include a protocol that has secretion suction at the end without separation of the effects. It's known that the suction has clear reflex effects that increase the ICP and MAP even when patients are sedated, as shown in a recent study from Singh et al. (2018) [12] where they studied different drug effects on intracranial pressure, applying chest percussion and suctioning.

We believe, for our clinical experience and some publications that when adequately applied, rapid chest compression is safe and patients can benefit from its use, because invasive mechanical ventilation increases

Table 1 Intensive care journals - 2018 Journal Impact Factor, Journal Citation Reports Science Edition (Clarivate Analytics, 2018)

Intensive care	
<i>American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine</i>	IF: 16,494 1st Q
<i>Chest</i>	IF: 9,657 1st Q
<i>Intensive Care Medicine</i>	IF: 18,967 1st

Table 2 Physiotherapy journals - 2018 Journal Impact Factor, Journal Citation Reports Science Edition (Clarivate Analytics, 2018)

Physiotherapy	
<i>Neurorehabilitation and Neural Repair</i>	IF: 3,757 1st Q
<i>Journal of Physiotherapy</i>	IF: 5,551 1st Q
<i>Physical Therapy</i>	IF: 3,043 1st Q

the risk of respiratory complications, making the management of acute cerebral injuries more complex and its influence is unknown on the outcomes [1–5, 10, 12].

In our trial, we intend to control the larger number of possible interactions to avoid results that can be affected by collateral techniques.

Trial status

We will start the recruitment in January 2021, and we expect to end approximately in 1 year, because of the COVID-19 impact.

Abbreviations

IMV: Invasive mechanical ventilation; MAP: Mean arterial pressure; PEEP: Positive end-expiratory pressure; FiO₂: Inspired oxygen fraction; RASS: Richmond agitation and sedation scale; CT scan: Computerized tomography scan; MTTPH: Metatarsophalangeal; ICP: Intracranial pressure; HR: Heart rate; CPP: Cerebral perfusion pressure; PI: Principal investigator; DMC: Data Management Committee; IF: Impact factor; Q: Quartile

Acknowledgements

Not applicable

Authors' contributions {31b}

Ricardo Miguel Rodrigues-Gomes is the principal investigator; he developed and wrote the protocol. Joan-Daniel Martí helped with the development, made corrections, and optimized the protocol. Rosa Martínez Rolán made corrections and optimized the protocol. Miguel Gelabert-González supervised the protocol development. The authors read and approved the final manuscript.

Funding {4}

The statistical support was given by the Instituto de Investigación Biomédica Galicia Sur.

Availability of data and materials {29}

All protocol data will be available to other investigators or health authorities.

Declarations

Ethics approval and consent to participate {24}

This study has been approved by the Comité de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense (ethics board of the Galician public health system) with the registration number 2018/446. The informed consent will be given, if they agree, by the next of kin, to whom will be given written information about the participation in the trial. The relatives will be informed that they can withdraw their consent at any time and that they can claim to the Spanish Agency of Data Protection if their rights are not being fulfilled. As severe acute brain injuries have a relatively slow evolution, we do not foresee the patient's consent.

Consent for publication {32}

Not applicable

Competing interests {28}

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹Hospital Álvaro Cunqueiro, Vigo, Spain. ²Universidade Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain. ³Hospital Clinic, Barcelona, Spain.

Received: 10 April 2021 Accepted: 20 March 2022

Published online: 15 April 2022

References

- Martí JD, Bassi GL, Rigol M, Saucedo L, Ranzani OT, Esperatti M, et al. Effects of manual rib cage compressions on expiratory flow and mucus clearance during mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 2013;41:850–6.
- Lima JG, Reis LF, Moura FM, Senza CP, Walchan EM, Bergmann A. Manual chest compression in experimental model of atelectasis in rats Wistar. *Fisioter Mov*. 2008;21(3):77–82.
- Guimaraes FS, Lopes AJ, Constantino SS, Lima JC, Canuto P, de Menezes SL. Expiratory rib cage Compression in mechanically ventilated subjects: a randomized crossover trial [corrected]. *Respir Care*. 2014;59(5):678–85.
- Naue WS, Silva ACT, Guntzel AM, Condessa RL, Olivera RP, Vieira SR. Increasing pressure support does not enhance secretion clearance if applied during manual chest wall vibration in intubated patients: a randomised trial. *J Physiother*. 2011;57(1):21–6.
- Naue WS, Junior LAF, Dias AS, Vieira SRR. Chest compression with a higher level of pressure support ventilation: Effects on secretion removal, hemodynamics, and respiratory mechanics in patients on mechanical ventilation. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 2014;40(1):55–60.
- Thiesen RA, Dragosavac D, Roquejani AC, Falcao AL, Araujo S, Dantas Filho VP, et al. Influence of the respiratory physiotherapy on intracranial pressure in severe head trauma patients. *Arq Neuropsiquiatr*. 2005;63(1):110–3.
- Toledo C, Garrido C, Troncoso E, Lobo SM. Effects of respiratory physiotherapy on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in severe traumatic brain injury patients. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2008;20(4):339–43.
- Cerqueira-Neto ML, Moura AV, Scola RH, Aquim EE, Rea-Neto A, Oliveira MC, et al. The effect of breath physiotherapeutic maneuvers on cerebral hemodynamics: a clinical trial. *Arq Neuropsiquiatr*. 2010 Aug;68(4):567–72.
- Cerqueira Neto ML, Moura AV, Cerqueira TC, Aquim EE, Rea-Neto A, Oliveira MC, et al. Acute effects of physiotherapeutic respiratory maneuvers in critically ill patients with craniocerebral trauma. *Clinics (Sao Paulo)*. 2013; 68(9):1210–4.
- Tomar GS, Singh GP, Bithal P, Upadhyay AD, Chaturvedi A. Comparison of Effects of Manual and Mechanical Airway Clearance Techniques on Intracranial Pressure in Patients With Severe Traumatic Brain Injury on a Ventilator: Randomized, Crossover. *Trial Phys Ther*. 2019;99(4):388–95.
- Ferreira LL, Valenti VE, Vanderlei LCM. Fisioterapia respiratoria na pressao intracraniana de pacientes graves internados em unidade de terapia intensiva: revisao sistematica (Chest physiotherapy on intracranial pressure of critically ill patients admitted to the intensive care unit: a systematic review) Portuguese. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*. 2013;25(4):327–33.
- Singh S, Chouhan RS, Bindra A. Comparison of effect of dexmedetomidine and lidocaine on intracranial and systemic hemodynamic response to chest physiotherapy and tracheal suctioning in patients with severe traumatic brain injury. *J Anesth*. 2018;32:518–23.
- Van Peppen RP, Kwakkel G, Wood-Dauphinee S, Hendriks HJ, Van der Wees PJ, Dekker J. The impact of physical therapy on functional outcomes after stroke: what's the evidence? *Clin Rehabil*. 2004;18(8):833–62.
- Alison MB. Physiological effects of vibration in subjects with cystic fibrosis. *Eur Respir J*. 2006;27(6):1204–9.
- Cardini NA. Effectiveness of treatment with high-frequency chest wall oscillation in patients with bronchiectasis. *BMC Pulmo Med*. 2013;13:21.
- Ferreira LL, Valenti VE, Vanderlei LC. Chest physiotherapy on intracranial pressure of critically ill patients admitted to the intensive care unit: a systematic review. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2013;25(4):327–33.

17. Lanza FC, Gazzotti MR, Augusto LA, Mendes LMS, de Paula C, Sole D. Oscilacao oral de alta frecuencia reduz a obstrucao das vias aereas em crianças com pneumonia? (Flutter can improve lung obstruction in children with pneumonia?) Portuguese. *Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia*. 2009;32(2):59–62.
18. Badenes R, Bilotta F. Neurocritical care for intracranial haemorrhage: a systematic review of recent studies. *Br J Anaesth*. 2015;115(Suppl 2):i68–74.
19. Roh D, Park S. Brain Multimodality Monitoring: Updated Perspectives. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2016;16(6):56–016-0659-0.
20. Suarez JL. Diagnosis and Management of Subarachnoid Hemorrhage. *Continuum (Minneapolis)*. 2015;21(5 Neurocritical Care):1263–87.
21. Van Der Jagt M. Fluid management of the neurological patient: a concise review. *Crit Care*. 2016;20(1):126–016-1309-2.
22. Sommers J, Engelbert RH, Dettling-Ihnenfeldt D, Gosselink R, Spronk PE, Nollet F, et al. Physiotherapy in the intensive care unit: an evidence-based, expert driven, practical statement and rehabilitation recommendations. *Clin Rehabil*. 2015;29(11):1051–63.
23. Conceição TMAD, Gonzales AI, Figueiredo FCXS, Vieira DSR, Bündchen DC. Safety criteria to start early mobilization in intensive care units. Systematic review. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2017;29(4):509–19.
24. Barros GF, Santos CS, Granado FB, Costa PT, Limaco RP, Gardenghi G. Respiratory muscle training in patients submitted to coronary arterial bypass graft. *Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular Brazilian J Cardiovasc Surg*. 2010;25(4):483–90.
25. Denehy BS. Head-down tilt and manual hyperinflation enhance sputum clearance in patients who are intubated and ventilated. *Aust J Physiother*. 2004;50(1):9–14.
26. Esquerre-Gonzales A, Ilagan-Honorio M, Kehoe P, Fraschilla S, Lee AJ, Madsen A, et al. Effect of high-frequency chest wall oscillation versus chest physiotherapy on lung function after lung transplant. *Appl Nurs Res*. 2014; 27(1):59–66.
27. Jenkins PS. Physiotherapy does not prevent, or hasten recovery from, ventilator-associated pneumonia in patients with acquired brain injury. *Intens Care Med*. 2009;35(2):258–65.
28. Jones HE. What is the role of the physiotherapist in paediatric intensive care units? A systematic review of the evidence for respiratory and rehabilitation interventions for mechanically ventilated patients. *Physiotherapy*. 2015; 101(4):303–9.
29. Klein O, Demoulin B, Jean Aque RT, Audibert G, Sainte-Rose C, Marchal JC, et al. Cerebrospinal fluid outflow and intracranial pressure in hydrocephalic patients with external ventricular drainage. *Acta Neurol Scand*. 2010;122(2): 140–7.
30. Kulnik ST, Rafferty GF, Birring SS, Moxham J, Kalra L. A pilot study of respiratory muscle training to improve cough effectiveness and reduce the incidence of pneumonia in acute stroke: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2014;15:123.
31. Niewiadomski W, Pilis W, Laskowska D, Gasiorowska A, Cybulski G, Strasz A. Effects of a brief Valsalva manoeuvre on hemodynamic response to strength exercises. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2012;32(2):145–57.
32. Olkowski BF, Devine MA, Slotnick LE, Veznedaroglu E, Liebman KM, Arcaro ML, et al. Safety and feasibility of an early mobilization program for patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Phys Ther*. 2013;93(2):208–15.
33. Olson DM, Thoyre SM, Turner DA, Bennett S, Graffagnino C. Changes in intracranial pressure associated with chest physiotherapy. *Neurocrit Care*. 2007;6(2):100–3.
34. Patman S, Jenkins S, Stiller K. Physiotherapy does not prevent, or hasten recovery from, ventilator-associated pneumonia in patients with acquired brain injury. *Intens Care Med*. 2009;35(2):258–65.
35. Ross CM. Cough augmentation with mechanical insufflation/exsufflation in patients with neuromuscular weakness. *Eur Respir J*. 2003;21(3):502–8.
36. Zimmerman GA, Lipow KI. Pneumocephalus with neurological deficit from hydrogen peroxide irrigation. Case illustration. *J Neurosurg*. 2004;100(6): 1122.
37. Balsera BC, Sánchez LM, Gómez OG, Moyano NG, Cabra PD, López RG. Descripción de un protocolo de fisioterapia respiratoria a pacientes sometidos a cirugía abdominal alta. *Revista de Fisioterapia*. 2013;12(2):45–52.
38. Santacruz HKH, Moreno CL, Torres AS, Paula LAA. Intervención en la fuerza de resistencia de los músculos respiratorios en pacientes adultos en la unidad de cuidado intensivo. *Movimiento Científico*. 2015;9(2):47–60.
39. Dios JG, Sangrador CO. Estudio de variabilidad en el abordaje de la bronquiolitis aguda en España en relación con la edad de los pacientes. *Anales de Pediatría*. 2010;72(1):4–18.
40. ACIS: Agencia de Conhecimento em Saúde [Internet]. Santiago de Compostela: ACIS; [citado 25 July 2016]. Modelo de consentimiento informado. Disponible en: <http://acis.sergas.es/Paxinas/web.aspx?tipo=busca&k=consentimento>.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions



Fisioterapia, 2024

JCR: no

SJR: Q4

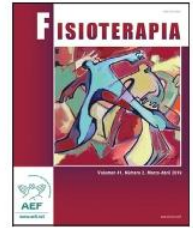
Tercil 3

Contribución del doctorando:

El doctorando, Ricardo Miguel Rodrigues Gomes, aplicó la técnica y el protocolo en el caso clínico, recogió los datos, consentimiento informado y redactó el manuscrito.



Los directores y coautores colaboraron en la revisión del texto y en la aprobación final del manuscrito.



ESTUDIO DE CASOS

Efectos de la compresión torácica rápida en la presión intracraneal en paciente con hemorragia subaracnoidea: caso clínico



R.M. Rodrigues-Gomes^{a,*}, R. Martínez Rolán^b y M. Gelabert-González^c

^a Hospital Álvaro Cunqueiro, Vigo. Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España

^b Hospital Álvaro Cunqueiro, Vigo, España

^c Centro Hospitalario Universitario de Santiago de Compostela, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España

Recibido el 27 de noviembre de 2023; aceptado el 24 de enero de 2024

Disponible en Internet el 24 de febrero de 2024

PALABRAS CLAVE

Fisioterapia respiratoria;
Hemorragia subaracnoidea;
Compresión rápida torácica;
Cuidados intensivos;
Caso clínico

Resumen

Introducción: Los pacientes ventilados pueden sufrir retención de secreciones respiratorias y la fisioterapia respiratoria es una herramienta para su manejo. Las lesiones agudas cerebrales suelen contraindicar la aplicación de estas técnicas por el potencial aumento de la presión intracraneal.

Métodos: Aplicamos compresión torácica rápida en una paciente con hemorragia subaracnoidea ventilada durante 48 h. Registramos constantes y flujos ventilatorios para verificar la seguridad y efectividad de la técnica. Se retiraron gases arteriales para poder controlar variables.

Resultados: La aplicación de la técnica no supuso un aumento inmediato o tardío de la presión intracraneal, permitiendo mejoría de la presión parcial de oxígeno en sangre. Se pudo verificar la correcta ejecución de la técnica por el diferencial de flujos.

Conclusión: La técnica de compresión rápida torácica fue segura en esta paciente con mejoría de parámetros gasométricos.

© 2024 Asociación Española de Fisioterapeutas. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Physiotherapy speciality;
Subarachnoid hemorrhage;
Respiratory therapy;
Intensive care;
Case report

Effects of rapid chest compression on intracranial pressure in a patient with subarachnoid hemorrhage: Case report

Abstract

Introduction: Ventilated patients may experience respiratory secretion retention, and respiratory physiotherapy is a tool for its management. Acute brain injuries often contraindicate the application of these techniques due to the potential increase in intracranial pressure.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: ricardomiguel.rodriques@rai.usc.es (R.M. Rodrigues-Gomes).

<https://doi.org/10.1016/j.ft.2024.01.004>

0211-5638/© 2024 Asociación Española de Fisioterapeutas. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Methods: We applied rapid chest compression to a patient with subarachnoid hemorrhage ventilated for 48 hours. We recorded vital signs and ventilatory flows to verify the safety and effectiveness of the technique. Arterial gases were extracted to monitor variables.

Results: The application of the technique did not result in an immediate or delayed increase in intracranial pressure, allowing improvement in blood oxygen partial pressure. The correct execution of the technique was confirmed by the flow differential.

Conclusion: Rapid chest compression was safe in this patient with improvement in gasometric parameters.

© 2024 Asociación Española de Fisioterapeutas. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Puntos clave

- La compresión rápida torácica pudo aplicarse en paciente con HSA de forma segura.
- La PIC no sufrió cambios significativos y la PaO₂ mejoró.

Introducción

Los pacientes críticos en ventilación mecánica invasiva (VMI) suelen desarrollar retención de moco, aumentando el riesgo de morbilidad asociada¹⁻⁵. La intubación endotraqueal y el neumotaponamiento se asocian con una disminución drástica del transporte mucociliar e impiden una tos efectiva. Además, la posición semisentada a 30°, actualmente recomendada por las pautas internacionales para prevenir la neumonía asociada a ventilación, puede dificultar aún más la eliminación del moco debido a la fuerza de gravedad en las vías respiratorias de mayor calibre. También el uso de fármacos sedantes y relajantes puede inhibir la motilidad ciliar y la activación de los músculos respiratorios, lo que aumenta la retención de moco.

En muchos estudios, se investiga la efectividad de la técnica de compresión torácica rápida en la movilización de secreciones y el flujo espiratorio máximo. Aunque los efectos de las diferentes variantes de la técnica de compresión torácica rápida en la movilización de secreciones, la dinámica pulmonar y el flujo espiratorio siguen siendo estudiados, la seguridad en enfermedades críticas debe de ser abordada de cara a justificar su uso en situaciones clínicas específicas. Este es el caso de los efectos de la técnica manual de compresión torácica rápida sobre la presión intracraneal en pacientes con lesiones cerebrales agudas.

El primer ensayo clínico sobre este tema fue realizado por Thiesen et al. (2005)⁶, donde se estudiaron los efectos de algunas técnicas de fisioterapia respiratoria sobre la presión intracraneal, incluyendo la compresión torácica manual, con resultados satisfactorios con relación al control de la

presión intracraneal, aunque las conclusiones se obtuvieron sin grupo de control ni aleatorización. Posteriormente, Toledo et al. (2008)⁷ estudiaron el efecto de la vibrocompresión sobre la presión intracraneal en pacientes con trauma craneoencefálico, concluyendo que la maniobra de fisioterapia respiratoria no aumentó la presión intracraneal ni la presión de perfusión cerebral, aunque este estudio también se realizó sin grupo de control ni aleatorización. Cerqueira-Neto et al. (2010)⁸ y Cerqueira Neto et al. (2013)⁹, también sin un grupo de control, ciego o aleatorizado, estudiaron los efectos de la técnica de aceleración del flujo espiratorio, una de las posibles variantes de la técnica, en pacientes con traumatismo craneoencefálico, concluyendo que no alteró significativamente la presión intracraneal⁶⁻⁹. En un estudio más reciente de Tomar et al. (2019)¹⁰, en un ensayo cruzado aleatorizado comparando la percusión manual en el tórax con la vibración mecánica en el tórax, se concluyó que la percusión manual se asoció con un aumento de la presión intracraneal.

De la revisión de la literatura se puede verificar que hay poca evidencia científica sobre la seguridad de la compresión torácica rápida manual en pacientes críticos con lesiones cerebrales agudas en VMI⁶⁻¹¹.

Los pacientes con daño cerebral agudo suelen presentar complicaciones respiratorias asociadas con la VMI y, por lo tanto, podrían beneficiarse de la fisioterapia respiratoria. Sin embargo, la aplicación de técnicas de fisioterapia respiratoria en estos pacientes podría estar asociada con un aumento en la presión intracraneal⁷⁻¹⁰. Las maniobras de fisioterapia respiratoria pueden aumentar momentáneamente la presión intratorácica, disminuyendo el retorno venoso y aumentando la presión intracraneal⁶.

Según la bibliografía, el aumento de la presión intracraneal es una contraindicación para la aplicación de algunas técnicas en pacientes con lesiones cerebrales agudas, ya que puede causar una disminución de la presión de perfusión cerebral si se mantiene en el tiempo o si no se acompaña de un aumento en la presión arterial media. La disminución de la presión de perfusión cerebral conduce a daños asociados en los mecanismos de control del suministro sanguíneo en áreas de penumbra, que serán responsables de parte de la neuroplasticidad en las fases de recuperación de las lesiones cerebrales agudas, con todas sus implicaciones¹⁰⁻¹⁴.

Tabla 1 Constantes vitales de presión, saturación y diferencial de flujos

Constantes	5 min antes	Inicio	1.º min	2.º min	3.º min	4.º min	5.º min	5 min después	30 min después
PAM	91	92	92	91	90	91	91	88	92
PIC	10	10	11	10	10	11	10	10	10
PPC	81	82	82	81	80	81	81	78	82
Saturación	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Diferencial PEF-PIF (l/m)	6	-50	-36	-56	-59	-36	-38	5	6

PAM: presión arterial media; PIC: presión intracraneal; PPC: presión de perfusión cerebral; PEF-PIF: pico flujo espiratorio-pico flujo inspiratorio.

Material y métodos

Paciente con hemorragia subaracnoidea aneurismática (Fisher IV) que presenta aneurisma de gran tamaño en segmento M1 de la arteria cerebral media (ACM) izquierda con lobulación en su porción posterior (probablemente responsable de sangrado) y aneurisma irregular en la bifurcación de la arteria cerebral media derecha. Se le realiza un pinzamiento del aneurisma de la ACM izquierda con complicación de isquemia en relación con clip en territorio de esta, afectando a ganglios basales y área cortico-subcortical frontotemporal, con necesidad de craneotomía descompresiva izquierda para el manejo de la presión intracraneal.

Conexión a ventilación mecánica en modo volumen controlado, sedoanalgesia con midazolam y fentanilo, y monitorizada la presión intracraneal (PIC) con sensor ventricular.

Se solicita valoración e intervención de fisioterapia precoz, a las 48 h.

En conjunto con el equipo médico se decide aplicar fisioterapia motora y fisioterapia respiratoria, aunque la indicación de esta última podría estar limitada por la severidad de la lesión y por el riesgo de hiper-PIC.

A las 48 h, se aplicó una de las técnicas de fisioterapia respiratoria descritas por Volpe et al. (2020)¹⁵, para pacientes en VMI: la compresión torácica rápida. Solo se aplicó una de las técnicas por el riesgo de contaminación de conclusiones erróneas sobre la PIC.

La técnica se aplicó con el ventilador en volumen controlado, con volumen de 400 ml, flujo constante, frecuencia respiratoria de 14, PEEP de 10 cmH₂O y fracción de oxígeno del 45%.

Se aplicó compresión rápida espiratoria durante 5 min con una frecuencia de uno de cada 3 ciclos respiratorios, para evitar desreclutamiento y ventilación en volumen de reserva espiratorio.

Se hizo el registro de los picos de flujo espiratorios (PEF) e inspiratorios (PIF) del ventilador para valorar la efectividad de la técnica de compresión rápida torácica.

Se retiró una gasometría 5 min antes y una al acabar la aplicación de la técnica y recogieron los datos de presión arterial media, PIC, presión de perfusión cerebral y saturación, cuyos datos aportamos en el apartado resultados.

Al ser un paciente sedoanalgesiado, se obtuvo el consentimiento informado por el familiar más cercano, según el modelo del ACIS/Comité de Ética de Galicia.

Tabla 2 Valores de gasometría pre y postécnica

	5 min antes	5.º min
pH	7,41	7,41
PaO ₂	82	107
PaCO ₂	41	41

PaCO₂: presión parcial de dióxido de carbono arterial; PaO₂: presión parcial de oxígeno arterial; pH: escala de pH.

Resultados

La PIC se recogió 1 h antes y 30 min antes, siendo su valor 11 mmHg y 10 mmHg, respectivamente.

De los resultados presentados en la [tabla 1](#) se puede observar que la PIC se mantuvo estable, nunca saliendo de los rangos de normalidad.

Discusión

La presión intracraneal, variable más importante y que podría contraindicar la aplicación de la técnica de compresión rápida torácica, pudimos observar que no sufrió una alteración importante que forzara su salida de rangos de normalidad.

La PaCO₂, variable que podría influir en la PIC al ser el CO₂ un vasodilatador cerebral, verificamos que no se alteró, manteniendo 41 mmHg. Esto es importante porque si se verificara su lavado, podría ayudar a mantener la PIC en rango y así enmascarar subidas de PIC con la aplicación de la técnica.

Verificamos también que el diferencial PEF-PIF presentó valores superiores a 33 l/m referido en la bibliografía como necesario para obtener la movilización de secreciones hacia fuera del árbol bronquial.

Aunque no esperado y tal como se puede observar en la [tabla 2](#), la PaO₂ subió 25 mmHg, lo que podría indicar también la técnica para situaciones en que exista compromiso gasométrico.

Conclusión

Los datos recogidos en esta situación clínica, que normalmente contraindica la fisioterapia respiratoria, permiten abrir la perspectiva al uso de la compresión torácica rápida en este tipo de pacientes. La técnica fue segura y la VMI permite la monitorización de su efectividad.

Financiación

Este estudio no recibió financiación externa.

Consentimiento del paciente

Los autores declaran que, al ser un paciente sedoanalge-siado, obtuvieron el consentimiento informado por el familiar más cercano, según el modelo del ACIS/Comité de Ética de Galicia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses. RR escribió, aplicó el protocolo y escribió este manuscrito. RM y MG revisaron el manuscrito.

Bibliografía

- Martí JD, Bassi GL, Rigol M, Saucedo L, Ranzani OT, Esperatti M, et al. Effects of manual rib cage compressions on expiratory flow and mucus clearance during mechanical ventilation. *Critical Care Medicine*. 2013;41:850–6.
- Lima JG, Reis LF, Moura FM, Senza CP, Walchan EM, Bergmann A. Manual chest compression in experimental model of atelectasis in rats Wistar. *Fisioter Mov*. 2008;21:77–82.
- Guimaraes FS, Lopes AJ, Constantino SS, Lima JC, Canuto P, de Menezes SL. Expiratory rib cage. Compression in mechanically ventilated subjects: A randomized crossover trial [corrected]. *Respir Care*. 2014;59:678–85.
- Naue WS, Silva ACT, Guntzel AM, Condessa RL, Oliveira RP, Vieira SR. Increasing pressure support does not enhance secretion clearance if applied during manual chest wall vibration in intubated patients: A randomized trial. *J Physiother* 2011. 2011;57:21–6, [http://dx.doi.org/10.1016/S1836-9553\(11\)70003-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1836-9553(11)70003-0).
- Naue WS, junior LAF, Dias AS, Vieira SRR. Chest compression with a higher level of pressure support ventilation: Effects on secretion removal, hemodynamics, and respiratory mechanics in patients on mechanical ventilation. *J Bras Pneumol*. 2014;40:55–60, <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37132014000100008>.
- Thiesen RA, Dragosavac D, Roquejani AC, Falcao AL, Araujo S, Dantas Filho VP, et al. Influence of the respiratory physiotherapy on intracranial pressure in severe head trauma patients. *Arq Neuropsiquiatr*. 2005;63:110–3.
- Toledo C, Garrido C, Troncoso E, Lobo SM. Effects of respiratory physiotherapy on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in severe traumatic brain injury patients. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2008;20:339–43.
- Cerqueira-Neto ML, Moura AV, Scola RH, Aquim EE, Rea-Neto A, Oliveira MC, et al. The effect of breath physiotherapeutic maneuvers on cerebral hemodynamics: A clinical trial. *Arq Neuropsiquiatr*. 2010;68:567–72.
- Cerqueira Neto ML, Moura AV, Cerqueira TC, Aquim EE, Rea-Neto A, Oliveira MC, et al. Acute effects of physiotherapeutic respiratory maneuvers in critically ill patients with craniocerebral trauma. *Clinics (Sao Paulo)*. 2013;68:1210–4.
- Tomar GS, Singh GP, Bithal P, Upadhyay AD, Chaturvedi A. Comparison of effects of manual and mechanical airway clearance techniques on intracranial pressure in patients with severe traumatic brain injury on a ventilator: Randomized crossover trial. *Phys Ther*. 2019;99:388–95.
- Ferreira LL, Valenti VE, Vanderlei LCM. Fisioterapia respiratoria na pressão intracraniana de pacientes graves internados em unidade de terapia intensiva: revisão sistemática [Chest physiotherapy on intracranial pressure of critically ill patients admitted to the intensive care unit: A systematic review]. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2013;25:327–33, <http://dx.doi.org/10.5935/0103-507X.20130055>.
- Rodrigues-Gomes RM, Martí JD, Rolán RM, Gelabert-González M. Rapid chest compression effects on intracranial pressure in patients with acute cerebral injury. *Trials*. 2022;23:312, <http://dx.doi.org/10.1186/s13063-022-06189-w>.
- Goetz RL, Vijaykumar K, Solomon GM. Mucus clearance strategies in mechanically ventilated patients. *Front Physiol*. 2022;13:834716, <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2022.834716>.
- De Oliveira TF, Peringer VS, Forgiarini junior LA, Eibel B. PEEP-ZEEP compared with bag squeezing and chest compression in mechanically ventilated cardiac patients: Randomized crossover clinical trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20:2824, <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph20042824>.
- Volpe MS, Guimarães FS, Morais CA. Airway clearance techniques for mechanically ventilated patients: Insights for optimization. *Respir Care*. 2020;65:1174–88, <http://dx.doi.org/10.4187/respcare.07904>.

Critical Care, 2024

JCR: Q1

SJR: Q1

Tercil 1

Contribución del doctorando:

El doctorando, Ricardo Miguel Rodrigues Gomes, aplicó el protocolo, recogió, analizó e interpretó los datos, y redactó el manuscrito.

Los coautores colaboraron en la interpretación final de los resultados, la revisión crítica y la aprobación definitiva del texto.

RESEARCH

Open Access



Effects of rapid chest compression technique on intracranial and cerebral perfusion pressures in acute neurocritical patients: a randomized controlled trial

Ricardo Miguel Rodrigues-Gomes^{1,2*} , Ángela Prieto Campo³ , Rosa Martínez Rolán^{4,5}  and Miguel Gelabert-González⁶ 

Abstract

Background Some studies refer to the increase in intracranial pressure (ICP) with chest physiotherapy techniques but without any randomized controlled trials that evaluate the safety of the manual rapid chest compression technique in patients with severe acute brain injuries on invasive mechanical ventilation. Our research question examines whether intracranial and cerebral perfusion pressures significantly change during rapid chest compression technique.

Methods A prospective, randomized, single-blinded controlled trial of acute neurocritical patients under mechanical ventilation was performed. The intervention group was subjected to rapid chest compression, and the control group received mechanical passive inferior limbs mobilization. The outcomes were intracranial pressure, cerebral perfusion pressure, blood partial pressure of oxygen and carbon dioxide, and inspiratory and expiratory peak flows.

Results Between May 2021 and December 2023, 50 patients (aged 56.3 years), 66% females, were randomized into two groups (25 controls and 25 interventions). The ICP and cerebral perfusion pressure (CPP) did not significantly differ between the groups at any of the studied times. Intragroup analysis revealed significant decreases in the ICP and CPP in the intervention group, with posterior recovery in both groups. The CPP significantly decreased in the control group but did not reach the preintervention values at the last measurement time. PaCO₂ was significantly lower in the intervention group than in the control group at the end of the study.

Conclusion The rapid chest compression technique did not increase the ICP during its application or even 30 min after it. The ICP showed a slight significant decrease during the application of the rapid chest compression technique but reached the previous values in the posterior 30 min. CPP had a similar behavior but did not completely recover in both groups.

Trial registration: NCT03609866. Registered on 08/01/2018.

Keywords Acute brain injury, Intracranial pressure, Cerebral perfusion pressure, Chest physiotherapy, Respiratory physiotherapy

*Correspondence:

Ricardo Miguel Rodrigues-Gomes
ric.mr.gomes@gmail.com

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2025. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License, which permits any non-commercial use, sharing, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if you modified the licensed material. You do not have permission under this licence to share adapted material derived from this article or parts of it. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.



Introduction

Acute brain injuries (ABIs) are a critical group of pathologies that frequently require invasive mechanical ventilation, sedation and sometimes relaxation. The main pathologies of this group include traumatic brain injury (TBI), acute ischemic stroke (AIS), subarachnoid hemorrhage (SAH), and intracerebral hemorrhage (ICH) [1, 2].

Mechanical ventilation leads to limitation of respiratory secretion removal caused by the endotracheal tube presence, the air flow changes, and the patient positioning. Sedation and relaxation medication also can compromise ciliary function [3, 4].

The chest physiotherapy in intensive care usually includes vibration, percussion, flow modulation techniques, cough assistance and hyperinflation. These techniques can be used with the goal of preventing mucus retention, atelectasis or ventilation-associated pneumonia [5].

Some chest physiotherapy techniques employed in intensive care units aim to modulate ventilatory flows and improve mucus transport based on the concept of dual gas–liquid phase principle. Laboratory evidence supports the use of these techniques, suggesting that mucus removal is more effective when expiratory flow exceeds inspiratory flow. For example, the rapid chest compression technique (RCCT) is designed to increase expiratory flow and aid in mucus transport out of the bronchial tree [4, 6].

Several studies have investigated the effectiveness of RCCT in mobilizing secretions and enhancing peak expiratory flow. While Felipe and Reis [7] applied thoracic compression in an animal model with atelectasis but reported that it was ineffective at resolving atelectasis and mobilizing secretions. More recent research by Martí et al. [6] demonstrated that RCCT effectively mobilized secretions outward from the bronchial tree in pigs undergoing invasive mechanical ventilation [6, 7].

Studies on humans have studied expiratory rib or chest compression. While Naue et al. [8] found no difference in suctioned secretions with added pressure support, their 2014 trial showed increased secretion clearance, exhaled volume, and pulmonary dynamics when combined with higher inspiratory pressure. Similarly, Guimarães et al. [10] reported improved peak expiratory flow with rapid thoracic compression, reinforcing the effectiveness of these techniques [8–10].

Several studies have attempted to understand the safety of some respiratory physiotherapy techniques in neurocritical patients.

This is the case for the effects of manual RCCT on intracranial pressure (ICP) in patients with severe acute brain injuries. The first clinical study on this matter was carried out by Thiesen et al. [11], who studied the effects

of several techniques of chest physiotherapy on ICP, among which manual thoracic compression was included with satisfactory results with respect to the control of ICP [11].

Studies on chest physiotherapy in patients with acute brain injury show mixed effects on intracranial pressure (ICP) [12]. Toledo et al. [12] and Cerqueira-Neto et al. found no significant impact of respiratory physiotherapy on ICP or cerebral perfusion pressure (CPP) [13, 14]. However, Ferreira et al. reported increased ICP with no significant CPP changes [15]. More recently, Tomar et al. found that manual chest percussion raised ICP compared to mechanical vibration [16].

RCCT has a possible benefit in terms of secretion removal, but the real safety of its use in neurocritical patients is still unclear.

Therefore, the research questions for our single-blinded randomized controlled trial in neurocritical patients were as follows:

1. Does intracranial pressure significantly change during and immediately after rapid chest compression technique?
2. Does cerebral perfusion pressure change during and immediately after rapid chest compression?

Methods

Design

A prospective, randomized, single-blinded controlled trial of acute neurocritical patients under mechanical ventilation was performed. The trial protocol was registered (ClinicalTrials.gov NCT03609866), published [17], adapted to the CONSORT guidelines [18], and reported via the template for intervention description and replication (TIDieR) checklist [19].

The sample size was obtained with the software ENE 3.0, and on the basis of the estimations of the changes in intracranial pressure with the techniques performed in the study by Thiesen et al. [11], with a power of 80% and a level of confidence of 95%, we obtained a sample size of 25 patients in each group: control and experimental. A total of 50 subjects were included in this trial [11].

Patients with acute severe brain injury were selected from the intensive care unit of the Hospital Álvaro Cunqueiro of Vigo, Galicia, Spain, which is a tertiary hospital with neurocritical patients and the reference neurocritical center for southern Galicia. The randomization and allocation sequences were generated on the GraphPad QuickCalcs page (<https://www.graphpad.com/quickcalcs/randomize2/>), with no repetition and 50 subjects allocated to 2 groups (blocked randomization), with the template of allocation designed at the beginning of the

study and then placing the subjects by their entrance date in the intensive care unit. The participants were allocated to each group by the principal investigator after the acceptance and signing of the informed consent form by the next of kin. This study was approved by the Comité de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense (ethics board of the Galician public health system) with the registration number 2018/446.

We considered patients to be blinded, as all patients had a Richmond Agitation and Sedation Scale score of -5 , which did not allow patients to understand if they were in the control or intervention group [20, 21].

Statistician personnel were blinded, as the data were sent for analysis without providing group information about the control or intervention [22].

Study population

We included acute neurocritical patients (TBI, AIS, SAH, and ICH) with more than 48 h of invasive mechanical ventilation, intracranial pressure monitoring, continuous

arterial pressure monitoring and Glasgow Coma Scale (GCS) ≤ 8 before sedation or surgical procedures. The inclusion and exclusion criteria are detailed in Table 1.

Descriptive information such as age, sex, type of injury, presence of ventricular drainage, norepinephrine and relaxation drugs are presented in Table 2.

Intervention

When ventricular drainage was present, the external ventricular drain was maintained open, positioned at a height of $+20$ cm above the external auditory canal.

The intervention group was subjected to rapid chest compression. This technique consists of the application of rapid compression of the lower lateral area of the thorax bilaterally when the ventilator makes the transition from inspiration to expiration; the purpose is to obtain a flow bias of 33 L/m or higher, favoring expiration [4]. This was performed with the patient in the supine decubitus position with 30° elevation of the head and trunk, and the rapid chest compression technique was applied

Table 1 Eligibility criteria

Inclusion criteria	1
Intubated patients with mechanical ventilation in Volume Controlled, Pressure Controlled and Volume Controlled Pressure Regulated modes during the 48 h prior to the application of the technique	
Severe head injury with a GCS ≤ 8	
Hemodynamic stability (MAP > 65 mmHg)	
Respiratory stability (PEEP < 10 cm H ₂ O and FiO ₂ $< 60\%$)	
Intracranial Pressure Stability ($0 < ICP < 20$ mmHg)	
RASS sedation scale of -5 points	
Exclusion criteria	
Thoracic fractures: unstable rib, sternal, clavicular, scapular, or vertebral	
Abdominal injuries that limit the application of local manual compression	
Systemic or local changes that evolve with increased abdominal volume	
Fractures or conditions in the lower limbs that contraindicate passive mobilization	

Table 2 Sample description (ABI: acute brain injury) n = 50

	All patients		Control group		Intervention group	
Age	56		55		57	
Time since ABI (mean days)	3.3		3.3		3.3	
Sex (% females)	33	66%	14	56%	19	76%
Traumatic brain injury (TBI)	12	24%	7	28%	5	20%
Acute ischemic stroke (AIS)	2	4%	1	4%	1	4%
Subarachnoid hemorrhage (SAH)	20	40%	8	32%	12	48%
Intracerebral hemorrhage (ICH)	16	32%	9	36%	7	28%
Ventricular drainage	22	44%	9	36%	13	52%
Norepinephrine	32	64%	17	68%	15	60%
Decompressive surgery	19	38%	9	36%	10	40%
Relaxation	14	28%	8	32%	6	24%

once during the transition expiratory time of each of the 3 respiratory cycles for 5 min by a physiotherapist. Safety monitoring of heart rate, blood pressure, intracranial pressure, peripheral oxygen saturation and cerebral perfusion pressure was performed by the clinical team and the principal investigator. The intervention was stopped if some of the safety values were reached or if the clinical team considered it.

The control group received mechanical passive inferior limb mobilization at a frequency of 15 cycles per minute. The patient was in the supine decubitus position with a 30° elevation of the head and trunk. The inferior limbs passive mobilization technique was applied in the middle of the knee range of motion for 5 min via a motorized cycloergometer. Safety monitoring of heart rate, blood pressure, intracranial pressure, peripheral oxygen saturation and cerebral perfusion pressure was performed by the clinical team and the principal investigator. The intervention would have been stopped if it reached some of the safety values (ICP >15 mmHg in decompressed patients or ICP >20 mmHg in non-decompressed patients; Oxygen saturation <94%; Cardiac frequency >130) or when the clinical team considered it [23–25].

Outcomes

The main and secondary outcomes were collected as described below.

Intracranial pressure (ICP)

The intracranial pressure (mmHg) data were recorded 1 h prior to the intervention, when changed the mechanical ventilation mode (if applied), 30 min prior, 5 min prior, at the beginning of the intervention and every minute since the beginning, and 5 and 30 min since the end, with the continuous intracranial pressure monitoring system. When ventricular drainage was present, the external ventricular drain was positioned at +20 cmH₂O above the external auditory canal and remained open, beginning 5 min prior to the start of the technique and continuing until its completion. Data were recorded via an Integra Camino ICP monitor and with an intraventricular placed pressure sensor.

Heart rate, blood pressure and cerebral perfusion pressure

The data from the 3 outcomes were recorded directly from vital signs monitor with the time chart as the ICP (except 60 and 30 min prior).

Expiratory and inspiratory peak flow

Data were collected over 30-s periods as in the ICP time chart (except 60- and 30-min periods). All expiratory and inspiratory peak flows were checked, and the bests were recorded from every 30 s sequence.

Blood pH, O₂ and CO₂

Recent studies have identified tight control of the lower limits of blood CO₂ partial pressure as a protective factor in cases of brain injury because high CO₂ levels induce arterial vasodilatation, as shown in laboratory studies [26]. We performed arterial blood gas analysis 5 min prior to and at the end of the intervention.

Statistical analysis

We present descriptive statistics as absolute numbers and percentages and as the means and SDs (standard deviations) or medians and IQRs (interquartile ranges), depending on normality. To assess the normality of the variables, the Shapiro–Wilk test was used.

We registered the variables at 5 min prior to the intervention (T – 5) and the beginning (T0), at every minute from the beginning until the end of the intervention (T1, T2, T3, T4, T5), 5 min later (T + 5) and 30 min later (T + 30).

To assess whether there were differences in the values of ICP, CPP, or PaCO₂ between patients in the control and intervention groups at each study time point (T – 5, T0, T1, T2, T3, T4, T5, T + 5, and T + 30), Student's t test or the Mann–Whitney U test was used, depending on the normality of the quantitative variables. To evaluate differences over time in ICP, CPP, or PaCO₂ within each group (control and intervention), repeated-measures ANOVA or the Friedman test was applied, depending on the normality of the data. Values of $p < 0.05$ were considered statistically significant. We took the T – 5 time as a reference value, as it reflects the basal status prior to any intervention and the means/medians compared with it, although we compared the means/medians with other times (supplemental material).

Results

Between May 2021 and December 2023, the recruitment process assessed 55 possible subjects; 5 were excluded, 3 did not meet the inclusion criteria, and 2 refused to participate, resulting in the allocation of 50 subjects, as shown in Fig. 1. The mean ICP was 9.40 mmHg (SD 5156) and 8.24 mmHg (SD 3756) in the control and intervention groups, respectively. There were no significant differences between the groups at any time (Fig. 2). According to the intragroup analysis, as shown in Table 3, the ICP mean was significantly lower during the rest period (T – 5) at T1, T2, T3 and T5 in the intervention group and significantly inferior to T – 5 at T1 and T4 in the control group. When the preintervention rest period was compared with the late postintervention time (T + 30), there were no significant intragroup differences. When

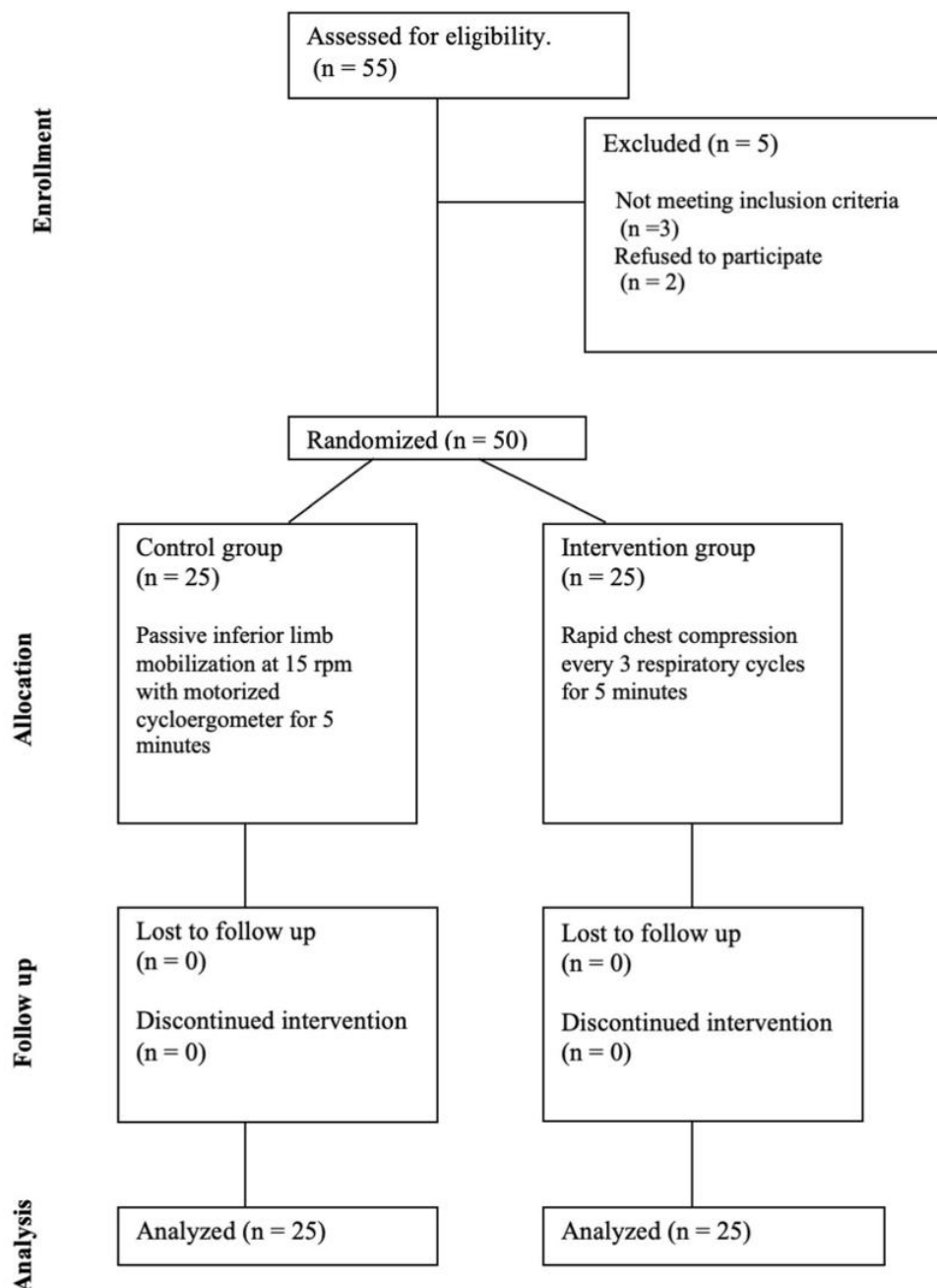


Fig. 1 Consort flow chart

analyzed the data of patients with $ICP \geq 10$, as shown in Fig. 3, there was a similar behavior to the general group analysis, without significant differences at any time.

The median CPP were 76 mmHg (SD 16,927) and 80 mmHg (SD 18,127) in the control and intervention groups, respectively. No significant differences were

found between the groups at any time. Compared with the preintervention rest period, the CPP was significantly inferior at T1, T2 and T4 during the intervention period and at T + 5 postintervention in the intervention group and at T3, T5 and T + 30 in the control group (Fig. 4).

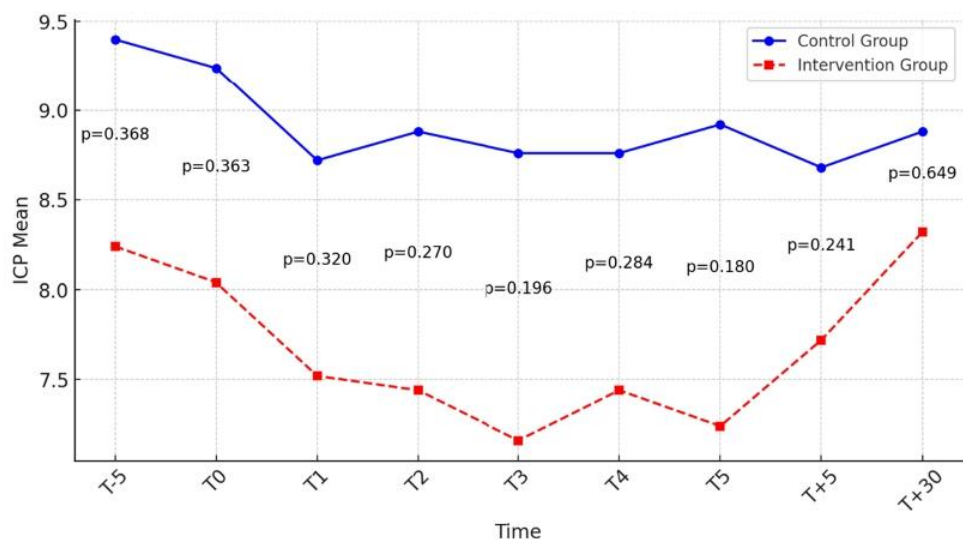


Fig. 2 ICP means at the measured times and *p* values between groups

Table 3 Intragroup mean or median values compared with the rest period (T – 5) and the respective *p* values

		T – 5	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T + 5	T + 30
ICP	Mean	9.40	9.24	8.72	8.88	8.76	8.76	8.92	8.68	8.88
Control	SD	(5.16)	(5.12)	(4.70)	(5.05)	(4.73)	(4.59)	(4.79)	(4.53)	(4.61)
	<i>p</i> value		.701	.035	.119	.100	.029	.191	.077	.188
ICP	Mean	8.24	8.04	7.52	7.44	7.16	7.44	7.24	7.72	8.32
Interv	SD	(3.76)	(4.06)	(3.69)	(4.01)	(3.86)	(4.00)	(3.90)	(3.68)	(4.01)
	<i>p</i> value		.307	.013	.038	.013	.079	.046	.063	.819
CPP	Median	76	75	77	78	78	78	77	75	75
Control	IQR	(68–89.5)	(69–83)	(70–85)	(71.5–86)	(71–86)	(70.5–87)	(70.5–88.5)	(65.5–84.5)	(69–87.5)
	<i>p</i> value		3.52	.727	.167	.040	.36	.048	.670	.050
CPP	Median	80	75	75	75	77	75	76	77	77
Interv	IQR	(66–95)	(65–94)	(70–94.5)	(66.5–95)	(68–95.5)	(67.5–94.5)	(67.5–94)	(65.5–93)	(67.5–91)
	<i>p</i> value		.667	.000	.043	.167	.048	.727	.033	.667
PaCO ₂	Median	39						39		
Control	IQR	(37.5–41)						(37–41.5)		
	<i>p</i> value							.540		
PaCO ₂	Median	39						38		
Interv	IQR	(37–41)						(36.5–40.5)		
	<i>p</i> value							.013		

The mean arterial pressure (MAP) did not significantly differ between the control and intervention groups but was significantly lower in the intervention group (T – 5 to T5), which recovered at T + 30 (Fig. 5).

In terms of PaCO₂, no significant differences between the groups were found (means of 39.28 and 38.08 at T5, respectively). This variable showed a significant difference in the means between T – 5 and T5, 38.64 mmHg

and 38.04 mmHg, respectively, in the intervention group as seen in Fig. 6.

The cardiac frequency was not significantly different between the groups, with no significant changes at the studied time points in any group.

pH and PaO₂ were not significantly different between the groups or in the intragroup analysis, without changes in the evaluated points.

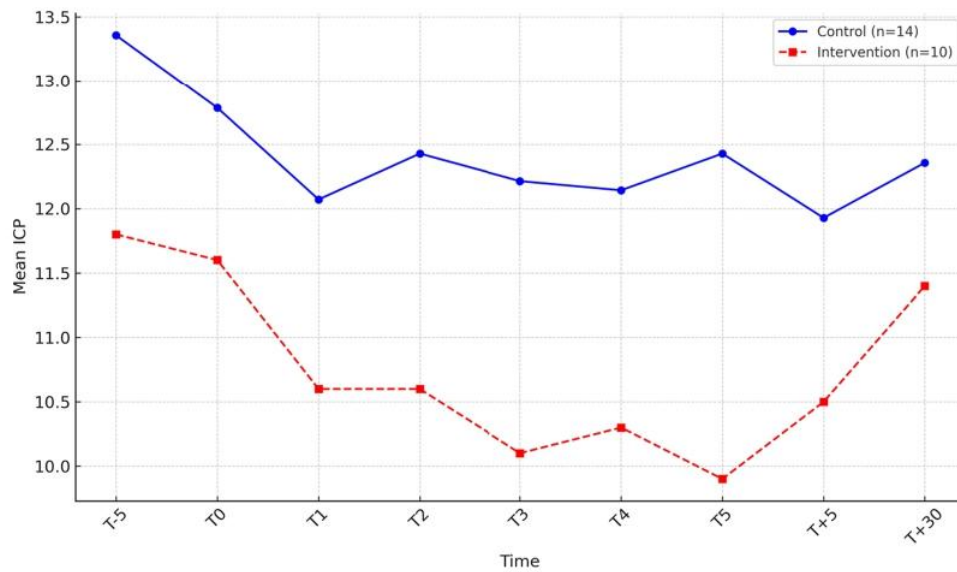


Fig. 3 ICP means at the measured times. Individuals totals with ICP ≥ 10 at T-5

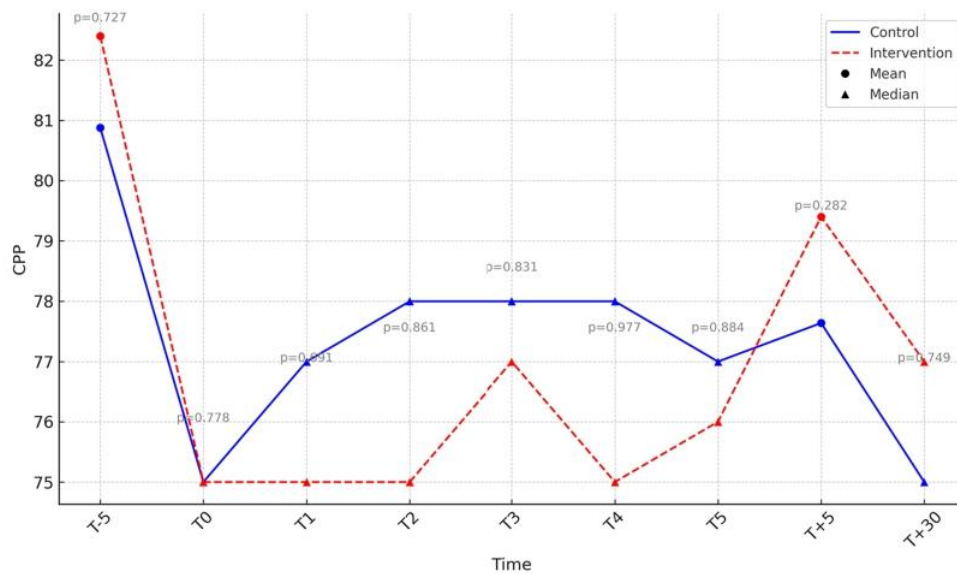


Fig. 4 CPP means/medians at the measured times and *p* values between groups

Flow bias was used to ensure that the theoretical effectiveness of the rapid chest compression technique was more than 33 L/m at all the points checked during its application, approximately 50 L/m in the intervention group and approximately 9 L/m in the control group were reached.

Discussion

With this randomized controlled trial, we avoided mixing the techniques that are usually referred to as respiratory or chest physiotherapy, as they can lead to significant contraindications that are not clinically apparent when the techniques are applied separately. The most recent

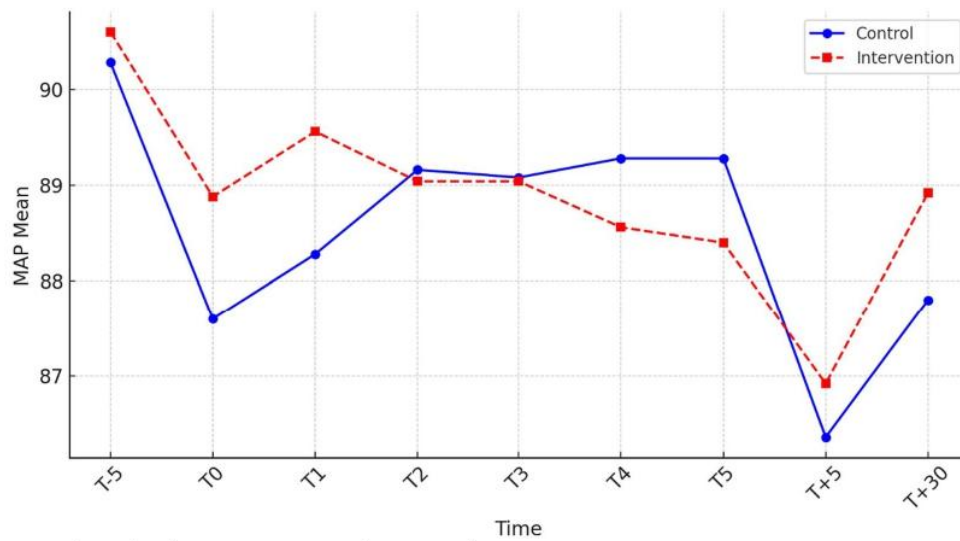


Fig. 5 MAP means of control and intervention groups at the measured times

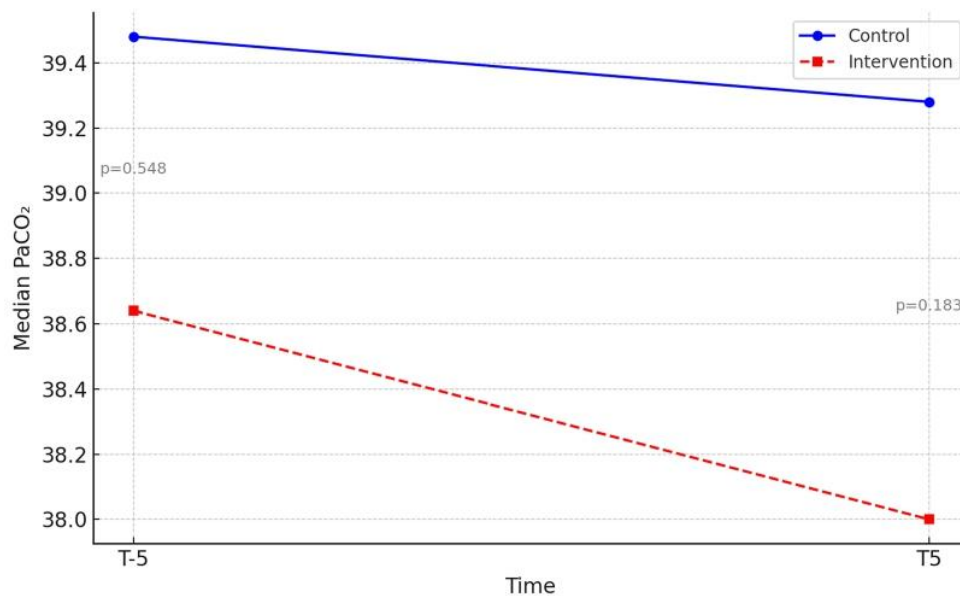


Fig. 6 PaCO₂ at the measured times and *p* values between groups

studies concerning the effects of chest physiotherapy techniques on the ICP performed by Tomar et al. [16] revealed that increased values were observed when manual percussion was applied, and the systematic review of Ferreira et al. [15] also revealed that the ICP significantly increased with techniques. While the previous studies from Thiesen et al. [11], Toledo et al. [12], Cerqueira-Neto et al. [14] and Cerqueira Neto et al. [13], focused mainly on descriptive and/or mixing techniques, thus

reinforcing the need for RCTs studying the safety of respiratory physiotherapy interventions in neurocritical patients (12–17).

The ICP was the main variable of interest in this trial, and its behavior was within the safety limits, with no significant differences between the groups. According to the intragroup analysis during rapid chest compression, the ICP was significantly lower than T– 5 at 4 of the 6 checked points, and the same behavior was observed

in the mobilization group at 3 points. When we analyzed ICP changes in patients with higher ICP values (10 mmHg or more), the behavior was similar to that of the global group, as seen in Fig. 3. It is acceptable to assume the safety of both procedures in the acute set, and the lower values during the intervention can be explained by the release of the chest, post rapid chest compression in the intervention group and by the abdominal movement in the control group. Both can be explained based on the negative intrathoracic pressure or pressure gradient between intrathoracic and intracranial compartments on the return of blood from the brain and the consequent decrease in ICP [27, 28]. The PaCO₂ was significantly lower at T5 (p 0.013), which also explains the significantly lower ICP pressure in the intervention group [26]. In our sample 5 patients had ICP values higher than 15 mmHg (3 in the control group and 2 in the intervention group), that is a small size to obtain a sound subgroup conclusion. Nevertheless, the intervention was not stopped as the ICP values stayed within safety limits. However, future studies should assess this subgroup more thoroughly.

The CPP values were similar in both groups, but the differences were not significant. According to the intra-group analysis, the values were similar before and after rapid chest compression, with some significantly lower values during the procedure but not when comparing pre technique value with 30 min postintervention. In the control group, the CPP value did not recover to pre technique values, with significant difference. Zink et al. did not find significant changes in the CPP values in their study, but our results revealed significantly lower values at 30 min post mobilization, suggesting that an effect that must be taken into account when CPP values are stricter, such as in vasospasm situations [29].

Both the ICP and CPP are affected by PaCO₂, which is a cerebral vasodilator; therefore, we controlled the ventilator settings to avoid autotriggering with the thoracic and abdominal pressure changes and performed rapid chest compression every 3 cycles to avoid derecruitment, as there is no volume compensation in volume control mode. However, these measures need stronger control, as they were not completely effective, because PaCO₂ was significantly lower in the intervention group (p 0.013) at T5 [26, 30].

The MAP decreased in both groups during both techniques. We related this event to the intrathoracic pressure gradient when the thorax was released in the intervention group or to the mobilization of the abdomen with hip flexion in the control group [29].

The flow bias showed the expected response with a significant difference between the control and intervention groups (-9.09 L/m and -47.75 L/m, respectively) at T1

and at all times during the intervention phase, revealing the effectiveness of rapid chest compression in increasing the flow bias toward expiration and increasing it to more than 33 L/m, as referred to in the literature as needed, to mobilize secretions outside the bronchial tree [4].

Our study intended to clarify the effect and safety of RCCT, as most of the studies in neurocritical patients presented results of chest physiotherapy protocols with secretions suction as part of them, and some concluded that chest or respiratory physiotherapy is not safe in neurocritical patients because it increases the ICP, a factor that we relate to suction, as reported in several studies [31, 32].

As shown in the results discussed previously, neither the ICP, CPP, MAP nor the cardiac frequency significantly changed, nor stopped the technique's application or went out of range, allowing us to refer the safety of rapid chest compression in acute neurocritical invasively ventilated patients.

It is also important to note that the ventricular drainage remained open during the procedures. However, since ICP values did not exceed 20 mmHg, there was no risk of increased drainage, allowing the techniques to be applied safely without closing the drain, just elevating it.

We found some limitations in our study. One limitation was the inclusion of 38% of patients with decompressive craniectomy and two individuals in the control group with calvarial fractures who did not undergo decompressive surgery, situations that may lead to less accurate ICP changes. Other limitation, that could lead to gender bias, was the inclusion of 66% females in the total sample and 76% of females in the intervention group. Also, the presence of ventricular drainage (36% in control group and 52% in the intervention group) could lead to less accurate ICP changes, but as we placed it at 20 cm of height from the ear canal, this should minimize this bias. Regarding ventricular drainage, we did not quantify the cerebrospinal fluid drained after returning the drain to its original position; this limitation should be addressed in future studies.

Our study's aim was also to relate different brain pathologies with possible changes in ICP and CPP, but with our sample size, we were not able to obtain a robust result; nevertheless, with this mix of brain injuries, we obtained a sound result.

Conclusion

The rapid chest compression technique does not increase the ICP during its application or even 30 min after it has been performed. The CPP slightly decreased during the application of the rapid chest compression technique and the passive mobilization of the inferior limbs.

In our study, we found that the rapid chest compression technique was safe, but multicenter, double-blind, randomized controlled trials are needed to reinforce the results and to evaluate the effects on brain oxygenation and perfusion.

Abbreviations

ABI	Acute brain injuries
ICP	Intracranial pressure
CPP	Cerebral perfusion pressure
TBI	Traumatic brain injury
AIS	Acute ischemic stroke
SAH	Subarachnoid hemorrhage
ICH	Intracerebral hemorrhage
RCCT	Rapid chest compression technique
SD	Standard deviations
IQR	Interquartile ranges
MAP	Mean arterial pressure

Supplementary Information

The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1186/s13054-025-05405-8>.

Additional file 1

Additional file 2

Acknowledgements

The primary author extends their gratitude to the entire Intensive Care Unit staff of Hospital Álvaro Cunqueiro, including nurses and doctors who assisted with data recovery and facilitated the execution of this study. While only four names are mentioned, over 100 individuals contributed to this effort.

Author contributions

RMRG followed the protocol, recorded the data, and wrote the manuscript. APC analyzed and interpreted the data, and co-wrote the manuscript. RMR and MGG reviewed the manuscript.

Funding

Not applicable.

Availability of data and materials

The data will be provided as supplementary material.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

Approved by the Comité de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense (ethics board of the Galician public health system) with the registration number 2018/446. Informed consent to participate was obtained and signed by the next of kin, who received written information about participating in the trial. Relatives were informed they could withdraw consent at any time and contact the Spanish Agency of Data Protection if their rights were not upheld. Given the slow evolution of severe acute brain injuries, patient consent was not expected.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹Facultade de Medicina, Santiago de Compostela University, Santiago de Compostela, Spain. ²Galicia Sur Health Research Institute (IIS Galicia Sur), SERGAS-UVIGO, Vigo, Spain. ³Statistics and Methodology Unit, Galicia Sur Health Research Institute (IIS Galicia Sur), SERGAS-UVIGO, Vigo, Spain. ⁴Neurosurgical

Service, Álvaro Cunqueiro Hospital, Vigo, Spain. ⁵University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain. ⁶Department of Surgery, University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain.

Received: 14 February 2025 Accepted: 4 April 2025

Published online: 23 April 2025

References

- Battaglini D, Siwicki Gieroba D, Brunetti I, Patroniti N, Bonatti G, Rocco PRM, et al. Mechanical ventilation in neurocritical care setting: a clinical approach. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2021;35:207–20.
- Meyfroidt G, Bouzat P, Casaer MP, Chesnut R, Hamada SR, Helbok R, et al. Management of moderate to severe traumatic brain injury: an update for the intensivist. *Intensive Care Med*. 2022;48:649–66.
- Goetz RL, Vijaykumar K, Solomon GM. Mucus clearance strategies in mechanically ventilated patients. *Front Physiol*. 2022;13:834716.
- Volpe MS, Guimarães FS, Morais CCA. Airway clearance techniques for mechanically ventilated patients: insights for optimization. *Respir Care*. 2020;65(8):1174–88.
- Tronstad O, Martí JD, Ntoumenopoulos G, Gosselink R. An update on cardiorespiratory physiotherapy during mechanical ventilation. *Semin Respir Crit Care Med*. 2022;43(3):390–404.
- Martí JD, Li Bassi G, Rigol M, Saucedo L, Ranzani OT, Esperatti M, et al. Effects of manual rib cage compressions on expiratory flow and mucus clearance during mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 2013;41(3):850–6.
- Felipe L, Reis F. Compressão Manual Torácica em um Modelo Experimental de Atelectasia em Ratos Wistar [Internet]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/281119235>
- da Silva NW, da Silva ACT, Güntzel AM, Condessa RL, de Oliveira RP, Vieira SRR. Increasing pressure support does not enhance secretion clearance if applied during manual chest wall vibration in intubated patients: a randomised trial. *J Physiother*. 2011;57(1):21–6.
- da Silva Naue W, Alberto Forgiarini Junior L, Simões Dias A, Regina Rios Vieira S. Chest compression with a higher level of pressure support ventilation: effects on secretion removal, hemodynamics, and respiratory mechanics in patients on mechanical ventilation [Internet]. Vol. 40, *J Bras Pneumol*. 2014.
- Guimarães FS, Lopes AJ, Constantino SS, Lima JC, Canuto P, de Menezes SLS. Expiratory rib cage compression in mechanically ventilated subjects: a randomized crossover trial [corrected]. *Respir Care*. 2014;59(5):678–85.
- Thiesen RA, Dragosavac D, Roquejani AC, Falcão ALE, Araujo S, Dantas Filho VP, et al. Influence of the respiratory physiotherapy on intracranial pressure in severe head trauma patients. *Arq Neuropsiquiatr*. 2005;63(1):110–3.
- Toledo C, Garrido C, Troncoso E, Lobo SM. Effects of respiratory physiotherapy on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in severe traumatic brain injury patients. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2008;20(4):339–43.
- de Cerqueira-Neto ML, Moura AV, Cerqueira TCF, Aquim EE, Reá-Neto Á, Oliveira MC, et al. Acute effects of physiotherapeutic respiratory maneuvers in critically ill patients with craniocerebral trauma. *Clinics (Sao Paulo)*. 2013;68(9):1210–4.
- de Cerqueira-Neto LM, Vieira Moura Á, Scola RH, Aquim E, Rea-Neto Á, Oliveira MC, et al. The effect of breath physiotherapeutic maneuvers on cerebral hemodynamics: a clinical trial. *Arq Neuropsiquiatr*. 2010;68:567–72.
- Ferreira LL, Valenti VE, Vanderlei LCM. Chest physiotherapy on intracranial pressure of critically ill patients admitted to the intensive care unit: a systematic review. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2013;25(4):327–33.
- Tomar GS, Singh GP, Bithal P, Upadhyay AD, Chaturvedi A. Comparison of effects of manual and mechanical airway clearance techniques on intracranial pressure in patients with severe traumatic brain injury on a ventilator: randomized. *Crossover Trial Phys Ther*. 2019;99(4):388–95.
- Rodrigues-Gomes RM, Martí JD, Rolán RM, Gelabert-González M. Rapid chest compression effects on intracranial pressure in patients with acute cerebral injury. *Trials*. 2022;23(1):312.

18. Schulz KF, Altman DG, Moher D, CONSORT Group. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ*. 2010;340:c332.
19. Hoffmann TC, Glasziou PP, Boutron I, Milne R, Perera R, Moher D, et al. Better reporting of interventions: template for intervention description and replication (TIDieR) checklist and guide. *BMJ*. 2014;348:g1687.
20. Karanikolas PJ, Farrokhyar F, Bhandari M. Practical tips for surgical research: blinding: Who, what, when, why, how? *Can J Surg*. 2010;53(5):345–8.
21. Ely EW, Truman B, Shintani A, Thomason JWW, Wheeler AP, Gordon S, et al. Monitoring sedation status over time in ICU patients: reliability and validity of the Richmond Agitation-Sedation Scale (RASS). *JAMA*. 2003;289(22):2983–91.
22. Iflaifel M, Partlett C, Bell J, Cook A, Gamble C, Julious S, et al. Blinding of study statisticians in clinical trials: a qualitative study in UK clinical trials units. *Trials*. 2022;23(1):535.
23. Vollenweider R, Manettas AI, Häni N, de Bruin ED, Knols RH. Passive motion of the lower extremities in sedated and ventilated patients in the ICU—a systematic review of early effects and replicability of Interventions. *PLoS ONE*. 2022;17:e0267255.
24. Marzolini S, Robertson AD, Oh P, Goodman JM, Corbett D, Du X, et al. Aerobic training and mobilization early post-stroke: cautions and considerations. *Front Neurol*. 2019;10:1187.
25. Paton M, Chan S, Serpa Neto A, Tipping CJ, Stratton A, Lane R, et al. Association of active mobilisation variables with adverse events and mortality in patients requiring mechanical ventilation in the intensive care unit: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Respir Med*. 2024;12(5):386–98.
26. Robba C, Battaglini D, Abbas A, Sarrió E, Cinotti R, Asehnoune K, et al. Clinical practice and effect of carbon dioxide on outcomes in mechanically ventilated acute brain-injured patients: a secondary analysis of the ENIO study. *Intensive Care Med*. 2024;50(2):234–46.
27. Moore JC, Pepe PE, Schepke KA, Lick C, Duval S, Holley J, et al. Head and thorax elevation during cardiopulmonary resuscitation using circulatory adjuncts is associated with improved survival. *Resuscitation*. 2022;179:9–17.
28. Hawryluk GWJ, Citerio G, Hutchinson P, Kolas A, Meyfroidt G, Robba C, et al. Intracranial pressure: current perspectives on physiology and monitoring. *Intensive Care Med*. 2022;48:1471–81.
29. Zink EK, Kumble S, Beier M, George P, Stevens RD, Bahouth MN. Physiological responses to in-bed cycle ergometry treatment in intensive care unit patients with external ventricular drainage. *Neurocrit Care*. 2021;35(3):707–13.
30. Svedung Wettervik T, Fahlström M, Enblad P, Lewén A. Cerebral pressure autoregulation in brain injury and disorders—a review on monitoring, management, and future directions. *World Neurosurg*. 2022;158:118–31.
31. Singh S, Chouhan RS, Bindra A, Radhakrishna N. Comparison of effect of dexmedetomidine and lidocaine on intracranial and systemic hemodynamic response to chest physiotherapy and tracheal suctioning in patients with severe traumatic brain injury. *J Anesth*. 2018;32(4):518–23.
32. Ntounenopoulos G. Are short-term changes in physiological variables in ICU patients as a result of physiotherapy of any clinical relevance? *Respir Care*. 2023;68:549–52.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

5. Discusión

5.1 Justificación general

El desarrollo de esta tesis doctoral se enmarca en un contexto clínico de gran complejidad: el manejo fisioterápico de pacientes con lesiones cerebrales agudas ingresados en unidades de cuidados intensivos y sometidos a ventilación mecánica invasiva. Estos pacientes presentan un riesgo elevado de complicaciones respiratorias, especialmente la retención de secreciones derivada de múltiples factores como la intubación, la sedación profunda, la relajación farmacológica y la limitación en los mecanismos de defensa como la tos o el transporte mucociliar. En consecuencia, resulta crucial implementar estrategias que permitan preservar la higiene bronquial sin comprometer la estabilidad hemodinámica ni neurológica de estos enfermos^{23,42}.

La fisioterapia respiratoria ha demostrado ser eficaz para mejorar la eliminación de secreciones y prevenir complicaciones pulmonares como atelectasias o neumonía asociada a la ventilación mecánica. Sin embargo, su aplicación en el paciente neurocrítico ha sido históricamente limitada y objeto de debate debido a los potenciales efectos secundarios sobre la presión intracraneal y la presión de perfusión cerebral. El riesgo teórico de que ciertas maniobras aumenten la presión intratorácica y, con ello, interfieran con el retorno venoso cerebral, ha llevado a una actitud precavida en muchos servicios de cuidados intensivos, en los que estas técnicas se han evitado o restringido, incluso en presencia de hipersecreción manifiesta³⁹.

En este escenario de incertidumbre clínica y ausencia de consenso, se identificó la necesidad urgente de generar evidencia científica de alta calidad que estableciera con precisión el perfil de seguridad de la técnica de compresión torácica rápida en pacientes con daño cerebral agudo. Hasta la fecha, la literatura disponible se ha basado principalmente en estudios observacionales, series de casos o ensayos clínicos sin grupo control, carentes de aleatorización y enmascaramiento, lo que limita de forma considerable la solidez y validez de sus conclusiones³⁹.

La presente tesis doctoral aborda esta laguna mediante un ensayo clínico aleatorizado, prospectivo y unicéntrico, diseñado con alto rigor metodológico. La intervención, estructurada, segura y reproducible, permitió evaluar de forma objetiva el impacto de la técnica de compresión torácica rápida sobre variables neurológicas críticas (presión intracraneal y presión de perfusión cerebral), así como sobre parámetros ventilatorios (flujo espiratorio pico) y gasométricos (PaCO_2 , PaO_2 , pH) en pacientes neurocríticos con monitorización invasiva en tiempo real. La inclusión de un grupo control sometido a movilización pasiva de extremidades inferiores permitió aislar los efectos propios de la intervención respiratoria de los cambios atribuibles al contexto clínico general^{1,3}.

El diseño del estudio, desarrollado bajo el cumplimiento de las directrices CONSORT y registrado en ClinicalTrials.gov (NCT03609866), añade robustez a los resultados y representa, en sí mismo, una aportación relevante al cuerpo de evidencia disponible. Los hallazgos principales de esta investigación indican que la técnica de compresión torácica rápida, aplicada en condiciones controladas, no

produce incrementos significativos de la presión intracraneal, ni genera deterioros sostenidos en la presión de perfusión cerebral. Por el contrario, se observaron ligeras reducciones transitorias de la presión intracraneal durante la aplicación, con recuperación posterior a valores basales, sin eventos adversos clínicamente relevantes. Estos resultados son consistentes incluso en subgrupos especialmente sensibles, como los pacientes con hemorragia subaracnoidea y los sometidos a cirugía descompresiva³.

Asimismo, el análisis de los parámetros ventilatorios confirmó la eficacia de la maniobra para generar flujos espiratorios superiores a los inspiratorios, lo que respalda su potencial utilidad para facilitar la movilización de secreciones. La gasometría arterial evidenció una tendencia hacia la reducción de la PaCO₂, lo que puede asociarse tanto a una mejoría del intercambio gaseoso como a un efecto secundario sobre la autorregulación cerebral, que se buscaba controlar^{1,3}.

En conjunto, la justificación de la presente discusión se sustenta en la necesidad de redefinir el papel de la fisioterapia respiratoria en el paciente neurocrítico, superando prejuicios históricos basados en datos insuficientes o en interpretaciones erróneas del riesgo fisiopatológico y de lo que “siempre se hizo”³⁹.

Esta tesis contribuye a cubrir esta laguna proporcionando evidencia experimental controlada que respalda la seguridad de la técnica de compresión torácica rápida en condiciones clínicas específicas, y la plantea como una herramienta potencialmente eficaz para el abordaje respiratorio sin comprometer la estabilidad cerebral.

Los resultados aquí discutidos tienen implicaciones relevantes no solo para la práctica clínica habitual, sino también para el diseño de futuras guías de práctica clínica, la formación de profesionales sanitarios y el impulso de nuevas investigaciones orientadas a desarrollar intervenciones seguras y eficaces en pacientes críticos neurológicos.

5.2 Resultados comentados

Los resultados de esta tesis doctoral permiten extraer un conjunto de conclusiones relevantes que, desde un enfoque crítico y fundamentado, contribuyen de manera sustantiva al conocimiento actual sobre la seguridad y aplicabilidad de la técnica de compresión torácica rápida en pacientes con lesiones cerebrales agudas. A continuación, se exponen dichas conclusiones acompañadas de su correspondiente análisis argumentativo:

5.2.1 La técnica de compresión torácica rápida no produce aumentos significativos de la presión intracraneal en pacientes neurocríticos monitorizados.

Esta es la conclusión más relevante del estudio y responde directamente a la hipótesis principal. El análisis de los datos demuestra que la aplicación controlada de la técnica de compresión torácica rápida no genera elevaciones clínicamente relevantes de la presión intracraneal en ningún momento del procedimiento ni en los tiempos de seguimiento posteriores (5 y 30 minutos). Por el contrario, se observaron reducciones transitorias y estadísticamente significativas durante la intervención, que retornaron a valores basales posteriormente³.

Este aspecto adquiere especial relevancia al considerar la fisiología implicada en la autorregulación de la presión y del flujo sanguíneo en el cerebro, un proceso fundamental en el manejo clínico de pacientes con lesión neurológica aguda. La autorregulación cerebral es un mecanismo homeostático esencial que permite mantener un flujo sanguíneo cerebral relativamente constante, incluso ante fluctuaciones de la presión arterial sistémica, mediante la adaptación dinámica del tono vascular cerebral. Este principio se representa gráficamente en la conocida curva de Lassen, que demuestra cómo el flujo sanguíneo cerebral se mantiene estable dentro de un amplio rango de presiones de perfusión, lo cual protege al tejido cerebral frente a situaciones de hipoperfusión (flujo sanguíneo insuficiente) o hiperperfusión (flujo excesivo), factores directamente implicados en el desarrollo de daño cerebral secundario^{5,7,11,14,48}.

Desde el punto de vista fisiopatológico, esta capacidad autorregulatoria resulta crítica, dado que el cerebro es un órgano altamente dependiente del aporte constante de oxígeno y glucosa, posee escasas reservas energéticas y una limitada capacidad regenerativa. La alteración de estos mecanismos conlleva una pérdida de la capacidad de adaptación del sistema vascular cerebral a los cambios hemodinámicos, favoreciendo la aparición de isquemia o de edema cerebral. En este contexto, el control estricto de variables fisiológicas, como la presión parcial de dióxido de carbono en sangre arterial, adquiere un papel prioritario^{5,7,11,14,48}.

La regulación del flujo sanguíneo cerebral y de la presión dentro del cráneo está modulada por múltiples factores fisiológicos. En primer lugar, los mecanismos intrínsecos de autorregulación incluyen respuestas de tipo miogénico, endotelial y neurogénico. Aunque históricamente se ha atribuido un papel predominante a las pequeñas arteriolas que recorren la superficie del cerebro, estudios recientes sugieren que vasos cerebrales de mayor calibre también participan activamente en estos procesos. Las células endoteliales y el músculo liso de los vasos cerebrales son capaces de detectar variaciones en la presión que ejerce la sangre sobre las paredes vasculares y en la fricción del flujo (estrés de cizallamiento), respondiendo con ajustes en el diámetro vascular para mantener estable el flujo sanguíneo cerebral^{5,7,11,14,48}.

En segundo lugar, la presión parcial de dióxido de carbono en sangre arterial ejerce una influencia decisiva sobre la regulación del tono vascular cerebral. La presencia de niveles elevados de dióxido de carbono en sangre (hipercapnia) induce una dilatación de los vasos cerebrales, lo que incrementa tanto el flujo como el volumen de sangre en el interior del cráneo, pudiendo con ello aumentar la presión intracraneal. En sentido opuesto, niveles bajos de dióxido de carbono (hipocapnia) provocan la constricción de los vasos cerebrales, lo que reduce el flujo y la presión dentro del cráneo. Se estima que por cada descenso de 1 mmHg en la presión parcial de dióxido de carbono, el flujo sanguíneo cerebral disminuye aproximadamente entre un 3 % y un 4 %, lo que puede comprometer la perfusión cerebral en pacientes vulnerables. No obstante, cuando la hipocapnia es excesiva —es decir, con valores de presión parcial de dióxido de carbono por debajo de 25 mmHg—, existe riesgo de inducir isquemia cerebral. En pacientes con hipertensión intracraneal, se recomienda mantener niveles moderadamente bajos de dióxido de carbono (entre 32 y 35 mmHg), mientras que, en ausencia de dicha condición, es

preferible conservar valores dentro del rango fisiológico normal (entre 35 y 45 mmHg)^{14,17}.

Por su parte, la presión parcial de oxígeno en sangre arterial también desempeña un papel relevante en la regulación del flujo cerebral. La disminución de oxígeno en sangre (hipoxemia) desencadena una vasodilatación compensatoria con el fin de preservar la oxigenación cerebral. Sin embargo, niveles excesivamente altos de oxígeno (hiperoxemia), especialmente por encima de 100 mmHg, se han asociado con peores resultados neurológicos en determinadas patologías, y pueden aumentar el tono vascular cerebral. Por ello, se recomienda mantener la presión parcial de oxígeno dentro de un rango adecuado, entre 80 y 120 mmHg, especialmente en pacientes con daño cerebral agudo^{5,11,14}.

Además, otros factores fisiológicos pueden interferir en la autorregulación cerebral. Entre ellos destacan la hiperglucemia y la hipertermia, que afectan negativamente a la función del endotelio y del músculo liso vascular, deteriorando la capacidad autorregulatoria del cerebro. La hipertensión intracraneal mantenida también se ha vinculado a una disfunción en estos mecanismos. De igual manera, la variabilidad excesiva de la presión arterial sistémica constituye un factor pronóstico negativo en pacientes con hemorragia cerebral^{7,48}.

En conjunto, todos estos elementos subrayan la importancia de una monitorización fisiológica cuidadosa y de estrategias de control rigurosas durante la aplicación de técnicas de fisioterapia respiratoria en pacientes neurocríticos o con perfil neurocrítico, como pueden ser las paradas cardíacas prolongadas. En particular, los hallazgos obtenidos en esta tesis, evitando la hiperventilación que conllevaría un consecuente lavado de dióxido de carbono, evidencian la extrema necesidad del control de este aspecto de forma clara y evidente y refuerzan la necesidad de integrar este conocimiento fisiológico en el diseño y la ejecución de intervenciones clínicas fisioterápicas en este perfil de pacientes^{11,49}.

La bibliografía, específicamente la revisión sistemática de Ferreira et al. (2013), hacía referencia a la escasez de trabajos que aborden la acción de la fisioterapia respiratoria sobre la presión intracraneal y la presión de perfusión cerebral en pacientes graves y había concluido que las maniobras de desobstrucción de las vías aéreas y la técnica de aspiración intratraqueal provocaban un aumento de la presión intracraneal. Es de destacar que, de todos los estudios incluidos en esa revisión, el que más, obtenía una puntuación de 5 según la escala PEDro de clasificación de los ensayos clínicos aleatorizados, obteniendo en la misma escala 9 puntos el ensayo clínico aleatorizado publicado en la Critical Care que forma parte de esta tesis, lo que le otorga una excelente calidad metodológica, teniendo como única debilidad (común en fisioterapia manual) el imposible cegamiento del terapeuta que aplica la intervención. Sin embargo, todos los demás criterios relevantes están bien cubiertos^{39,50}.

Posteriormente Tomar et al. (2018) realizaron una comparación de los efectos de las técnicas manual y mecánica de percusión y vibración sobre la presión intracraneal en pacientes con traumatismo craneoencefálico grave con ventilación mecánica en un ensayo clínico aleatorizado cruzado concluyendo que la técnica manual de percusión y vibración aumentaba la presión intracraneal. Independientemente de la discusión sobre la efectividad de la técnica estudiada, sí que hay referencia a aumento estadísticamente significativo de la presión

intracraneal, lo que pone en más valor la técnica de compresión torácica rápida al no provocar ese efecto^{1-3,40}.

Este hallazgo resulta de especial importancia porque contradice la suposición ampliamente extendida en la práctica clínica de que toda técnica de fisioterapia respiratoria en el paciente neurocrítico representa un riesgo inaceptable de hipertensión intracraneal. La evidencia presentada sugiere que, bajo condiciones adecuadas de estabilidad clínica, la técnica de compresión torácica rápida puede considerarse segura desde el punto de vista neurológico, siempre que se aplique de forma técnica y supervisada³.

5.2.2 No se observaron deterioros significativos de la presión de perfusión cerebral, incluso en pacientes con antecedentes de descompresión quirúrgica o lesiones hemorrágicas.

La presión de perfusión cerebral es un marcador indirecto, pero fundamental, de la perfusión efectiva del tejido cerebral. La literatura científica ha identificado reducciones sostenidas de la presión de perfusión cerebral como un factor de mal pronóstico en pacientes con daño cerebral agudo, especialmente en las fases iniciales. En este estudio, si bien se detectaron pequeñas fluctuaciones durante la intervención, estas no alcanzaron valores críticos ni persistieron más allá del periodo de aplicación. En el grupo control también se observaron variaciones similares, lo que sugiere que podrían deberse a la evolución clínica espontánea o a factores no controlables como la respuesta autonómica al movimiento.

Además, este resultado cobra especial valor al haberse observado en un grupo clínicamente heterogéneo, incluyendo pacientes con hemorragias subaracnoideas y con necesidad de craneotomía descompresiva, condiciones habitualmente consideradas de alto riesgo hemodinámico.

Cuando comparamos los resultados de la variabilidad de la presión de perfusión cerebral con la bibliografía existente hasta el momento, observamos que los resultados van en línea con la evidencia publicada al no sufrir cambios significativos, ya que la revisión sistemática de Ferreira et al. (2013) y el ensayo clínico aleatorizado de Tomar et al. (2018) hacen referencia a la seguridad de distintas técnicas en la presión de perfusión cerebral^{39,40}.

5.2.3 La técnica de compresión torácica rápida genera un diferencial de flujo espiratorio-inspiratorio adecuado para favorecer la movilización de secreciones, sin comprometer la estabilidad respiratoria ni hemodinámica.

Uno de los fundamentos fisiológicos esenciales de la técnica de compresión torácica rápida es la generación de un flow bias espiratorio —un flujo espiratorio neto superior al inspiratorio— que facilite el transporte retrógrado de secreciones hacia las vías aéreas proximales. Se ha establecido que un diferencial de flujo espiratorio superior a 33 L/min es suficiente para inducir el desplazamiento de secreciones desde los bronquios distales hacia la tráquea. En el presente trabajo, tanto en el ensayo clínico aleatorizado como en el estudio del caso clínico, se constató de manera objetiva que dicho umbral se alcanza de forma consistente durante la intervención, lo que confirma la eficacia fisiológica de la técnica³⁷.

Este efecto se ve favorecido por la presión positiva al final de la espiración proporcionada por la ventilación mecánica invasiva, que contribuye a mantener

abiertas las vías aéreas de menor calibre. De este modo, la técnica de compresión torácica rápida podría facilitar la movilización de secreciones desde las vías aéreas medias a distales (aproximadamente desde la sexta hasta la decimoquinta generación bronquial), siempre que estas se encuentren permeables. Si las secreciones alcanzan las vías proximales, la aspiración intratraqueal permite su eliminación efectiva desde la tráquea y los bronquios principales (generaciones 0 a 1). En casos más complejos, como secreciones muy espesas o tapones de moco localizados en bronquios segmentarios o subsegmentarios (entre la cuarta y la sexta generación), la broncoscopia continúa siendo la técnica de elección^{51,52}.

En este contexto, la técnica de compresión torácica rápida debe entenderse como una intervención no invasiva, complementaria y sinérgica, con capacidad para reducir la necesidad de técnicas más agresivas cuando se aplica precozmente y de forma adecuada³¹.

Aunque su efecto directo sobre las generaciones más distales es limitado, el entorno mecánico creado por la ventilación mecánica invasiva permite maximizar su alcance clínico en pacientes con hipersecreción bronquial^{31,37}.

Asimismo, la ausencia de alteraciones significativas en variables como la saturación de oxígeno, la frecuencia cardíaca, la PaO₂ o el pH, sugiere que la técnica es bien tolerada desde el punto de vista respiratorio y sistémico, siempre que se respeten los criterios de inclusión y las condiciones de seguridad establecidas³.

5.2.4 Control de la PaCO₂

En relación con el control de la presión parcial de dióxido de carbono en sangre arterial (PaCO₂), los resultados obtenidos reflejan tanto la importancia clínica de esta variable en pacientes con lesión cerebral como las limitaciones de las estrategias empleadas para mantenerla estable durante la aplicación de la técnica. A pesar de haberse implementado medidas de monitorización y ajustes ventilatorios, no fue posible evitar completamente variaciones significativas en uno de los grupos del estudio^{1-3,14,15}.

En todos los diseños (protocolo, caso clínico y ensayo controlado aleatorizado), se realizó un seguimiento de la PaCO₂ mediante análisis de gases arteriales antes y después de la intervención. Además, se ajustaron los parámetros del ventilador con el objetivo de evitar fenómenos de auto-disparo (autotriggering) secundarios a los cambios en la presión torácica generados por la compresión torácica rápida. El modo volumen controlado permitió estandarizar la administración del volumen corriente, con la limitación inherente de no compensar el volumen durante la técnica, lo que justificó la decisión de aplicarla cada tres ciclos respiratorios, con el fin de evitar el desreclutamiento alveolar¹⁻³.

La relevancia clínica del control de la PaCO₂ en este contexto radica en su efecto vasodilatador cerebral, tal como referido anteriormente. Dado que tanto la hipercapnia como la hipocapnia pueden alterar significativamente la presión intracraneal, el mantenimiento de valores estables de PaCO₂ se considera un factor protector frente a complicaciones neurológicas. En este sentido, en el estudio de caso clínico se logró mantener una PaCO₂ constante (41 mmHg), lo que permitió interpretar los cambios observados en la PIC sin el riesgo de que estuvieran enmascarados por variaciones en el CO₂. Además, se observó una mejoría clínica

relevante en la oxigenación arterial, con un aumento de 25 mmHg tras la intervención^{1-3,14}.

Sin embargo, en el ensayo controlado aleatorizado se detectó una disminución estadísticamente significativa de la PaCO₂ en el grupo de intervención (de 38.64 a 38.04 mmHg), a pesar de los esfuerzos por mantener constantes los parámetros del ventilador. Esta reducción, aunque de pequeña magnitud, se puede asociar con una disminución significativa de la PIC, lo que introduce una variable de confusión relevante en la interpretación de los efectos de la técnica. Esta observación pone de manifiesto que, si bien las estrategias de control fueron cuidadosamente planificadas, no resultaron completamente eficaces en todos los casos, lo que sugiere la necesidad de implementar medidas adicionales de control respiratorio en estudios futuros, especialmente en este tipo de pacientes³.

5.2.5 PaO₂

En relación con la presión parcial de oxígeno en sangre arterial, se observaron diferencias entre los resultados del estudio de caso clínico y los del ensayo clínico controlado aleatorizado. Esta discrepancia pone de manifiesto la relevancia de los ensayos clínicos en la toma de decisiones terapéuticas, así como las limitaciones inherentes a la evidencia procedente de casos clínicos individuales. Si bien estos últimos pueden ser útiles para generar hipótesis o ilustrar fenómenos clínicos particulares, su valor para sustentar decisiones clínicas generalizables es limitado⁵³.

En el estudio del caso clínico, que involucró a una paciente con hemorragia subaracnoidea aneurismática en ventilación mecánica invasiva, se observó una mejoría significativa en la oxigenación arterial tras la aplicación de la técnica. En concreto, la presión parcial de oxígeno aumentó 25 mmHg, pasando de 82 mmHg a 107 mmHg al finalizar la intervención. Este hallazgo, inesperado, sugiere un posible beneficio adicional de la compresión torácica rápida en situaciones clínicas donde exista un compromiso en la oxigenación. La mejoría podría explicarse por una redistribución del volumen pulmonar, una mayor ventilación de zonas dependientes o una mejoría transitoria del acoplamiento ventilación-perfusión, aunque este efecto no fue directamente evaluado^{2,23,31}.

Por el contrario, en el ensayo clínico controlado aleatorizado, que incluyó a cincuenta pacientes con distintas formas de lesión cerebral aguda, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la presión parcial de oxígeno entre el grupo que recibió la técnica de compresión torácica rápida y el grupo control, sometido a movilización pasiva de miembros inferiores. Del mismo modo, el análisis intragrupo no reveló cambios relevantes en la oxigenación arterial a lo largo del tiempo en ninguno de los dos grupos³.

La discrepancia entre ambos estudios puede explicarse por varios factores. En primer lugar, es importante tener en cuenta que el estudio del caso clínico representa una observación individual, en la que los efectos fisiológicos pueden estar modulados por características específicas de la paciente, como el patrón de afectación neurológica, el estado pulmonar basal o la configuración ventilatoria utilizada. Este tipo de diseño permite identificar respuestas clínicas potencialmente significativas, aunque no generalizables^{23,24,53}.

En cambio, el ensayo clínico controlado aleatorizado, al contar con un tamaño muestral mayor y un diseño metodológico más robusto, está orientado a detectar efectos consistentes en una población heterogénea. En este contexto, las respuestas individuales tienden a diluirse en los análisis estadísticos, y los efectos menores o no sistemáticos, como podría ser una mejoría puntual en la oxigenación, pueden pasar desapercibidos. A ello se suma la diversidad de diagnósticos y situaciones clínicas de los pacientes incluidos, lo que introduce una variabilidad fisiológica considerable en la respuesta respiratoria a la intervención^{3,47,54,55}.

En resumen, mientras que el estudio del caso clínico apuntó a una posible mejoría en la oxigenación tras la aplicación de la compresión torácica rápida, este efecto no fue replicado en el contexto más amplio del ensayo clínico controlado. Estos hallazgos sugieren que, si bien la técnica no parece comprometer la oxigenación en pacientes neurocríticos, su potencial para mejorarla de forma sistemática requiere una evaluación más específica en estudios dirigidos a este objetivo¹⁻³.

5.2.6 El diseño metodológico del ensayo aporta un valor añadido al rigor de las conclusiones.

Esta investigación se distingue por haber sido desarrollada como un ensayo clínico aleatorizado, controlado y con análisis ciego de los datos, siguiendo las directrices de CONSORT y registrado en una base de datos pública de ensayos clínicos (NCT03609866). Este enfoque fortalece la validez interna del estudio y limita el sesgo de observación. La utilización de criterios de inclusión bien definidos, un protocolo de aplicación estandarizado y la monitorización continua de variables clave, aseguran la reproducibilidad de los resultados⁵⁶.

Además, el control de variables potencialmente confusoras (como el tipo de ventilación, sedación, presencia de drenaje ventricular, tipo de lesión neurológica) permite interpretar los hallazgos con mayor precisión y proyectarlos hacia escenarios clínicos reales^{1,3}.

5.2.7 Existen oportunidades claras para la aplicación clínica y futuras líneas de investigación.

Los resultados de esta tesis abren la puerta a considerar la técnica de compresión torácica rápida como una herramienta segura dentro del arsenal terapéutico de la fisioterapia respiratoria en UCI neurológicas. Esta evidencia podría ser útil para actualizar guías clínicas y algoritmos de actuación en pacientes con lesiones cerebrales que requieren soporte respiratorio prolongado^{1,3}.

5.3 Fortalezas de los estudios

El conjunto de estudios que conforman esta tesis doctoral presenta una serie de fortalezas metodológicas, clínicas y científicas que le otorgan un alto nivel de robustez y relevancia dentro del ámbito de la fisioterapia respiratoria aplicada a pacientes neurocríticos. A continuación, se describen y comentan en detalle los principales puntos fuertes del trabajo desarrollado:

5.3.1 Diseño experimental sólido: ensayo clínico aleatorizado con grupo control.

Una de las principales fortalezas es el diseño del estudio principal como un ensayo clínico aleatorizado, prospectivo y con control, lo que le otorga un alto nivel de evidencia en la jerarquía de la medicina basada en evidencia. La aleatorización mediante bloques equilibrados y la asignación ciega de los pacientes permitió controlar el sesgo de selección y garantizar la comparabilidad basal entre grupos⁵⁶.

Este diseño es especialmente meritorio dado el contexto clínico de alta complejidad en el que se llevó a cabo —una unidad de cuidados intensivos neurológicos—, donde la implementación de ensayos clínicos controlados es especialmente difícil por razones éticas, logísticas y asistenciales. Aun así, se logró incluir una muestra clínicamente representativa, con monitorización invasiva en tiempo real, cumpliendo estándares éticos rigurosos y garantizando la seguridad del paciente en todo momento^{1-3,39,56}.

5.3.2 Primera evidencia aleatorizada sobre la técnica de compresión torácica rápida en neurocríticos.

Este trabajo constituye, hasta la fecha, el primer estudio controlado y aleatorizado que analiza específicamente los efectos de la técnica de compresión torácica rápida sobre la presión intracraneal y la presión de perfusión cerebral en pacientes con lesión cerebral aguda bajo ventilación mecánica invasiva^{1-3,19,31,39,40}.

La relevancia de esta contribución es doble: por un lado, aborda un vacío de conocimiento en un campo dominado hasta ahora por estudios observacionales sin grupo control ni metodología rigurosa; por otro, cuestiona prácticas clínicas excesivamente restrictivas que han evitado sistemáticamente la aplicación de técnicas de fisioterapia respiratoria en pacientes neurocríticos, muchas veces sin un respaldo empírico sólido^{19,38-40}.

La generación de evidencia controlada y replicable representa un avance hacia un abordaje más racional, individualizado y basado en datos objetivos⁵⁶.

5.3.3 Monitorización continua y detallada de variables neurológicas y respiratorias.

Una fortaleza destacable del presente estudio es la monitorización en tiempo real y con alta resolución temporal de variables fisiológicas críticas, como la presión intracraneal, la presión de perfusión cerebral, la presión arterial media, los flujos respiratorios (expiratorios e inspiratorios) y los parámetros gasométricos (PaCO₂, PaO₂, pH)¹⁻³.

Esta monitorización se llevó a cabo minuto a minuto durante la intervención y también en los periodos pre y postintervención (hasta 30 minutos después), lo que permitió detectar tanto efectos inmediatos como posibles respuestas fisiológicas diferidas. Para ello, se empleó instrumental de alta fiabilidad, como el sistema Integra Camino® para la monitorización intracraneal y ventiladores Maquet Servo-U, Servo-i o Hamilton C5 para el análisis de flujos respiratorios¹⁻³.

Además, el protocolo original incorporaba un sistema de control de presión manual aplicada (Tekscan ComfortMat®) con el objetivo de estandarizar la técnica de compresión torácica rápida, un aspecto poco habitual en estudios clínicos de fisioterapia respiratoria. Aunque este sistema no pudo ser finalmente utilizado por

limitaciones presupuestarias, su inclusión en el diseño metodológico eleva el rigor del protocolo¹.

La riqueza y precisión de estos registros permiten no solo realizar análisis intergrupales e intragrupal, sino también identificar patrones fisiológicos con mayor fiabilidad y garantizar la trazabilidad completa de la intervención¹⁻³.

5.3.4 Representatividad y diversidad clínica de la muestra.

La muestra del estudio incluyó pacientes con diversos tipos de lesiones cerebrales agudas (traumatismo craneoencefálico, hemorragia subaracnoidea, hemorragia intracerebral e ictus isquémico), lo que confiere una validez externa significativa a los resultados y permite su extrapolación a una amplia gama de pacientes neurocríticos^{3,57}.

Asimismo, se incluyeron pacientes tanto con drenaje ventricular como sin él, así como con y sin cirugía descompresiva. Todos los participantes se encontraban bajo sedación profunda (RASS -5), lo que aseguró una homogeneidad neurológica basal y eliminó el riesgo de sesgos relacionados con la respuesta motora o cognitiva¹⁻³.

Esta diversidad controlada permite generalizar los hallazgos con cautela a múltiples escenarios clínicos frecuentes en las unidades de cuidados intensivos neurológicos⁵⁷.

5.3.5 Aplicabilidad clínica directa y protocolo replicable.

Otro punto fuerte del presente trabajo es la reproducibilidad del protocolo, diseñado específicamente para su aplicación en la práctica clínica. La técnica de compresión torácica rápida se aplicó mediante una metodología estandarizada, en condiciones clínicas realistas y por fisioterapeutas entrenados, lo que facilita su futura implementación en otros centros con una mínima curva de aprendizaje¹⁻³.

Asimismo, la selección del grupo control —movilización pasiva de extremidades inferiores mediante cicloergómetro— fue pertinente desde el punto de vista ético y clínicamente neutra respecto a la presión intracraneal, lo que refuerza la validez del contraste entre grupos⁵⁸⁻⁶¹.

Este enfoque distingue a la tesis por su clara orientación hacia la aplicación clínica: no se limita al estudio de fenómenos fisiológicos en un entorno experimental controlado, sino que propone soluciones viables para mejorar la atención de pacientes neurocríticos, manteniendo un equilibrio adecuado entre el rigor metodológico y la factibilidad asistencial¹⁻³.

5.3.6 Integración con estudios previos y revisión del estado del arte.

El valor del presente trabajo se ve reforzado por la inclusión de un estudio de caso clínico documentado durante la ejecución del ensayo, en el que se observó un aumento de la PaO₂ tras la aplicación de la técnica de compresión torácica rápida. Aunque este efecto no se reprodujo de forma consistente en el análisis grupal, el caso clínico aporta una perspectiva ilustrativa de la posible variabilidad individual en la respuesta fisiológica, y contribuye a contextualizar los hallazgos dentro de la práctica clínica real^{2,3}.

Asimismo, la revisión crítica de la literatura previa y la justificación del diseño metodológico reflejan un conocimiento profundo del estado del arte. Este enfoque

permitió identificar con claridad las limitaciones de la evidencia disponible, fundamentar la necesidad de realizar un ensayo clínico controlado y posicionar los resultados obtenidos dentro del debate científico actual sobre el manejo fisioterápico en pacientes neurocríticos^{1,3,39,40}.

5.3.7 Rigor ético y transparencia investigadora.

La investigación fue aprobada por un comité de ética reconocido (Comité de Ética de Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense), registrada en ClinicalTrials.gov y desarrollada bajo criterios de buena práctica clínica, lo que asegura su transparencia, trazabilidad y reproducibilidad^{53,57,62}.

El consentimiento informado fue gestionado con especial sensibilidad, considerando la incapacidad temporal de los pacientes, recurriendo al familiar más cercano como representante legal, de acuerdo con la legislación y la ética profesional^{1,3}.

5.4 Limitaciones de los estudios

Aunque los estudios desarrollados en el marco de esta tesis doctoral se sustentan en una base metodológica sólida y aportan evidencia relevante sobre la seguridad de la técnica de compresión torácica rápida en pacientes neurocríticos, resulta imprescindible reconocer y analizar sus limitaciones. La identificación crítica de estas debilidades no solo contribuye a una interpretación más prudente y matizada de los hallazgos, sino que también orienta el diseño de futuras investigaciones más robustas, multicéntricas y con mayor validez externa.

A continuación, se detallan las principales limitaciones identificadas, junto con su contextualización e implicaciones metodológicas y clínicas.

5.4.1 Tamaño muestral limitado.

A pesar de que el cálculo del tamaño muestral se realizó de forma adecuada, tomando como referencia estudios previos —como el de Thiesen et al. (2005)—, y se alcanzó el número estimado de participantes ($n = 50$), el tamaño de la muestra sigue siendo relativamente modesto para un ensayo clínico que aborda múltiples variables fisiológicas y contempla una población clínicamente heterogénea^{1,3,45}.

Esta limitación podría haber reducido la potencia estadística para detectar diferencias pequeñas, aunque clínicamente relevantes, especialmente en variables secundarias como la PaCO₂ o la presión de perfusión cerebral. Asimismo, el tamaño muestral disponible no permitió la realización de análisis multivariantes ni ajustes por subgrupos patológicos (por ejemplo, traumatismo craneoencefálico frente a hemorragia subaracnoidea), ni tampoco la exploración de posibles interacciones complejas entre variables fisiológicas³.

Para superar esta limitación, futuras investigaciones deberían contemplar un mayor número de participantes, idealmente mediante diseños multicéntricos que faciliten una mejor estratificación clínica, aumenten la validez externa y permitan análisis más robustos por subgrupos⁵⁷.

5.4.2 Diseño unicéntrico.

La investigación se llevó a cabo en un único centro —el Hospital Álvaro Cunqueiro de Vigo—, lo que limita la generalización de los resultados a otros entornos asistenciales con diferentes características estructurales, culturales y organizativas. Factores como la infraestructura tecnológica, los protocolos clínicos, la formación del equipo de fisioterapia o las particularidades de la población atendida pueden influir en la replicabilidad de los resultados^{1-3,57}.

Si bien el hospital participante es un centro terciario con una unidad de cuidados intensivos de neurocríticos de referencia, no puede descartarse que, en otros contextos con distinta casuística, dotación técnica o cultura clínica, los efectos de la intervención difieran³.

La realización de estudios multicéntricos constituiría un paso esencial para incrementar la validez externa, validar la reproducibilidad del protocolo en entornos diversos y favorecer su posible implementación generalizada^{3,57,62}.

5.4.3 Aplicación única y no repetida de la intervención.

Una de las decisiones metodológicas del ensayo fue aplicar la técnica de compresión torácica rápida en una única sesión por paciente, con una duración de cinco minutos, y realizar una monitorización antes, durante y hasta 30 minutos después de la intervención¹.

Esta estrategia permitió garantizar la seguridad del procedimiento, controlar rigurosamente las variables fisiológicas implicadas y reducir el riesgo de interferencias externas. Sin embargo, no permite evaluar el posible efecto acumulado o repetido de la técnica a lo largo del tiempo, que sería más representativo del uso habitual de la fisioterapia respiratoria en la práctica clínica, donde las intervenciones se aplican varias veces al día durante varios días consecutivos^{1,3}.

Por tanto, futuras investigaciones deberían explorar el impacto de aplicaciones seriadas o sostenidas de la técnica de compresión torácica rápida, tanto sobre la presión intracraneal como sobre otros parámetros respiratorios y clínicos relevantes en pacientes neurocríticos³.

5.4.4 No se midieron variables clínicas de impacto a largo plazo.

Aunque el estudio evaluó con gran nivel de detalle parámetros fisiológicos inmediatos como la presión intracraneal, la presión de perfusión cerebral, los flujos respiratorios y los valores gasométricos, no se incluyeron variables clínicas de seguimiento a medio o largo plazo. Entre ellas cabe destacar el tiempo de desconexión de la ventilación mecánica, la incidencia de neumonía asociada a la ventilación, la duración de la estancia en la UCI o en el hospital, la mortalidad o el estado funcional neurológico al alta³.

Este tipo de variables son esenciales para determinar el impacto clínico real de la intervención más allá de su seguridad fisiológica inmediata. La decisión de no incluirlas respondió al interés metodológico de aislar el efecto directo de la técnica evaluada y minimizar la influencia de múltiples factores clínicos no controlables en el contexto del paciente neurocrítico. Sin embargo, esta elección representa una limitación relevante en términos de aplicabilidad clínica global³.

En consecuencia, los resultados obtenidos en relación con la seguridad fisiológica de la técnica de compresión torácica rápida deberían ser complementados, en futuras investigaciones, con estudios centrados en variables de efectividad clínica y análisis de coste-efectividad, que permitan establecer su verdadero valor terapéutico en el entorno asistencial real³.

5.4.5 No se aplicó un sistema de enmascaramiento completo.

Aunque el estudio fue parcialmente ciego —los pacientes se encontraban bajo sedación profunda y el análisis estadístico fue realizado por personal externo sin conocimiento de la asignación de grupos—, no fue posible aplicar un sistema de enmascaramiento completo, ya que la técnica de compresión torácica rápida requiere una ejecución manual activa por parte del profesional. Esta circunstancia imposibilitó el cegamiento del fisioterapeuta responsable de la intervención³.

Esta limitación introduce un posible riesgo de sesgo de ejecución, aunque se considera reducido debido a la estandarización del procedimiento y al uso de registros objetivos, como los diferenciales de flujo, para asegurar la correcta aplicación de la técnica. Aun así, como ocurre en muchas intervenciones de fisioterapia manual, este tipo de sesgo resulta difícil de evitar por completo³.

Para mitigar esta limitación en futuras investigaciones, podrían explorarse alternativas como el desarrollo de dispositivos asistidos mecánicamente que estandaricen la aplicación o el uso de grabaciones protocolizadas para auditorías externas, lo que permitiría incrementar el control sobre la fidelidad de la intervención, asumiendo la dificultad de ello³.

5.4.6 Restricciones éticas que limitan ciertas mediciones o intervenciones.

Del mismo modo, no fue posible obtener el consentimiento informado directamente de los pacientes, dado su estado de sedación profunda y situación clínica crítica. Aunque esta circunstancia podría interpretarse como una limitación desde una perspectiva bioética, el estudio cumplió rigurosamente con la normativa vigente, recurriendo al consentimiento por representación legal a través del familiar más próximo y contando con la aprobación expresa del comité de ética de investigación correspondiente^{3,63}.

Este tipo de restricciones éticas refleja la tensión inherente entre el rigor científico y la protección de los derechos de los pacientes en contextos altamente vulnerables, como las unidades de cuidados intensivos. Al mismo tiempo, pone de manifiesto la necesidad de diseñar protocolos de investigación que se adapten éticamente a escenarios clínicos complejos, sin comprometer la validez científica ni los principios fundamentales de la bioética^{56,63}.

6. Conclusiones

La presente tesis doctoral se ha centrado en evaluar la seguridad fisiológica de la técnica de compresión torácica rápida en pacientes con lesión cerebral aguda bajo ventilación mecánica invasiva, partiendo de una necesidad clínica no resuelta y abordándola mediante una secuencia investigadora rigurosa, progresiva y coherente con los principios de la medicina basada en la evidencia.

En primer lugar, se desarrolló y publicó un protocolo metodológico detallado para la realización de un ensayo clínico controlado y aleatorizado, en el que se definieron las condiciones técnicas, criterios de inclusión y seguridad, así como los procedimientos de monitorización fisiológica necesarios para garantizar un control estricto durante la intervención. Este protocolo sentó las bases para un estudio sistemático, reproducible y con aplicabilidad clínica real.

Durante la ejecución inicial del ensayo, se documentó un caso clínico representativo en el que se observó un aumento inesperado de la presión parcial de oxígeno arterial tras la aplicación de la técnica, lo que reforzó la hipótesis de un posible beneficio fisiológico adicional más allá de la seguridad neurológica. Aunque este efecto no se confirmó de forma consistente en el análisis grupal posterior, el caso aportó una visión complementaria que permitió ajustar la interpretación y reforzar la pertinencia del estudio.

Finalmente, el ensayo clínico controlado y aleatorizado permitió evaluar con precisión el impacto inmediato de la técnica sobre variables fisiológicas críticas como la presión intracraneal, la presión de perfusión cerebral, la presión parcial de dióxido de carbono arterial, los flujos respiratorios y el equilibrio ácido-base. Los resultados obtenidos indican que la aplicación puntual de la técnica de compresión torácica rápida, en condiciones controladas y por profesionales entrenados, no provoca alteraciones adversas significativas en pacientes neurocríticos sedados, lo que respalda su seguridad fisiológica en el contexto de cuidados intensivos neurológicos.

Más allá de los datos obtenidos, esta tesis contribuye a cuestionar algunas restricciones clínicas tradicionales basadas más en el temor que en la evidencia, y propone un modelo metodológico transferible para seguir investigando intervenciones fisioterápicas en poblaciones críticas. A través de un enfoque progresivo —desde el diseño protocolizado, pasando por la observación individual, hasta la evaluación sistemática mediante un ensayo clínico aleatorizado—, se consolida una línea de investigación con potencial para transformar la práctica clínica en entornos altamente complejos.

La principal aportación de este trabajo reside no solo en los resultados concretos, sino en su capacidad para abrir una vía de conocimiento estructurada, segura y éticamente sólida, que fomente la implementación de fisioterapia basada en la evidencia en unidades de cuidados intensivos, con una visión integradora del paciente crítico neurológico.

En síntesis, las conclusiones principales que se derivan de esta tesis son las siguientes:

1. La técnica de compresión torácica rápida, aplicada en una única sesión y bajo condiciones de monitorización estricta, es fisiológicamente segura en pacientes neurocríticos profundamente sedados.
2. No se observaron aumentos significativos de presión intracraneal ni descensos de presión de perfusión cerebral que comprometan la estabilidad neurológica.
3. El protocolo metodológico desarrollado es clínicamente viable y reproducible, lo que facilita su aplicación en otros centros.
4. Aunque no se detectaron beneficios clínicos inmediatos en parámetros como la presión parcial de dióxido de carbono arterial u oxigenación, se establecen las bases para investigaciones futuras centradas en aplicaciones repetidas, efectividad clínica y coste-efectividad.
5. El trabajo contribuye a modificar el enfoque excesivamente restrictivo que ha caracterizado tradicionalmente a la fisioterapia respiratoria en pacientes neurocríticos, proponiendo una visión más matizada, racional y basada en datos objetivos.

7. Bibliografía

1. Rodrigues-Gomes RM, Martí JD, Rolán RM, Gelabert-González M. Rapid chest compression effects on intracranial pressure in patients with acute cerebral injury. *Trials*. 2022;23(1). doi:10.1186/s13063-022-06189-w
2. Rodrigues-Gomes RM, Martínez Rolán R, Gelabert-González M. Effects of rapid chest compression on intracranial pressure in a patient with subarachnoid hemorrhage: Case report. *Fisioterapia*. 2024;46(3):158-161. doi:10.1016/j.ft.2024.01.004
3. Rodrigues-Gomes RM, Prieto Campo Á, Martínez Rolán R, Gelabert-González M. Effects of rapid chest compression technique on intracranial and cerebral perfusion pressures in acute neurocritical patients: a randomized controlled trial. *Crit Care*. 2025;29(1). doi:10.1186/s13054-025-05405-8
4. Svedung Wettervik T, Fahlström M, Enblad P, Lewén A. Cerebral Pressure Autoregulation in Brain Injury and Disorders—A Review on Monitoring, Management, and Future Directions. *World Neurosurg*. 2022;158:118-131. doi:10.1016/j.wneu.2021.11.027
5. Meyfroidt G, Bouzat P, Casaer MP, et al. Management of moderate to severe traumatic brain injury: an update for the intensivist. *Intensive Care Med*. 2022;48(6):649-666. doi:10.1007/s00134-022-06702-4
6. Magid-Bernstein J, Girard R, Polster S, et al. Cerebral hemorrhage: Pathophysiology, treatment, and future directions. *Circ Res*. 2022;130(8):1204-1229. doi:10.1161/CIRCRESAHA.121.319949
7. Svedung Wettervik T, Fahlström M, Enblad P, Lewén A. Cerebral Pressure Autoregulation in Brain Injury and Disorders—A Review on Monitoring, Management, and Future Directions. *World Neurosurg*. 2022;158:118-131. doi:10.1016/j.wneu.2021.11.027
8. Puy L, Parry-Jones AR, Sandset EC, Dowlathshahi D, Ziai W, Cordonnier C. Intracerebral haemorrhage. *Nat Rev Dis Primers*. 2023;9(1). doi:10.1038/s41572-023-00424-7
9. Chou SHY, Sherry D, Chou HY, Chou D. *Subarachnoid Hemorrhage*. Vol 27.; 2021.
10. Jha RM, Sheth KN. 2023 Neurocritical Care Updates in Cerebrovascular Disease. *Stroke*. 2023;54(10):2671-2675. doi:10.1161/STROKEAHA.123.043018
11. Hawryluk GWJ, Citerio G, Hutchinson P, et al. Intracranial pressure: current perspectives on physiology and monitoring. *Intensive Care Med*. 2022;48(10):1471-1481. doi:10.1007/s00134-022-06786-y
12. Brasil S, Patriota GC, Godoy DA, Paranhos JL, Rubiano AM, Paiva WS. Monro-Kellie 4.0: moving from intracranial pressure to intracranial dynamics. *Crit Care*. 2025;29(1). doi:10.1186/s13054-025-05476-7
13. Battaglini D, Siwicka Gieroba D, Brunetti I, et al. Mechanical ventilation in neurocritical care setting: A clinical approach. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2021;35(2):207-220. doi:10.1016/j.bpa.2020.09.001
14. Robba C, Battaglini D, Abbas A, et al. Clinical practice and effect of carbon dioxide on outcomes in mechanically ventilated acute brain-injured

- patients: a secondary analysis of the ENIO study. *Intensive Care Med.* 2024;50(2):234-246. doi:10.1007/s00134-023-07305-3
15. Frisvold S, Coppola S, Ehrmann S, Chiumello D, Guérin C. Respiratory challenges and ventilatory management in different types of acute brain-injured patients. *Crit Care.* 2023;27(1). doi:10.1186/s13054-023-04532-4
 16. Giosa L, Collins PD, Shetty S, et al. Bedside Assessment of the Respiratory System During Invasive Mechanical Ventilation. *J Clin Med.* 2024;13(23). doi:10.3390/jcm13237456
 17. Sun Z, Liu J, Dong S, Duan X, Xue F, Miao X. Prognostic predictive value of intracranial pressure and cerebral oxygen metabolism monitoring in patients with spontaneous intracerebral hemorrhage. *Acta Neurol Belg.* 2023;123(5):1815-1821. doi:10.1007/s13760-022-02037-5
 18. Bassi T, Taran S, Girard TD, Robba C, Goligher EC. Ventilator-associated Brain Injury A New Priority for Research in Mechanical Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2024;209(10):1186-1188. doi:10.1164/rccm.202401-0069VP
 19. Ntoumenopoulos G. Are Short-Term Changes in Physiological Variables in ICU Patients as a Result of Physiotherapy of Any Clinical Relevance? *Respir Care.* 2023;68(4):549-552. doi:10.4187/respcare.10897
 20. Cinotti R, Citerio G, Asehnoune K. Extubation in neurocritical care patients: lesson learned. *Intensive Care Med.* 2023;49(2):230-232. doi:10.1007/s00134-022-06907-7
 21. Lindholz M, Schellenberg CM, Grunow JJ, et al. Mobilisation of critically ill patients receiving norepinephrine: a retrospective cohort study. *Crit Care.* 2022;26(1). doi:10.1186/s13054-022-04245-0
 22. Singh S, Chouhan RS, Bindra A, Radhakrishna N. Comparison of effect of dexmedetomidine and lidocaine on intracranial and systemic hemodynamic response to chest physiotherapy and tracheal suctioning in patients with severe traumatic brain injury. *J Anesth.* 2018;32(4):518-523. doi:10.1007/s00540-018-2505-9
 23. Reychler G, Audag N, Prieur G, Poncin W, Contal O. Guidelines for the management of airway mucus secretions by airway clearance techniques. *Rev Mal Respir.* 2024;41(7):512-537. doi:10.1016/j.rmr.2024.06.001
 24. Herrero-Cortina B, Lee AL, Oliveira A, et al. European Respiratory Society statement on airway clearance techniques in adults with bronchiectasis. *European Respiratory Journal.* 2023;62(1). doi:10.1183/13993003.02053-2022
 25. Goetz RL, Vijaykumar K, Solomon GM. Mucus Clearance Strategies in Mechanically Ventilated Patients. *Front Physiol.* 2022;13. doi:10.3389/fphys.2022.834716
 26. Pun BT, Balas MC, Barnes-Daly MA, et al. Caring for Critically Ill Patients with the ABCDEF Bundle: Results of the ICU Liberation Collaborative in Over 15,000 Adults. *Crit Care Med.* 2019;47(1):3-14. doi:10.1097/CCM.0000000000003482
 27. Raurell-Torredà M, Regaira-Martínez E, Planas-Pascual B, et al. Early mobilisation algorithm for the critical patient. Expert recommendations. *Enferm Intensiva.* 2021;32(3):153-163. doi:10.1016/j.enfi.2020.11.001

28. Paton M, Chan S, Serpa Neto A, et al. Association of active mobilisation variables with adverse events and mortality in patients requiring mechanical ventilation in the intensive care unit: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Respir Med*. 2024;12(5):386-398. doi:10.1016/S2213-2600(24)00011-0
29. Gomes Mourão Lima J, Felipe da Fonseca Reis L, Mendes Moura F, Peixoto Vinha de Souza C, Mendes Walchan E, Bergmann A. *Manual Chest Compression in Experimental Model of Atelectasis in Rats Wistar*. Vol 21.; 2008.
30. de Oliveira TF, Peringer VS, Forgiarini Junior LA, Eibel B. PEEP-ZEEP Compared with Bag Squeezing and Chest Compression in Mechanically Ventilated Cardiac Patients: Randomized Crossover Clinical Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(4):2824. doi:10.3390/ijerph20042824
31. Volpe MS, Guimarães FS, Morais CaCA. Airway clearance techniques for mechanically ventilated patients: Insights for optimization. *Respir Care*. 2020;65(8):1174-1188. doi:10.4187/respcare.07904
32. Oliveira ACO, Lorena DM, Gomes LC, Amaral BLR, Volpe MS. Effects of manual chest compression on expiratory flow bias during the positive end-expiratory pressure-zero end-expiratory pressure maneuver in patients on mechanical ventilation. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 2019;45(3). doi:10.1590/1806-3713/e20180058
33. Martí JD, Martínez-Alejos R, Pilar-Díaz X, et al. Effects of Mechanical Insufflation-Exsufflation With Different Pressure Settings on Respiratory Mucus Displacement During Invasive Ventilation. *Respir Care*. 2022;67(12):1508-1516. doi:10.4187/respcare.10173
34. Sánchez-García M, Álvarez-González M, Domingo-Marín S, et al. Comparison of Mechanical Insufflation-Exsufflation and Hypertonic Saline and Hyaluronic Acid With Conventional Open Catheter Suctioning in Intubated Patients. *Respir Care*. 2024;69(5):575-585. doi:10.4187/respcare.11566
35. Lippi L, de Sire A, D'Abrosca F, et al. Efficacy of Physiotherapy Interventions on Weaning in Mechanically Ventilated Critically Ill Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9. doi:10.3389/fmed.2022.889218
36. Farley C, Oliveira A, Brooks D, Newman ANL. The Effects of Inspiratory Muscle Training in Critically ill Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Intensive Care Med*. Published online 2025. doi:10.1177/08850666251317473
37. Martí JD, Li Bassi G, Rigol M, et al. Effects of manual rib cage compressions on expiratory flow and mucus clearance during mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 2013;41(3):850-856. doi:10.1097/CCM.0b013e3182711b52
38. Tronstad O, Martí JD, Ntoumenopoulos G, Gosselink R. An Update on Cardiorespiratory Physiotherapy during Mechanical Ventilation. *Semin Respir Crit Care Med*. 2022;43(3):390-404. doi:10.1055/s-0042-1744307
39. Ferreira LL, Valenti VE, Vanderlei LCM. Fisioterapia respiratória na pressão intracraniana de pacientes graves internados em unidade de terapia

- intensiva: Revisão sistemática. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2013;25(4):327-333. doi:10.5935/0103-507X.20130055
40. Tomar GS, Singh GP, Bithal P, Upadhyay AD, Chaturvedi A. Comparison of Effects of Manual and Mechanical Airway Clearance Techniques on Intracranial Pressure in Patients With Severe Traumatic Brain Injury on a Ventilator: Randomized, Crossover Trial. *Phys Ther*. 2019;99(4):388-395. doi:10.1093/ptj/pzy141
 41. Olson DWM, Thoyre SM, Bennett SN, Stoner JB, Graffagnino C. Effect of mechanical chest percussion on intracranial pressure: A pilot study. *American Journal of Critical Care*. 2009;18(4):330-335. doi:10.4037/ajcc2009523
 42. da Silva Naue W, Alberto Forgiarini Junior L, Simões Dias A, Regina Rios Vieira S. *Chest Compression with a Higher Level of Pressure Support Ventilation: Effects on Secretion Removal, Hemodynamics, and Respiratory Mechanics in Patients on Mechanical Ventilation* Compressão Torácica Com Incremento Da Pressão Em Ventilação Com Pressão de Suporte: Efeitos Na Remoção de Secreções, Hemodinâmica e Mecânica Pulmonar Em Pacientes Em Ventilação Mecânica*. Vol 40.; 2014. <http://www.>
 43. Boone MD, Jinadasa SP, Mueller A, et al. The Effect of Positive End-Expiratory Pressure on Intracranial Pressure and Cerebral Hemodynamics. *Neurocrit Care*. 2017;26(2):174-181. doi:10.1007/s12028-016-0328-9
 44. Toledo C, Garrido C, Troncoso E, Lobo SM. Effects of respiratory physiotherapy on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in severe traumatic brain injury patients. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2008;20(4):339-343.
 45. Thiesen RA, Dragosavac D, Roquejani AC, et al. [Influence of the respiratory physiotherapy on intracranial pressure in severe head trauma patients]. *Arq Neuropsiquiatr*. 2005;63(1):110-113. doi:10.1590/s0004-282x2005000100020
 46. Luiz De Cerqueira-Neto M, Vieira Moura Á, Scola RH, et al. *The Effect of Breath Physiotherapeutic Maneuvers on Cerebral Hemodynamics A Clinical Trial*. Vol 68.; 2010.
 47. Cerqueira Neto ML de, Moura ÁV, Cerqueira TCF, et al. Acute effects of physiotherapeutic respiratory maneuvers in critically ill patients with craniocerebral trauma. *Clinics (Sao Paulo)*. 2013;68(9):1210-1214. doi:10.6061/clinics/2013(09)06
 48. Waraich M, Ajayan N. Clinical neuroprotection and secondary neuronal injury mechanisms. *Anaesthesia and Intensive Care Medicine*. 2024;25(1):16-22. doi:10.1016/j.mpaic.2023.11.009
 49. Sandroni C, Cronberg T, Sekhon M. Brain injury after cardiac arrest: pathophysiology, treatment, and prognosis. *Intensive Care Med*. 2021;47(12):1393-1414. doi:10.1007/s00134-021-06548-2
 50. Moseley AM, Elkins MR, Van der Wees PJ, Pinheiro MB. Using research to guide practice: The Physiotherapy Evidence Database (PEDro). *Braz J Phys Ther*. 2020;24(5):384-391. doi:10.1016/j.bjpt.2019.11.002

51. Leong S, Shaipanich T, Lam S, Yasufuku K. Diagnostic bronchoscopy-- current and future perspectives. *J Thorac Dis.* 2013;5(SUPPL.5). doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2013.09.08
52. Blakeman TC, Scott JB, Yoder MA, Capellari E, Strickland SL. AARC Clinical Practice Guidelines: Artificial Airway Suctioning. *Respir Care.* 2022;67(2):258-271. doi:10.4187/respcare.09548
53. Murad H, Asi N, Alsawas M, Alahdab F. New evidence pyramid. 2016;21(4). doi:10.1136/ebmed
54. Bezzi MG, Brovia CC, Carballo JM, et al. Impact of implementing a protocol of respiratory care measures and optimization of mechanical ventilation in potential lung donors. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2020;32(4):571-577. doi:10.5935/0103-507X.20200095
55. Battle C, Pelo C, Hsu J, et al. Expert consensus guidance on respiratory physiotherapy and rehabilitation of patients with rib fractures: An international, multidisciplinary e-Delphi study. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 2023;94(4):578-583. doi:10.1097/TA.0000000000003875
56. Schulz KF, Altman DG, Moher D, CONSORT Group. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ.* 2010;340:c332. doi:10.1136/bmj.c332
57. Averitt AJ, Ryan PB, Weng C, Perotte A. A conceptual framework for external validity. *J Biomed Inform.* 2021;121. doi:10.1016/j.jbi.2021.103870
58. Kho ME, Berney S, Pastva AM, et al. Early In-Bed Cycle Ergometry in Mechanically Ventilated Patients. *NEJM Evidence.* 2024;3(7). doi:10.1056/evidoa2400137
59. Zink EK, Kumble S, Beier M, George P, Stevens RD, Bahouth MN. Physiological Responses to In-Bed Cycle Ergometry Treatment in Intensive Care Unit Patients with External Ventricular Drainage. *Neurocrit Care.* 2021;35(3):707-713. doi:10.1007/s12028-021-01204-5
60. da Silva Destro TR, de Campos Biazon TMP, Pott-Junior H, et al. Early passive mobilization increases vascular reactivity response in critical patients with sepsis: a quasi-experimental study. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2023;34(4):461-468. doi:10.5935/0103-507X.20220132-en
61. Vollenweider R, Manettas AI, Häni N, de Bruin ED, Knols RH. Passive motion of the lower extremities in sedated and ventilated patients in the ICU – a systematic review of early effects and replicability of Interventions. *PLoS One.* 2022;17(5 May). doi:10.1371/journal.pone.0267255
62. Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 Statement: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ (Online).* 2010;340(7748):698-702. doi:10.1136/bmj.c332
63. Boyd KM. Medical ethics: Principles, persons, and perspectives: From controversy to conversation. *J Med Ethics.* 2005;31(8):481-486. doi:10.1136/jme.2003.005710

Declaración sobre licencias y derechos de autor

Declaración sobre licencias y derechos de autor

El artículo “*Effects of manual rapid chest compression on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in critically ill patients with severe acute brain injury: study protocol for a randomized controlled trial*”, cuyo autor principal es Ricardo Miguel Rodrigues Gomes, publicado en la revista *Trials* en el año 2022, se encuentra difundido bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Este contenido se reproduce íntegramente en esta tesis doctoral, en cumplimiento de las condiciones establecidas por dicha licencia, que permite su uso, distribución, adaptación y reproducción en cualquier medio, incluso con fines comerciales, siempre que se dé crédito adecuado al autor original y a la fuente.

De acuerdo con los términos de la licencia:

- Se ha atribuido adecuadamente el trabajo al autor principal y coautores, indicando el título del artículo, la revista, el año de publicación y el DOI correspondiente.
- No se han realizado modificaciones sobre el contenido original del artículo tal como fue publicado.
- Las figuras o materiales de terceros incluidos en el artículo están cubiertos por la misma licencia, salvo que se indique lo contrario en una nota específica de los autores o editores.
- Se incluye un enlace a la licencia completa: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

De las demás publicaciones aportamos capturas de pantalla de las autorizaciones expresas de las revistas.

Fisioterapia

RE: Copy of 250616-014260: Autorización para inclusión en tesis doctoral [250619-015453] Recibidos x

EISMAN, M^ª EUGENIA (ELS-HBE) <E.Eisman@elsevier.com>
para mí

vie, 20 jun, 18:22 ☆ ☺ ↶

 Traducir al español ×

Buenas tardes;

En relación con su petición, Elsevier le concede el permiso para el uso descrito en el hilo de este correo, sin coste alguno. Por favor, mencione la fuente original en la que se publicó el artículo.

Atentamente,

M^ª Eugenia EISMAN, M^ª EUGENIA (ELS-MAD)

Publisher Revista FISIOTERAPIA

Contact Information

- Email Address: ric.mg.gomes@gmail.com
- First Name: Ricardo Miguel
- Last Name: Rodrigues-Gomes

June 19, 2025 09:42 AM GMT

Hola,

Soy Ricardo Rodrigues-Gomes y publiqué en vuestra revista el caso clínico con el DOI: [10.1016/j.ri.2024.01.004](https://doi.org/10.1016/j.ri.2024.01.004)
Os pido permiso para su inclusión en mi tesis doctoral, que realizo actualmente en la USC.

Muchas gracias



This email is for use by the intended recipient and contains information that may be confidential. If you are not the intended recipient, please notify the sender by return email and delete this email from your inbox. Any unauthorized use or distribution of this email, in whole or in part, is strictly prohibited and may be unlawful. Any price quotes contained in this email are merely indicative and will not result in any legally binding or enforceable obligation. Unless explicitly designated as an intended e-contract, this email does not constitute a contract offer, a contract amendment, or an acceptance of a contract offer.

Elsevier Limited. Registered Office: 125 London Wall, London, EC2Y 5AS, Registration No. 1962084, Registered in England and Wales. [Privacy Policy](#)

Critical Care

RE: permission for inclusion in PhD thesis Ticket ID [#10057980] Recebidos



Patrizia Bianchi <patrizia.bianchi@springer.com>
para mí, journalsubmissions

26 jun 2025, 17:51 ☆ 🗑️ ↩️ ⋮

Traducir al español ✕

Dear Dr. Rodrigues-Gomes,

Thank for getting in touch.

The article Rodrigues-Gomes, R.M., Prieto Campo, Á., Martínez Rolán, R. et al. Effects of rapid chest compression technique on intracranial and cerebral perfusion pressures in acute neurocritical patients: a randomized controlled trial. Crit Care 29, 159 (2025). <https://doi.org/10.1186/s13054-025-05405-8> is published Open Access and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License, which permits any non-commercial use, sharing, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if you modified the licensed material. You do not have permission under this licence to share adapted material derived from this article or parts of it. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Thanks
Best wishes

Patrizia Bianchi
Senior Publisher

Fully Open Access Journals
Research Publishing

Springer-Verlag Italia S.r.l.
Via Decembrio, 28 - 20137
Milan, Italy
tel: +39-02-54259733
patrizia.bianchi@springer.com

Pursuant to G.D.P.R. No. 679/2016, you are hereby informed that this message contains confidential information for the sole use of the intended recipient, who is the only person authorized to use, copy, and, under his responsibility, disseminate the contents. If you are not the intended recipient of this e-mail or read it without entitlement, be advised that keeping, copying, disseminating or distributing this message to persons other than the intended recipient

Anexo II

Dictamen del Comité de Ética



XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DE SANIDADE



SERVIZO
GALEGO
de SAÚDE

Xerencia do Servizo
Galego de Saúde

galicia

DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN DE PONTEVEDRA-VIGO-OURENSE

María Asunción Verdejo González, Secretaria del Comité de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense

CERTIFICA:

Que este Comité evaluó en su reunión del día 18/02/2021 la modificación del estudio:

Título: Efectos de la compresión manual torácica rápida sobre la presión intracraneal en pacientes críticos en ventilación mecánica invasiva y con lesión cerebral aguda

Versión modificación: proyecto versión 3, 2021

Promotor: Ricardo Rodrigues Gomes

Investigadores: Ricardo Rodrigues Gomes

Código de Registro: 2018/446

Y que este Comité acepta de conformidad con sus procedimientos normalizados de trabajo y tomando en cuenta los requisitos éticos, metodológicos y legales exigibles a los estudios de investigación con seres humanos, sus muestras o registros, que dicha modificación sea incorporada al estudio de investigación mencionado.



Xacobeo 2021





Y HACE CONSTAR QUE:

1. El Comité Territorial de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense cumple tanto en su composición, como en sus procedimientos normalizados de trabajo, los requisitos legales vigentes.
2. La composición actual del Comité Territorial de Ética de la Investigación de Pontevedra - Vigo - Ourense es:
 - **D. Alfonso Casas Losada (Presidente)**, Médico especialista en Psiquiatría.
 - **D^a. María de las Mercedes Guerra García (Vicepresidenta)**, Farmacéutica de Atención Primaria.
 - **D^a. Asunción Verdejo González (Secretaria)**, Médica Especialista en Farmacología Clínica.
 - **D. Víctor del Campo Pérez (Secretario Suplente)**, Médico Especialista en Medicina Preventiva y Salud Pública.
 - **D^a. Marisol Aira Quintela**, Médica Especialista en Medicina Familiar y Comunitaria.
 - **D^a. Iria Aparicio Rodríguez**, Médica especialista en Obstetricia y Ginecología.
 - **D. Jorge Luis Arias Otero**, Licenciado en Físicas. Centro Tecnológico AIMEN.
 - **D. Paulo Bueno Capeáns**, Licenciado en Matemáticas. Experto en Protección de Datos.
 - **D^a Manuela Fernández Barreira**, Licenciada en Derecho.
 - **D^a. M^a Elena Gallardo Martín**, Médica Especialista en Oncología Médica.
 - **D. Adolfo Paradela Carreiro**, Farmacéutico de Atención Especializada.
 - **D. Eloy Sánchez Hernández**, Médico Especialista en Aparato Digestivo.
 - **D^a. Cristina Torreira Banzas**, Médica Especialista en Análisis Clínicos.
 - **D^a. Miriam Vázquez Campo**, Diplomada Universitaria de Enfermería.

Para que conste donde proceda y a petición de quien proceda.

En Vigo, la Secretaria del Comité Territorial de Ética de la Investigación de Pontevedra - Vigo - Ourense



**Conformidad para realización de Ensayo Clínico del Área
Sanitaria de Vigo**

CONFORMIDAD DE LA AUTORIDAD COMPETENTE PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS CLÍNICOS EN EL ÁREA SANITARIA DE VIGO

D. Francisco Javier Puente Prieto, en calidad de Gerente del Área Sanitaria de Vigo, vista la autorización del Comité de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense

CERTIFICA

1. Que conoce la propuesta realizada por el promotor Ricardo Rodrigues Gomes para que sea realizado en este Centro el PROYECTO DE INVESTIGACIÓN titulado: “Efectos de la compresión manual abdómino-torácica en la presión intracraneal”, coordinado por **D. Ricardo Rodrigues Gomes** Fisioterapeuta del Servicio de Rehabilitación del Área Sanitaria de Vigo, Hospital Álvaro Cunqueiro, como Investigador Principal del estudio.
2. Que el presente estudio no cuenta con ningún tipo de financiación ni conlleva la realización de pago alguno a ninguna de las partes implicadas.
3. Que acepta la realización de dicho estudio en este Centro.

Vigo, 21 de noviembre de 2023

Firma válida

Firmado digitalmente por PUENTE PRIETO
FRANCISCO JAVIER / 3032006E
Fecha: 24-11-2023 10:09
Motivo: Firma electrónica de ensayos clínicos

Fdo.: Francisco Javier Puente Prieto
Gerente Área Sanitaria de Vigo

Hoja de información y modelo de consentimiento informado

HOJA DE INFORMACIÓN A PARTICIPANTES ADULTOS

TÍTULO DEL ESTUDIO: Efectos de la compresión manual torácica sobre la presión intracraneal en pacientes críticos en ventilación mecánica invasiva y con lesión cerebral aguda

INVESTIGADOR: Ricardo Miguel Rodrigues Gomes

CENTRO: Hospital Álvaro Cunqueiro

Este documento tiene por objeto ofrecerle información sobre un **estudio de investigación** en el que se le invita a participar. **Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de Galicia.**

Se decide participar en el estudio, debe recibir información personalizada del investigador, **leer antes este documento** y hacer todas las preguntas que precise para comprender los detalles sobre lo mismo. Si así lo desea, puede llevar el documento, consultarlo con otras personas, y tomar el tiempo necesario para decidir si participar o no.

La participación en este estudio es completamente **voluntaria**. Ud. puede decidir no participar o, si acepta hacerlo, cambiar de parecer retirando el consentimiento en cualquier momento sin deber de dar explicaciones. Le aseguramos que esta decisión no afectará la relación con su médico ni a la asistencia sanitaria a la que Vd. tiene derecho.

¿Cuál es el propósito del estudio?

Este estudio pretende conocer los efectos de una técnica de fisioterapia respiratoria que ya se utiliza diariamente en el cuidado a los pacientes.

Por qué ofrecen participar a mi familiar/representado?

Su familiar/representado es invitado a participar porque padece una lesión cerebral aguda y está en ventilación mecánica invasiva.

¿En qué consiste la participación de mi familiar/representado?

La participación de su familiar/representado consiste en que se le aplique una técnica de fisioterapia respiratoria (grupo de estudio) o una técnica de fisioterapia motora (grupo de control). El hecho de que le toque una u otra técnica depende de un programa de aleatorización, o sea, el azar. Estas técnicas forman parte del tratamiento diario de fisioterapia que su familiar/representado recibe, dentro del trabajo de movilización y fisioterapia respiratoria precoces de esta Unidad de Cuidados Intensivos.

Los datos serán recogidos directamente por el personal investigador de los aparatos utilizados y de la consulta a la historia clínica.

Las técnicas serán aplicadas a mayores, sin cambiar la práctica clínica habitual y una sola vez.

La participación tendrá una duración total estimada de media hora, sin alterar el periodo de visitas.

Que molestias o inconvenientes tiene la participación de mi familiar/representado?

La participación de su familiar/representado no implica molestias adicionales a las de la práctica asistencial habitual.

Tal como en la práctica asistencial habitual, en caso de apareamiento de alguna alteración en las constantes vitales que se considere anormal, suspenderá de inmediato la realización de las técnicas.

Las alteraciones de constantes vitales fuera de rangos de normalidad que suspenden la aplicación de las técnicas en la práctica clínica habitual, tal como en este estudio, son: frecuencia cardiaca, saturación de oxígeno, presión intracraneal y presión arterial media.

No se espera que su familiar/representado obtenga beneficio directo por participar en el estudio. La investigación pretende descubrir aspectos desconocidos o poco claros sobre los efectos de la compresión manual torácica sobre la presión intracraneal en pacientes críticos en ventilación mecánica invasiva y con lesión cerebral aguda. Esta información podrá ser de utilidad en un futuro para otras personas.

Alternativas a la participación en este estudio

Si no quiere participar en este estudio, la única alternativa es la no participación.

¿Recibiré la información que se obtenga del estudio?

Si Ud. lo desea, se le facilitará un resumen de los resultados del estudio.

¿Se publicarán los resultados de este estudio?

Los resultados de este estudio serán remitidos a publicaciones científicas para su difusión, pero no se transmitirá ningún dato que pueda llevar a la identificación de los participantes.

¿Como se protegerá la confidencialidad de mis datos?

La obtención, tratamiento, conservación, comunicación y cesión de sus datos se hará conforme el dispuesto en el Reglamento General de Protección de Datos (Reglamento UE 2016-679 del Parlamento europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016) y la normativa española sobre protección de datos de carácter personal vigente.

La institución en la que se hace esta investigación es la responsable del tratamiento de sus datos, pudiendo contactar con el Delegado/a de Protección de Datos a través del siguiente medio: correo electrónico:

delegado.proteccion.datos@sergas.gal

Los datos necesarios para llevar a cabo este estudio serán recogidos y conservados de modo:

Seudonimizados (Codificados), la seudonimización es el tratamiento de datos personales de manera tal que no pueden atribuirse a un/una interesado/a sin que se use información adicional. En este estudio solamente el equipo investigador conocerá el código que permitirá saber su identidad.

La normativa que regula el tratamiento de datos de personas, le otorga el derecho a acceder sus datos, oponerse, corregirlos, cancelarlos, limitar su tratamiento, restringir o solicitar la supresión de los mismos. También puede solicitar una copia de estos o que esta sea remitida a un tercero (derecho de portabilidad).

Para ejercer estos derechos puede Vd. dirigirse al Delegado/a de Protección de Datos del centro a través de los medios de contacto antes indicados o con el investigador/a principal de este estudio: Ricardo Miguel Rodrigues Gomes en el teléfono 986825550 (Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital Álvaro Cunqueiro o dirección electrónica ricardo.miguel.rodrigues.gomes@sergas.es

Así mismo, Ud. tiene derecho a interponer una reclamación ante la Agencia Española de Protección de Datos, cuando considere que algún de sus derechos no fue respetado.

Únicamente el equipo investigador y las autoridades sanitarias, que tienen deber de guardar la confidencialidad, tendrán acceso a todos los datos recogidos por el estudio. Podrá transmitirse a terceros información que no pueda ser identificada. En caso de que alguna información se transmita a otros países, se realizará con un nivel de protección de datos equivalente, como mínimo, el establecido por la normativa española y europea.

Al rematar el estudio, en el plazo legal establecido, los datos recogidos serán eliminados o guardados de forma anónima para su uso en futuras investigaciones según lo que Ud. elija en la hoja de firma del consentimiento.

¿Existen intereses económicos en este estudio?

El investigador no recibirá ninguna retribución específica por la dedicación al estudio.

Su familiar/representado no será retribuido por participar.

No es posible que de los resultados del estudio se deriven productos comerciales o patentes.

¿Como contactar con el equipo investigador de este estudio?

Ud. puede contactar con Ricardo Miguel Rodrigues Gomes en el teléfono 986825550 (Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital Álvaro Cunqueiro o dirección electrónica ricardo.miguel.rodrigues.gomes@sergas.es

Muchas gracias por su colaboración.

DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO PARA REPRESENTANTE LEGAL PARA LA PARTICIPACIÓN EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

Título del estudio: Efectos de la compresión manual torácica sobre la presión intracraneal en pacientes críticos en ventilación mecánica invasiva y con lesión cerebral aguda

Yo, _____,

representante legal de _____

- Leí la hoja de información al participante del estudio arriba mencionado que se me entregó, pude conversar con: Ricardo Miguel Rodrigues Gomes y hacer todas las preguntas sobre el estudio.
- Comprendo que su participación es voluntaria, y que puede retirarse del estudio cuando quiera, sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en sus cuidados médicos.
- Accedo a que se utilicen sus datos en las condiciones detalladas en la hoja de información al participante.
- Presto libremente a mi conformidad para que participe en este estudio.

Cuando remate este estudio acepto que sus datos sean:

- Eliminados
- Conservados anonimizados para usos futuros en otras investigaciones

Fdo.:

El/La representante legal,

Fdo.:

El/La investigador/a que solicita el consentimiento,

Nombre y apellidos:

Fecha:

Nombre y apellidos:

Fecha:

Los pacientes con lesiones cerebrales agudas en ventilación mecánica tienen alto riesgo de complicaciones respiratorias. La compresión torácica rápida, útil en fisioterapia, genera dudas por su posible efecto sobre la presión intracraneal (PIC). Este trabajo evaluó su seguridad mediante un protocolo, un caso clínico y un ensayo clínico en UCI.

Los resultados muestran que la técnica no aumenta la PIC y se asocia a descensos transitorios de la PIC y la PaCO₂, con estabilidad hemodinámica.

En conclusión, aplicada bajo monitorización estricta, puede considerarse una herramienta segura y efectiva de higiene bronquial en pacientes neurocríticos.