



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

HOSPITAL ESPAÑOL

**FRACCIÓN DE ENGROSAMIENTO DE MUSCULOS
PARAESTERNALES EN COMBINACIÓN CON
ENGROSAMIENTO DIAFRAGMÁTICO COMO
PREDICTORES DE FRACASO DE LA PRUEBA DE
VENTILACIÓN ESPONTÁNEA**

TESIS

PARA OBTENER EL:

EN:
MEDICINA CRÍTICA

PRESENTA:
DRA. ALEJANDRA ESTEFANÍA REYES VIDAL

ASESORES:
**DRA. SANTA LÓPEZ MÁRQUEZ
DR. ERICK ROLANDO VIDAL ANDRADE**



HOSPITAL ESPAÑOL

[25 DE ABRIL 2024 CIUDAD DE MÉXICO]



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE LOS INVESTIGADORES Y AUTORES

Dra. Alejandra Estefanía Reyes Vidal

Médico residente de Segundo año del Curso de especialización en Medicina Crítica, Hospital Español/UNAM

Teléfono celular 8331811383. Teléfono Oficina: 52559600, extensiones 1111 y 1112.

Correo electrónico: arv89x@gmail.com.

Dirección: Av. Ejército Nacional Mexicano #613. Col. Granada. Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11520, Ciudad de México.

Dra. Santa López Márquez

Medico adscrito a la Unidad de Terapia Intensiva "Dr. Alberto Villazón S." Hospital Español. Sociedad de Beneficencia Española I.A.P.

Profesor Adjunto del Curso de especialización en Medicina Crítica, Hospital Español/UNAM
Teléfono celular 55 54 19 51 71 Teléfono Oficina: 52559600, extensiones 1111 y 1112.

Correo electrónico: docint2003@yahoo.com.

Dirección: Av. Ejército Nacional Mexicano #613. Col. Granada. Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11520, Ciudad de México.

Dr. Erick Rolando Vidal Andrade

Medico adscrito a la Unidad de Terapia Intensiva "Dr. Alberto Villazón S." Hospital Español. Sociedad de Beneficencia Española I.A.P.

Teléfono celular 55 10 69 50 47 Teléfono Oficina: 52559600, extensiones 1111 y 1112.

Correo electrónico: erickvidalandrade@gmail.com

Dirección: Av. Ejército Nacional Mexicano #613. Col. Granada. Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11520, Ciudad de México.

Dr. Ulises W. Cerón Díaz

Jefe de la Unidad de Terapia Intensiva "Dr. Alberto Villazón S." del Hospital Español. Sociedad de Beneficencia Española I.A.P.

Teléfono celular 55 55 41 81 42 07 Teléfono Oficina: 52559600, extensiones 1111 y 1112.

Correo electrónico: ulisesceron@prodigy.net.mx

Dirección: Av. Ejército Nacional Mexicano #613. Col. Granada. Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11520, Ciudad de México.

AGRADECIMIENTOS:

A mi familia por su incondicional apoyo y por siempre respaldar mis decisiones poco convencionales. Los amo.

A mis profesores por su constante guía, apoyo, y por enseñarme sobre todo a reconocer las cualidades que poseo y explotarlas al máximo, y por inspirarme a ser la mejor intensivista que exista.

A mis amigos, gracias por las risas y por las experiencias vividas.

A toda la gente que conocí en estos dos años gracias, el crecimiento y madurez profesional y personal que obtuve son invaluableles.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEORICO	1
DISFUNCIÓN DE LA MUSCULATURA DEL SISTEMA RESPIRATORIO Y DISFUNCIÓN DIAFRAGMATICA ASOCIADA A VENTILACIÓN MECÁNICA	2
LIBERACIÓN DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA	4
EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN DE LA MUSCULATURA RESPIRATORIA EN PACIENTES CON VENTILACIÓN MECÁNICA:	5
EL PAPEL DEL ULTRASONIDO EN LA VALORACIÓN DE LA FUNCIÓN DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS.....	6
Evaluación ultrasonográfica del diafragma.....	6
Evaluación ultrasonográfica de músculos intercostales.....	7
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	11
JUSTIFICACIÓN	11
OBJETIVO PRIMARIO	11
OBJETIVOS SECUNDARIOS	11
HIPÓTESIS NULA	11
HIPÓTESIS ALTERNATIVA.....	12
TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO.....	12
UNIVERSO DE TRABAJO	12
POBLACIÓN.....	12
CRITERIOS DE SELECCIÓN	12
Criterios de inclusión	12
Criterios de exclusión	12
Criterios de eliminación.....	13
TÉCNICA DE MUESTREO.....	13
INTERVENCIÓN A REALIZAR	13
DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	15
MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS: INSTRUMENTOS, RECURSOS Y PROCESOS.....	17
Recursos humanos.....	17

Recursos materiales.....	17
Conflictos de interés	17
Financiaciones	17
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	17
CONSIDERACIONES ÉTICAS	18
RESULTADOS	19
DISCUSIÓN.....	25
CONCLUSIONES	27
HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	31
CONSENTIMIENTO INFORMADO.....	32

INTRODUCCIÓN

En los pacientes críticos con falla respiratoria aguda la ventilación mecánica se utiliza con la finalidad de mejorar la oxigenación, la ventilación, y reducir el trabajo respiratorio. El efecto en el trabajo del sistema respiratorio es variable y dependiente de la patología basal. En las últimas décadas se han identificado factores relacionados con la ventilación mecánica que influyen en la morbimortalidad. Uno de ellos es el daño muscular asociado a la ventilación, el cual puede ser inducido por sobreasistencia ventilatoria que condiciona atrofia, o daño por exceso de carga y actividad muscular con la consecuente disfunción diafragmática, siendo una de las causas principales de fracaso al destete de la ventilación mecánica, fracaso a la extubación, lo cual aumenta los tiempos de estancia en Terapia intensiva, el riesgo de neumonía asociada a la ventilación mecánica (NAV) y requerimiento de intervenciones adicionales como la realización de traqueostomía.

Tradicionalmente se han utilizado métodos invasivos para realizar el cálculo del trabajo respiratorio (*work of breathing, WOB*) mediante el uso de manometría esofágica, sin embargo, son métodos que no se disponen ampliamente y cuya utilización puede ser compleja.

Durante los últimos años se ha dirigido la atención al uso de ultrasonido para evaluar la integridad muscular del diafragma, y recientemente se ha prestado atención a la actividad de la musculatura extra-diafragmática. Es un método no invasivo, de bajo costo, fácilmente reproducible y sin efectos adversos para el paciente. En pacientes con ventilación mecánica con duración mayor a 24 horas, tiempo en el que ya se inicia la lesión muscular, el uso de ultrasonografía permite detectar dicha disfunción y favorece el proceso de destete de ventilación mecánica por medio de las medidas de rehabilitación física y pulmonar.

MARCO TEORICO

En las unidades de cuidados intensivos (UCI) la intubación orotraqueal y ventilación mecánica invasiva son procedimientos frecuentes en pacientes con falla respiratoria aguda. Una vez iniciados, y en tanto se resuelven los problemas de origen, se debe de planear y realizar un adecuado protocolo de liberación de la ventilación mecánica. La ventilación mecánica prolongada se relaciona con mayor tiempo de estancia en la UCI y aumento en la mortalidad, especialmente en grupos de pacientes específicos como aquellos con antecedente de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).⁽¹⁾

Es de vital importancia, el papel que ejerce la musculatura, para lograr una ventilación alveolar eficaz. Existe el término “bomba respiratoria”, la cual se compone de los elementos óseos y musculares que permiten realizar la respiración, estos son la caja torácica, el diafragma, los músculos de la pared torácica y los músculos de la pared abdominal. La función de estos en conjunto permite la respiración, al trabajar de manera coordinada; su adecuada función dependerá de la carga impuesta en el sistema respiratorio, cualquier situación que condicione un desequilibrio en su función tendrá como consecuencia fatiga muscular y el desenlace será el fracaso respiratorio. ⁽²⁾

Factores determinantes de la carga impuesta en el sistema respiratorio como la elastancia de la pared torácica y la resistencia de la vía aérea deben ser superados por la fuerza ejercida por los músculos inspiratorios, al generar gradientes de presión, lográndose con una capacidad neuromuscular integra (equilibrio en el drive respiratorio, neurotransmisión y fuerza muscular), así como integridad de los elementos anatómicos y neurovasculares que permiten tolerar la carga impuesta, al tener un adecuado balance entre la oferta y la demanda de energía de este sistema. ⁽³⁾

La presión transdiafragmática traduce un gradiente de presión y la carga que debe vencer el diafragma para permitir su desplazamiento hacia la cavidad abdominal, negativizando la presión pleural y permitiendo la expansión pulmonar, incrementando concomitantemente la presión abdominal al desplazar el contenido abdominal hacia abajo.

Puede ser expresada con la siguiente formula: ⁽⁴⁾

$$P_{di} = P_{pl} - P_{abd}$$

Donde:

- P_{di}: presión transdiafragmática
- P_{pl}: presión pleural
- P_{abd}: presión abdominal

DISFUNCIÓN DE LA MUSCULATURA DEL SISTEMA RESPIRATORIO Y DISFUNCIÓN DIAFRAGMÁTICA ASOCIADA A VENTILACIÓN MECÁNICA

Los pacientes críticamente enfermos que requieren de ventilación mecánica invasiva, se encuentran con un problema que afecta la morbimortalidad e influye en el tiempo de estancia en la UCI. La disfunción diafragmática ha sido reportada con una prevalencia dos veces mayor a la debilidad adquirida en UCI y existe hasta en 80% de los pacientes que se encuentran en protocolo de liberación de la ventilación

mecánica invasiva, siendo reconocida en años recientes como disfunción diafragmática asociada a la ventilación mecánica (DDAVM) o miotrauma. ⁽⁵⁾

La ventilación mecánica invasiva (VMI) es una terapia de soporte para la insuficiencia respiratoria aguda, la cual nos ayuda de diversas formas a mejorar el estado clínico del paciente. Permite disminuir la carga impuesta al sistema respiratorio y por lo tanto la fatiga respiratoria, al igual que en circunstancias en donde encontramos pacientes con estados de demanda metabólica y hemodinámica elevados, nos permite disminuir esta demanda en el sistema respiratorio y mejorar la disponibilidad de flujo sanguíneo en otros órganos, previniendo el llamado fenómeno de “robo ventilatorio”. ⁽⁶⁾ En pacientes con ventilación mecánica se producen diversos fenómenos que influyen en el desarrollo de DDAVM. La ventilación mecánica reduce la resistencia del diafragma para vencer una carga impuesta. En estos pacientes existen cambios en las fibras musculares que impiden su adecuada función, en cambio el estímulo neural está incrementado. El mecanismo fisiopatológico responsable no se encuentra claramente definido, no obstante, en estudios experimentales se han hecho hallazgos de incremento en la concentración de marcadores de estrés oxidativo en la musculatura respiratoria. ⁽⁷⁾

Este incremento en la concentración y actividad de dichos marcadores inicia en modelos animales dentro de las primeras 6 hrs de inicio de la VMI. Uno de los efectos de estos marcadores es la disrupción de las miofibrillas, vacuolas lipídicas en el sarcoplasma y disfunción en la función mitocondrial, asociándose a sobreactividad del sistema xantina-oxidasa que es fuente de radicales libres como superóxido. Igualmente se encuentran involucrados procesos de proteólisis por activación de calpaínas, que son enzimas con actividad proteolítica. También se ha descrito, el daño asociado a la inactividad diafragmática, secundaria a atrofia por desuso. Los cambios en las miofibrillas se deben, a la capacidad de las fibras musculares tipo 1 y 2 para cambiar la conformación de su cadena pesada de miosina, y pueden modificarla a un patrón de hipertrofia o atrofia, encontrándose mayor compromiso en las fibras musculares tipo 2. ⁽⁷⁾

Existen cuatro tipos de miotrauma:

1. Miotrauma por sobreasistencia ventilatoria
2. Miotrauma por asistencia ventilatoria insuficiente
3. Miotrauma excéntrico.
4. Miotrauma durante la espiración

En la sobre-asistencia con la ventilación mecánica, ocurre un efecto de abolición del estímulo de la respiración, lo que implica, remoción completa de la carga impuesta en la musculatura, pérdida de su actividad espontánea, siendo movilizados los músculos de forma pasiva por la acción del ventilador mecánico, lo que conduce a atrofia por los mecanismos previamente mencionados. ⁽⁷⁾

En la asistencia ventilatoria insuficiente para retirar la carga de la musculatura respiratoria, el diafragma continúa con carga mecánica impuesta que excede su capacidad de resistencia, por lo cual se desarrolla lesión diafragmática y disfunción de la contractilidad. Este tipo de miotrauma puede inducir lesión pulmonar al condicionar efecto de péndulo, término traducido del alemán *pendelluft*, en el cual hay desplazamiento de aire entre unidades alveolares con diferentes capacidades, pudiendo ocasionar heterogeneidad en la distribución de la presión transpulmonar en zonas dependientes al propiciar sobredistensión. ⁽⁸⁾

El mecanismo de miotrauma excéntrico se refiere al cambio de conformación en las fibras musculares sufren elongación (contracción excéntrica), a diferencia de la contracción concéntrica en la cual se acortan, siendo la contracción excéntrica la que se asocia a mayor daño. La contracción excéntrica ocurre cuando la fibra muscular se encuentra en proceso de elongación (y relajación) durante la espiración, y experimenta contracción durante este proceso. Esto puede ocurrir en casos de colapso de regiones pulmonares (atelectasias) o en casos de lesión pulmonar aguda, al contraerse las fibras musculares para evitar la caída del volumen residual. A este fenómeno se le llama “frenado espiratorio”. ⁽⁸⁾

Se ha descrito una cuarta forma de miotrauma, relacionada también con la espiración llamada miotrauma por atrofia longitudinal, esto ha sido observado al aplicar presión positiva al final de la espiración (PEEP), aumentando el volumen pulmonar al final de la espiración, esto condiciona menor longitud de las fibras musculares que puede llevar a atrofia. ⁽⁹⁾

Casi la mitad de los pacientes en UCI requieren de VM y 20% de ellos experimentan dificultad para el destete y por tanto ventilación mecánica prolongada. La limitación de la movilidad de los pacientes críticos y desuso de la musculatura inspiratoria promueve disfunción muscular de forma temprana, especialmente cuando se requiere soporte ventilatorio por más de 1 semana. Aunque el diafragma es mucho más sensible que otros músculos ante el desuso, los músculos intercostales también están involucrados en esta problemática. ⁽¹⁰⁾

LIBERACIÓN DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA

El proceso de liberación de la ventilación mecánica (*weaning*) es un proceso de vital importancia, que inicia desde la elección del paciente candidato a iniciar el protocolo hasta la decanulación y desconexión del ventilador mecánico. Tiene seis fases previamente propuestas por Martin J. Tobin, las cuales son: ⁽¹¹⁾

1. Tratamiento de la insuficiencia respiratoria aguda.
2. Determinar que el paciente se encuentra en condiciones de iniciar destete.
3. Evaluación del paciente con pruebas fisiológicas ($f/V_t < 75$ o presión inspiratoria máxima (MIP))
4. Prueba de ventilación espontánea
5. Extubación
6. Re-intubación

* f/V_t : Índice de Tobin y Yang, relación entre frecuencia respiratoria y volumen corriente.

Y de acuerdo al tiempo que tome el protocolo de destete se ha clasificado en ⁽¹⁰⁾:

1. Destete simple
2. Destete difícil
3. Destete prolongado

EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN DE LA MUSCULATURA RESPIRATORIA EN PACIENTES CON VENTILACIÓN MECÁNICA:

El término de "carga del sistema respiratorio" (del inglés *respiratory load*) y el estudio de cómo la musculatura del sistema respiratorio vence dicha carga, han sido temas de interés en las últimas décadas en el paciente crítico y sus implicaciones en la evolución clínica. Esta puede medirse de distintas maneras, la más frecuentemente utilizada es aquella que valora las presiones a nivel gástrico (como subrogado de la presión abdominal) y a nivel esofágico (subrogado de presión pleural) y la diferencia entre estas determina la presión transdiafragmática, que es aquella "carga" que debe vencer el diafragma al contraerse para lograr una ventilación eficaz. Sin embargo, requieren de métodos invasivos y que no tienen disponibilidad en las unidades de terapia intensiva. ⁽⁴⁾

Bellamare y Grassino en 1982 aplicaron el concepto del índice de tensión/tiempo en la función del diafragma, donde la relación entre el tiempo inspiratorio/el tiempo total multiplicada por la fracción de presión transdiafragmática (principales determinantes de la demanda de energía), representa un valor que nos habla de la capacidad de resistencia del músculo diafragmático ante una carga sobrepuesta que incrementa la demanda de energía, valores por encima de 0.15 se asocian a poca resistencia de la musculatura ante una carga y consecuente fatiga muscular diafragmática. La tolerancia a esta carga será solo por tiempo limitado. ⁽¹²⁾

EL PAPEL DEL ULTRASONIDO EN LA VALORACIÓN DE LA FUNCIÓN DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS

Evaluación ultrasonográfica del diafragma

Se ha demostrado en años recientes la utilidad de las mediciones por ultrasonografía de grosor diafragmático para la evaluación de la actividad diafragmática. El diafragma es el músculo principalmente responsable de la ventilación eficaz, y este tiene forma de domo. Para realizar una medición correcta se debe buscar en la línea axilar anterior, en la zona de aposición se verá como una estructura con dos membranas hiperecoicas.

Es importante tomar en cuenta sesgos potenciales al realizar esta medición. El tener presión soporte alta puede predisponer a inflado pasivo y probables sobreestimaciones de las mediciones, requiriendo niveles mínimos de soporte ventilatorio. Para calcular el grosor diafragmático se utiliza la siguiente fórmula: ⁽¹³⁾

$$Tfdi = [(Tdi,insp) - (Tdi,exp)] / (Tdi,exp) \times 100$$

Donde:

Tfdi: fracción de engrosamiento diafragmático

Tdi insp: diámetro en inspiración

Tdi exp: diámetro en espiración

En 2017 se realizaron dos estudios que nos darían información importante del papel que juega la disfunción diafragmática y el potencial de la medición de musculatura diafragmática. El primer estudio realizado por Dres y colaboradores, en un periodo de 8 meses, de un solo centro, prospectivo, haciendo una comparación de medición por medio de ultrasonografía y estimulación eléctrica diafragmática con la presencia o no de debilidad adquirida en terapia intensiva. Se observó en los resultados que aquellos pacientes con ventilación prolongada, presencia de debilidad adquirida en terapia intensiva y disfunción diafragmática tenían menores valores medidos de fracción de engrosamiento diafragmático y estimulación del nervio frénico. ⁽¹⁴⁾

Otro estudio publicado en 2017 por Dubé, de tipo prospectivo, en un solo centro, que reclutó 112 pacientes, reportó la asociación de la Tfdi con la disfunción diafragmática, teniendo una mejor correlación y evaluación al iniciarse ventilación con presión soporte, y no encontraron relación del grosor diafragmático medido con el nivel de actividad del diafragma, sugiriendo modificaciones asociadas a la ventilación mecánica y procesos fisiopatológicos, como edema de miofibrillas y sarcómeros que no necesariamente se traducen en actividad mayor, o por el contrario, sobreasistencia ventilatoria que falsamente condicione un adelgazamiento del diafragma. ⁽¹⁵⁾

En un estudio de Goligher y colaboradores, un estudio de doble diseño: cohortes sometidos a medición de grosor diafragmático diario y un estudio prospectivo, donde se realizaba medición ultrasonográfica en conjunto con electromiografía diafragmática. Se reclutaron 222 pacientes, encontrándose que cambios tempranos en el grosor de diafragma tienen una correlación fuertemente positiva con prolongación de la ventilación mecánica, así como una asociación importante con el comportamiento de cambio del grosor diafragmático, ya fuera con disminución o incrementos mayores al 10%, manteniéndose en valores estables en sujetos que tuvieron menor duración de la ventilación mecánica. ⁽¹⁶⁾

En 2021 se evaluó el uso de ultrasonido diafragmático para identificación de riesgo de desarrollar atrofia diafragmática, donde se reclutaron 216 pacientes con criterios de intubación cursando sus primeras 36 hrs intubados esperándose un tiempo de intubación mayor a 24 hrs. Utilizaron algoritmo de Boruta y se identificaron variables consideradas relevantes si proveen información predictiva sobre engrosamiento diafragmático y atrofia, encontrándose que ni el riesgo de atrofia ni la contractilidad diafragmática podrían ser predichos con base a la frecuencia respiratoria, parámetros de ventilación y otras variables clínicas, resaltando la importancia de la medición seriada de grosor diafragmático. ⁽¹⁷⁾

Evaluación ultrasonográfica de músculos intercostales

El uso de ultrasonografía para evaluar la musculatura del sistema respiratorio, ha tenido gran desarrollo en los últimos años, sin embargo, sigue siendo un método de uso relativamente reciente en este contexto, y ha tenido escasa aplicación. Este método de valoración de función muscular ha tenido un enfoque casi exclusivo al diafragma. No obstante, recientemente se ha prestado atención a la evaluación ultrasonográfica de los músculos accesorios o extra-diafragmáticos y su contribución a la mecánica respiratoria durante el proceso de liberación de la ventilación mecánica, lo cual resulta atractiva ya que es un método fácilmente reproducible. La evaluación de la musculatura intercostal puede ser de utilidad para determinar su contribución durante la asistencia ventilatoria, además de que uno de sus mayores atractivos es la relativa facilidad para obtener la ventana ultrasonográfica, esta se realiza en decúbito supino, la disponibilidad de las fibras de los intercostales internos son más gruesas en la localización paraesternal. La activación de estos músculos para la asistencia de la ventilación va disminuyendo al ir descendiendo del segundo al quinto espacio intercostal, es por esto que la recomendación de la técnica para su evaluación es la siguiente: ⁽¹⁸⁾

1. Transductor lineal de 19-15 MHz

2. Colocar 3 a 5 cm lateral al esternón orientado perpendicular a el espacio intercostal entre la 2ª y 3ª costillas
3. Identificar costillas con el signo de murciélago
4. Por encima de la línea pleural se localiza el musculo paraesternal
5. Realizar la medición entre las dos capas hiperecogénicas, la más profunda y la más superficial.

Esta evaluación permite determinar si está presente el fenómeno de “reclutamiento”. En condiciones normales el grosor de estas estructuras no debe variar más del 10% durante la inspiración, ya que su contribución en la respiración de manera normal es mucho menor que la del diafragma. Si se llegara a encontrar una fracción de acortamiento mayor al 10%, se sospecha que los músculos extra diafragmáticos intercostales están siendo “reclutados” e incrementando su actividad, ya que la fuerza producida por el diafragma no va a ser suficiente para mantener una adecuada ventilación. La fracción de engrosamiento de los músculos intercostales (Tfic) se calcula de la siguiente manera: ⁽¹⁸⁾

$$Tfic: [(Tfins - Tfex) / Tfex] \times 100$$

Donde:

- Tfins: Grosor al final de la inspiración
- Tfex: Grosor al final de la espiración

Si bien la evaluación de la musculatura extradiafragmática es relativamente reciente, se han realizado estudios para valorar su utilidad en el protocolo de liberación de la ventilación mecánica. Sus principales exponentes Martin Dres, y colaboradores, quienes realizaron un estudio de cohortes durante un periodo comprendido de 2015 a 2016 en dos centros, uno de ellos en Toronto, Canadá, y el otro en Paris, Francia, estudio prospectivo, con reclutamiento de 294 pacientes, dividido en tres etapas. La primera enfocada a evaluar la reproducibilidad y valores del método de medición de grosor de músculos paraesternales. ⁽¹⁹⁾

En la segunda etapa se evaluó la medición de fracción de engrosamiento paraesternal en pacientes que cumplieran con el criterio de cursar con ventilación mecánica invasiva por más de 24 hrs y que se encontraran bajo presión soporte, realizándose mediciones posterior a encontrarse el paciente bajo presión soporte en modo espontaneo por al menos diez minutos, con presión soporte aplicado desde 5 hasta 20 cm H₂O con PEEP de 5 cm H₂O, y un subgrupo con presión soporte de 7 cm H₂O y PEEP de 0 cm H₂O, todos con fracción inspirada de oxígeno (FiO₂) de 30%. Las mediciones se realizaron en los últimos 2 minutos de la prueba. En la tercera etapa evaluaron la relación del engrosamiento diafragmático con el paraesternal. Los resultados de este estudio demostraron que hay un mayor reclutamiento de la musculatura intercostal con niveles de PEEP muy bajos (en este caso 0 cm H₂O) y una disminución de este con niveles elevados de presión soporte,

demostrando que existe engrosamiento de los músculos intercostales en relación al incremento de la carga impuesta en el sistema respiratorio. También en la primera fase se demostró que la técnica es fácilmente reproducible. Se estudió la correlación entre el engrosamiento diafragmático e intercostal, y como hallazgos se encontró que los pacientes con disfunción diafragmática tuvieron un mayor engrosamiento intercostal en comparación con los pacientes que no cursaron con disfunción diafragmática ($p < 0.0001$), con sensibilidad y especificidad de 91 y 81% respectivamente 91 y 72% para fracción de engrosamiento de músculos intercostales, 95% y 72% para engrosamiento diafragmático, y al combinar ambos con incremento de la sensibilidad hasta un 100% con especificidad del 78%, con valores predictivos positivos de 70% diafragmático, 69% intercostales y 76% en el uso combinado de ambas mediciones, con valores predictivos negativos de 96%, 92% y 100% respectivamente. ⁽¹⁹⁾

En 2021, este mismo grupo de investigadores realizó un estudio prospectivo, igualmente en terapia intensiva en Paris, Francia y Toronto, Canadá, donde de reclutaron 121 pacientes y evaluaron pacientes con más de 48 horas de ventilación mecánica, y en las primeras 2 hrs post-extubación se evaluaron con mediciones de musculatura intercostal y diafragmática por ultrasonido, evaluación de disnea por escala visual análoga (VAS), escala observacional de distrés en terapia intensiva y evaluación de la fuerza muscular en extremidades con el *Medical Research Council score* (MRC). Encontraron que las escalas observacionales de disnea eran de mayor puntaje en pacientes con fracaso a la extubación ($p < 0.001$) y la relación entre grosor diafragmático e intercostal fue mayor en los que fracasaron a la extubación, siendo en este estudio el índice con mejor predicción en comparación con los otros marcadores ($p < 0.001$). Los valores de MRC fueron de menor puntaje en pacientes que fracasaron a la extubación. ⁽²⁰⁾

En pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) se ha estudiado el comportamiento de los músculos intercostales durante la evolución clínica de la enfermedad y su relación con los valores de espirometría en estadios avanzados de la enfermedad. Existe inflamación sistémica en el curso de la enfermedad, condicionando alteraciones en la estructura y función muscular que culminan en reducción en el grosor de la musculatura intercostal. El grosor disminuido de los intercostales en EPOC podría atribuirse a estiramiento crónico por el atrapamiento aéreo que ocurre. En 2020 Wallbridge y cols. realizaron un estudio de cohortes, prospectivo, de 2017 a 2018 en un solo centro en el Royal Melbourne Hospital, con una muestra pequeña de 9 pacientes. El grosor de la musculatura intercostal y diafragmática antes y después de colocación de válvula endobronquial para mejorar el hiperinflado asociado a la EPOC y evaluar si existía regresión de los cambios musculares pre-válvula. Se encontró una relación directa entre la disminución del volumen residual y cambios en la musculatura accesoria presentando un mayor engrosamiento, mientras que no se encontró una correlación

significativa entre los valores del volumen espiratorio forzado (FEV1) y los músculos intercostales. ⁽²¹⁾

En el estudio publicado en 2019 por Umbrello y colaboradores, de tipo prospectivo, que tuvo como meta valorar si la medición de la presión esofágica (Pes) a la cabecera del paciente es un indicador confiable de los índices que se consideran estándares de oro de esfuerzo respiratorio y valorar los cambios en el grosor diafragmático y de músculos intercostales paraesternales y su correlación con dichos índices. Se reclutaron 21 pacientes, implementando protocolo con tres fases de intervención de treinta minutos cada una, con presión soporte inicial de acuerdo al criterio del clínico, con reducción al 25% en la segunda fase y 50% en la última fase, realizando mediciones de índices de esfuerzo respiratorio y mediciones mediante ultrasonografía del diafragma y los paraesternales. Se encontró que el grosor incrementó al disminuir los niveles de presión soporte, y se mostró una correlación positiva con el producto de presión tiempo con una p significativa <0.001. La medición de la fracción de engrosamiento diafragmático mostro una correlación positiva con el producto de presión tiempo, al igual que en pacientes sin disfunción diafragmática, los valores de fracción de engrosamiento diafragmático fueron mayores del 20%, mientras que paraesternal intercostal fue menor al 10%, mostrando una correlación inversa en pacientes que presentaban disfunción diafragmática, demostrando que un porcentaje menor de acortamiento diafragmático se asocia a reclutamiento intercostal reflejado en valores mayores al 10%. ⁽²²⁾

Otro estudio realizado en 2021 por Hassan y colaboradores de tipo observacional, prospectivo, con una muestra de 40 pacientes bajo ventilación mecánica, realizaron medición ultrasonográfica de el grosor de la musculatura paraesternal como predictor de extubación exitosa o fallida, en los resultados se reporta que los pacientes que tuvieron fracaso a la extubación mostraron durante las pruebas de ventilación espontanea fracciones de engrosamiento intercostal de $23.45 \pm 7.04\%$ a diferencia de los que lograron extubación exitosa $7.38 \pm 4.33\%$ con una p <0.001. ⁽²³⁾

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Pueden el engrosamiento de musculatura diafragmática e intercostal predecir el éxito o fracaso de la prueba de ventilación espontánea?

JUSTIFICACIÓN

El uso del ultrasonido se ha convertido en una herramienta útil en los últimos años debido a su relativa seguridad para su realización, reproducibilidad y mayor disponibilidad en años recientes. Los índices utilizados para evaluar el esfuerzo respiratorio de pacientes bajo ventilación mecánica, no siempre están disponibles en las unidades de terapia intensiva y se requiere de dispositivos invasivos como el catéter esofágico para su adecuada medición, lo cual aumenta el uso de recursos y por ello los costos. Otros índices, como el índice Tobin o relación f/Vt tienen una sensibilidad menor al 90% y no evalúan *per se* el esfuerzo respiratorio. La medición de el grosor diafragmático y complementación con el grosor intercostal paraesternal por ultrasonografía puede ser un método sencillo, rápido, fácilmente reproducible, no invasivo, que puede ayudar a la evaluación del paciente crítico con riesgo de extubación fallida, pudiendo mejorar con la implementación de terapia de rehabilitación pulmonar con mayor eficacia y evitar complicaciones asociadas a extubación fallida o bien a ventilación mecánica prolongada.

OBJETIVO PRIMARIO

- Determinar el valor predictivo entre el engrosamiento diafragmático e intercostal con el fracaso o éxito de la prueba de ventilación espontánea

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Identificar factores demográficos y comorbilidades asociados a el engrosamiento de musculo diafragmático e intercostal
- Identificar la correlación de factor de engrosamiento diafragmático e intercostal con variables clínicas y demográficas.

HIPÓTESIS NULA

El factor de engrosamiento diafragmático e intercostal no predicen el éxito o fracaso prueba de ventilación espontanea.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA

El factor de engrosamiento diafragmático e intercostal predicen el éxito o fracaso prueba de ventilación espontánea.

TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO

Estudio transversal, observacional, prospectivo.

UNIVERSO DE TRABAJO

POBLACIÓN

Pacientes ingresados en la unidad de terapia intensiva que se encuentran bajo ventilación mecánica.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Criterios de inclusión

Pacientes adultos mayores de 18 años.

Pacientes que tengan una duración de la ventilación mecánica invasiva de más de 12 horas

Pacientes sin efectos de sedación y analgesia profunda

Pacientes sin anomalías anatómicas conocidas

Criterios de exclusión

Pacientes que tengan anomalías anatómicas conocidas

Pacientes con ventilación mecánica con duración menor a 12 horas

Pacientes con edema agudo pulmonar como patología causal de intubación

Pacientes que cuenten con patología neuromuscular previa al ingreso

Pacientes en quienes se firma documento de limitación de esfuerzo terapéutico

Criterios de eliminación

Omisión de datos indispensables para el cálculo de la fracción de acortamiento y de prueba de ventilación espontánea.

TÉCNICA DE MUESTREO

Se realizará el estudio utilizando muestra a conveniencia.

INTERVENCIÓN A REALIZAR

Se realizaron mediciones por el investigador con experiencia en el uso de ultrasonido, en los pacientes que cumplan los criterios de inclusión, antes y durante el proceso de evaluación de prueba de ventilación espontánea de al menos 30 minutos de duración con “parámetros ventilatorios mínimos” definidos como: presión positiva al final de la espiración (PEEP) 1-5 cmH₂O, presión soporte 5 a 8 cmH₂O y FiO₂ menor a 50%, se realizó medición ultrasonográfica del grosor diafragmático e intercostal paraesternal al final de la inspiración y al final de la espiración mediante los pasos siguientes con el equipo de ultrasonido Terason Usmart 3200T:

1. Transductor lineal de 19-15 MHz
2. Colocar 3 a 5 cm lateral al esternón orientado perpendicular a el espacio intercostal entre la 2^a y 3^a costillas
3. Identificar costillas con el signo de murciélago
4. Realizar la medición entre las capas profunda y la más superficial durante la inspiración y espiración

Y se calculó la fracción de acortamiento con la formula:

$$T_{fic} = [(T_{fins} - T_{fexp}) / T_{fexp}] \times 100$$

Se realizó la medición de fracción de engrosamiento diafragmático mediante el abordaje intercostal con el paciente en decúbito supino, se posiciona la sonda en el

8°-9° espacio intercostal a nivel de la línea medio-axilar, se identifica la zona de aposición del diafragma y calcula la fracción de acortamiento del diafragma con la siguiente formula:

$$Tfdi = [(Tdi,insp) - (Tdi,exp)] / (Tdi,exp) \times 100$$

Se tomaron datos demográficos como edad y género, diagnósticos principales, uso de relajantes neuromusculares, tiempo de sedación total. Se registraron los datos durante la prueba de ventilación espontánea de las mediciones ultrasonográficas en una hoja especialmente diseñada. Se registró si requirieron reintubación en las primeras 48 hrs.

DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES DEPENDIENTES

Prueba de ventilación espontánea

Destete de ventilación mecánica invasiva

VARIABLES INDEPENDIENTES

Fracción de engrosamiento muscular del diafragma e intercostales

Variable Dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición y unidad de medición	Categorización
Destete de ventilación mecánica	Es el proceso de disminuir el grado de soporte ventilatorio y permitir al paciente asumir una mayor proporción de la ventilación.	Proceso de disminución de aporte ventilatorio con decrementos en la presión soporte y presión positiva al final de la espiración en pruebas de 30 minutos una vez al día.	Prueba de ventilación espontánea	Cualitativa.
Ventilación mecánica invasiva	Ventilación artificial con flujo de oxígeno aplicado mediante un dispositivo invasivo de la vía aérea para la entrega de oxígeno a los pulmones.	Uso de ventilación que requiere intubación para entregar oxígeno mediante un tubo orotraqueal o dispositivo supraglótico	Observando si se coloca Si/No	Cualitativa, nominal, dicotómica.
Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición y unidad de medición	Categorización
Fracción de engrosamiento diafrágico	Medición por ultrasonografía del grosor en el diafragma en fase de inspiración a espiración	Medición de grosor diafrágico en inspiración y espiración y el cambio porcentual entre ambas fases.	Se mide por ultrasonografía en mm y se calcula con la fórmula $Tfdi: [(Tdi,insp) - (Tdi,exp) / (Tdi,exp)] \times 100$	Cuantitativa, continuas.
Fracción de engrosamiento intercostales	Medición por ultrasonografía del grosor de intercostales en fase de inspiración a espiración	Medición de grosor intercostal en inspiración y espiración y el cambio porcentual entre ambas fases.	Se mide por ultrasonografía en mm y se calcula con la fórmula $Tfic: [(Tfins - Tfex) / Tfex] \times 100$	Cuantitativa, continuas.

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición y unidad de medición	Categorización
Peso	Fuerza con que la tierra atrae a un cuerpo	Peso cuantificado por la camilla al ingreso del paciente a la unidad	Kilogramos Kg	Cuantitativa, continua
Talla	Altura, medida de una persona desde los pies a la cabeza.	Estatura cuantificada por enfermería/personal médico a su ingreso a la unidad	Centímetros Cm	Cuantitativa, continua
Edad	Lapso que transcurre desde el nacimiento hasta el momento de referencia.	Cantidad de años cumplidos al momento del interrogatorio	Años totales cumplidos al momento del interrogatorio	Cuantitativa, discreta
Género	Condición orgánica, masculina o femenina, de los animales y las plantas	Condición fenotípica orgánica masculina o femenina del paciente	Mujer/Hombre	Cualitativa, nominal, dicotómica
Diagnóstico de ingreso	Diagnóstico registrado al ingreso del paciente a la	Diagnóstico registrado al ingreso del paciente a la	Registro del diagnóstico de ingreso, sin unidad de medida	Cualitativa, nominal

	unidad además de la insuficiencia respiratoria	unidad además de la insuficiencia respiratoria		
Bloqueo neuromuscular no despolarizante	Fármacos que interrumpen la transmisión del impulso nervioso en la unión neuromuscular esquelética.	Compuestos de amonio cuaternario que impiden la afinidad de los receptores nicotínicos a la acetilcolina, uniéndose a las subunidades alfa de la acetilcolina para prevenir la despolarización y condicionar relajación muscular.	Observando si se cumple Si/No.	Cualitativa, dicotómica
Prueba de ventilación espontánea	Prueba realizada durante 30 minutos una vez al día con presión soporte y PEEP mínimos	Prueba realizada durante 30 minutos una vez al día con presión soporte y PEEP mínimos	Observando si se cumple Si/No	Cualitativa, dicotómica
Extubación	Retiro de tubo endotraqueal posterior a prueba de ventilación espontánea exitosa	Retiro de tubo endotraqueal posterior a prueba de ventilación espontánea exitosa	Observando si se cumple Si/No	Cualitativa, dicotómica
Tiempo total de sedoanalgesia	Tiempo durante el cual se administraron medicamentos de sedación y analgesia hasta su suspensión	Tiempo durante el cual se administraron medicamentos de sedación y analgesia hasta su suspensión	Horas	Cuantitativa, continua

MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS: INSTRUMENTOS, RECURSOS Y PROCESOS

Recursos humanos

Residente a cargo de la investigación

Médico adscrito en turno

Personal de enfermería a cargo de los pacientes intervenidos

Recursos materiales

Hoja de registro de datos

Lápices

Plumas

Hojas blancas

Impresora

Calculadora

Ultrasonido Terason Usmart 3200T

Ventilador mecánico Hamilton C3 y/o G6 de la unidad de terapia intensiva

Monitor de signos vitales

Conflictos de interés

Ninguno

Financiaciones

Ninguna

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos recolectados fueron ordenados y descritos en términos de estadística descriptiva, con determinación de mediana y rango intercuartílico. Se utilizaron pruebas de correlación y prueba U de Mann-Whitney para comparación de variables clínicas.

Para analizar los datos se emplearán los programas Excel de Microsoft Office 365 con XLS STAT y SPSS de IBM, versión 21.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

El presente estudio se considera una investigación con riesgo mínimo al involucrar pacientes insuficiencia respiratoria en quienes se realizan procedimientos comunes como exámenes físicos de diagnósticos o tratamiento rutinarios como pesar al sujeto, electrocardiograma, y procedimientos no invasivos. de acuerdo con la Ley General de Salud. Los datos fueron obtenidos de los expedientes clínicos, registros del expediente, cuidando la confidencialidad y privacidad de los pacientes, y los datos fueron foliados para su análisis, omitiendo identificadores. En el estudio nos ajustamos a las normas éticas que cita la Declaración de Helsinki a nivel internacional y la Ley General de Salud en materia de experimentación en seres humanos, adoptados por la 18ª Asamblea Médica Mundial en Helsinki, Finlandia, en junio de 1964, y enmendadas por la 29ª Asamblea Médica Mundial en Tokio, Japón, en octubre de 1975, por la 35ª Asamblea Médica Mundial, en Venecia, Italia en octubre de 1983, y por la 41ª Asamblea Médica Mundial, en Hong Kong, en septiembre de 1989.

RESULTADOS

Se reclutaron en este estudio 32 pacientes a los que se les realizaron las mediciones de acuerdo al protocolo previamente descrito. Las variables demográficas se presentan en la Tabla 1. Las variables clínicas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1: Variables demográficas

Variable	Valor
Edad en años	69 (61.6-74.7)
Género	Total: 32
• Masculino	• 20 (62.5%)
• Femenino	• 12 (37.5%)
Estatura en centímetros	164.5 (160.7-170)
Peso en kilogramos	74.5 (65.1-79.6)
Índice de masa corporal en kg/m ²	26.26 (23.1-28.7)

El valor de cada variable se expresa en porcentaje para variables nominales, para cuantitativas se expresa en mediana y rango intercuartílico.

Como se muestra en la Tabla 1, la mediana de edad para los participantes en este estudio fue de 69 años de edad, observándose una mayor proporción de pacientes de género masculino en un 62.5%. En cuanto a las características antropométricas se observa una mediana de estatura de 164.5 cm, peso en kilogramos de 74.5 y un índice de masa corporal de 26.2 kg/m².

En la tabla 2 se muestran los resultados de variables clínicas observadas. Se determinó durante el estudio que de las 32 pruebas de ventilación espontánea (PVE) 30 (93.7%) se consideraron exitosas, con un porcentaje de éxito de extubación del 68.7%. Del 31.2% restante de pacientes que no se extubaron (10 pacientes) se encontró como razón principal como limitante de la extubación la presencia de delirium en 30% de los casos (3 pacientes), 40% (4) se difirió por realización de traqueostomía y falla cardíaca aguda. Tres pacientes se sometieron a reintubación, cada uno por causas distintas (fiebre, procedimiento quirúrgico y edema agudo pulmonar). Solo en 6.25% (2) de los casos se utilizó bloqueador neuromuscular en infusión continua por al menos 24 hrs.

Tabla 2: Características clínicas

Variable	Valor
Edad en años	69 (61.6-74.7)
Género	Total: 32
• Masculino	• 20 (62.5%)
Femenino	12 (37.5%)
Estatura en centímetros	164.5 (160.7-170)
Peso en kilogramos	74.5 (65.1-79.6)
Índice de masa corporal en kg/m ²	26.26 (23.1-28.7)
PVE exitosa	30 (93.7%)
Extubación exitosa	22 (68.7%)
Reintubación	3 (9.37%)
Bloqueador neuromuscular	2 (6.25%)
Tiempo de sedoanalgesia total (hrs)	49.5 (36.2 - 79.2)
Horas de ventilación mecánica	90.5 (40.7 - 164.2)
Grosor inspiratorio intercostal (mm)	33 (26.7 - 38.2)
Grosor espiratorio intercostal (mm)	29.5 (24.7 - 36.2)
Fracción de engrosamiento intercostal (porcentaje)	7.54 (3.8 - 9.3)
Grosor inspiratorio diafragmático (mm)	29 (25 - 33.2)
Grosor espiratorio diafragmático (mm)	23 (19 - 26)
Fracción de engrosamiento diafragmático (porcentaje)	32.7 (24.1 - 40.9)

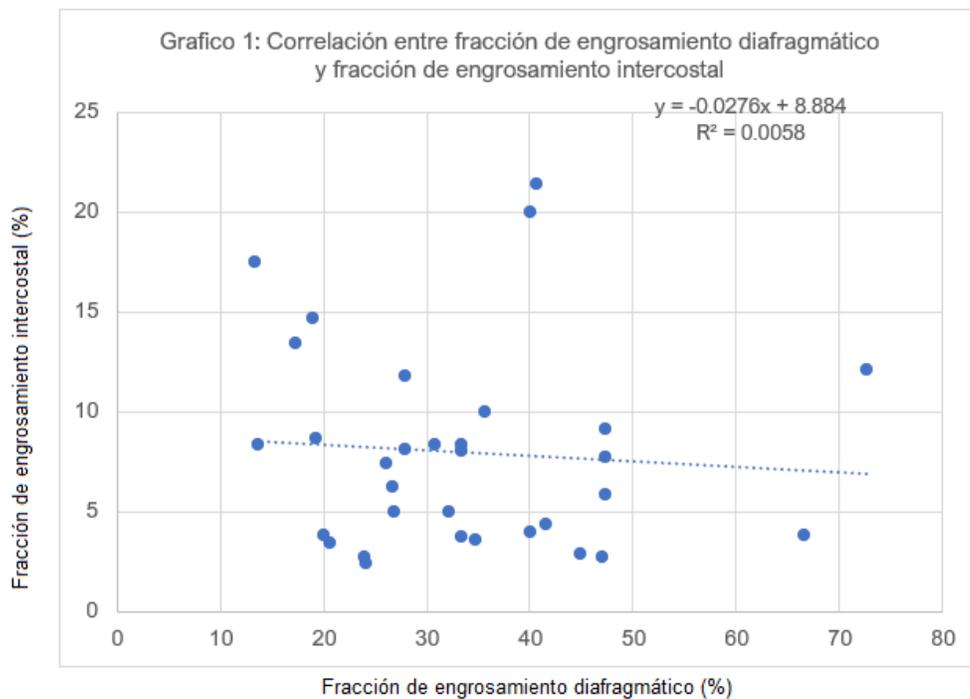
El valor de cada variable se expresa en porcentaje para variables nominales, para las variables cuantitativas se expresa en mediana y rango intercuartílico.

El tiempo total de sedoanalgesia tuvo una mediana de 49.5 horas (IQR 36.2-79.2), mientras que para las horas de ventilación mecánica la mediana fue de 90.5 horas (IQR 40.7-164.2).

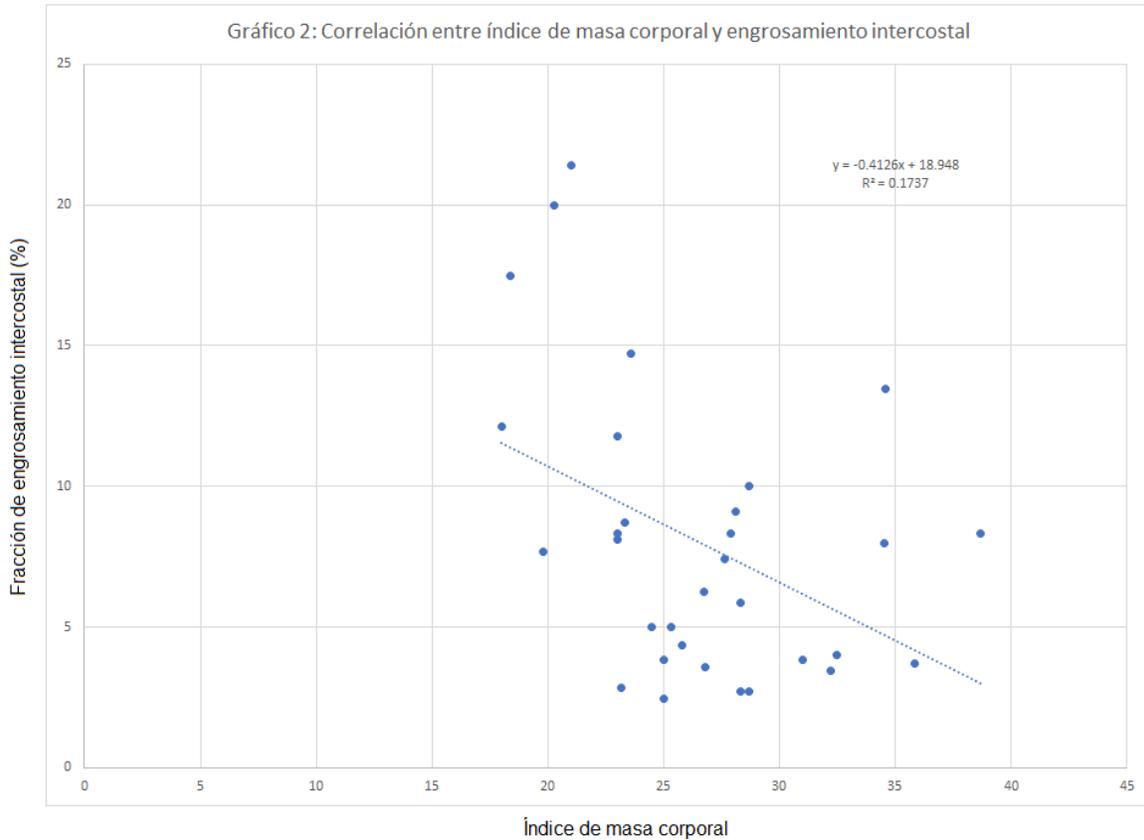
Para las mediciones ultrasonográficas realizadas de grosor de músculos intercostales, la mediana de grosor en inspiración fue de 33 mm (IQR 26.7-38.2), en espiración una mediana de 29.5 mm (IQR 24.7-36.2) con una mediana de fracción de engrosamiento de 7.54% (IQR 3.8-9.3). En los grosores de diafragma se encontró una mediana en inspiración de 29 mm (IQR 25-33), en espiración una mediana de 23 mm (IQR 19-27) y para la fracción de engrosamiento diafragmático una mediana de 32.7% (IQR 24.1-40.9).

Se puede observar en el gráfico 1 la correlación entre la fracción de engrosamiento diafragmático y la fracción de engrosamiento intercostal.

Encontrándose nula correlación con un coeficiente de determinación 0.0058 y de correlación de 0.076.

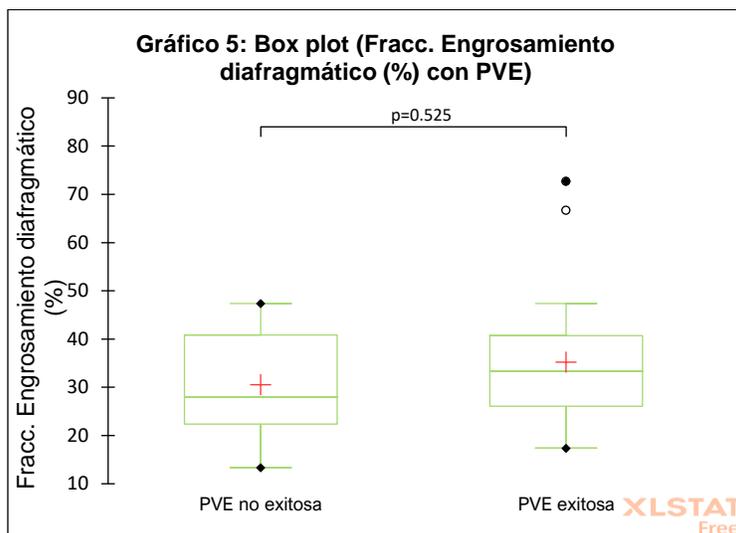


En el gráfico 2 se muestra la correlación entre el índice de masa corporal y el engrosamiento intercostal, la tendencia es que, a mayor índice de masa corporal, menor engrosamiento intercostal, con un coeficiente de correlación es de 0.41 y de determinación 0.1737, lo que hace la correlación nula.

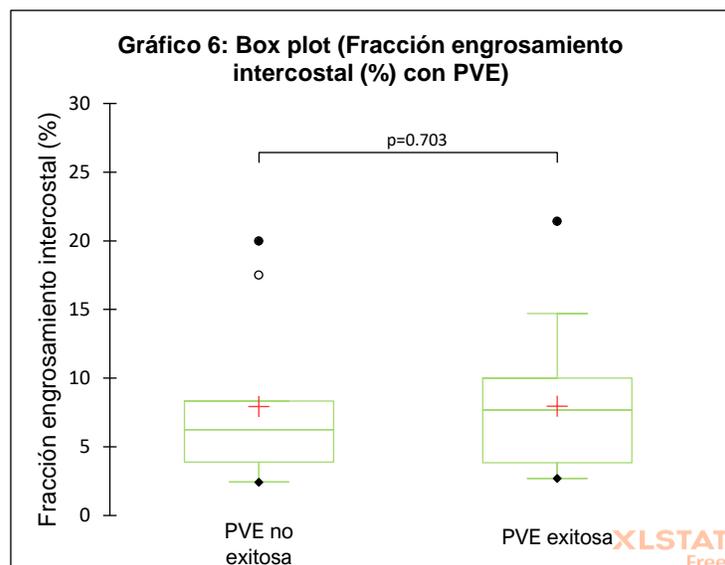


Se muestra en el gráfico 3 la correlación entre el índice de masa corporal y el engrosamiento diafragmático, se observa una tendencia a que a mayor índice de masa corporal menor engrosamiento diafragmático, con un coeficiente de correlación de 0.3 de determinación de 0.10, siendo una correlación positiva baja. En la gráfica 4 se observa la correlación entre las horas de ventilación mecánica con la fracción de engrosamiento intercostal, observándose una tendencia a que hay mayor engrosamiento intercostal con más horas de ventilación mecánica, coeficiente de correlación de 0.28 y de determinación de 0.0845, correlación positiva baja.

Se realizaron gráficos de caja por prueba U de Mann-Whitney, y desviación típica y medias para evaluar la distribución de los datos. En el gráfico 5 observa una media de 30.5% para engrosamiento diafragmático en los que no fue exitosa la PVE, y una media de 35.2% para los que se consideró prueba exitosa, sin significancia estadística con una $p= 0.52$.



En el gráfico 6 para el engrosamiento intercostal se puede observar una media de 7.9% para engrosamiento intercostal en los que no fue exitosa la PVE, y una media de 7.9% para los que se consideró prueba exitosa, sin significancia estadística con una $p= 0.79$.



DISCUSIÓN

En este estudio se buscó la capacidad de predicción de la fracción de engrosamiento diafragmático e intercostal para el éxito o fracaso en la prueba de ventilación espontánea en pacientes con ventilación mecánica. Debido a la escasa cantidad de pacientes que no pasaron la PVE, no podemos llegar a una conclusión. Sin embargo, el análisis de la correlación entre el engrosamiento de músculos diafragmáticos con los intercostales nos lleva a la consideración, de que se pueden identificar cuatro grupos de pacientes: a) Pacientes que tuvieron un gran incremento en la fracción de engrosamiento diafragmático y poco engrosamiento intercostal, representa a aquellos pacientes, que tienen una función muscular diafragmática adecuada, b) Pacientes con gran incremento en la fracción de engrosamiento diafragmático e intercostal, representa a aquellos pacientes, que realizan respiración profunda activa, c) Pacientes con poco engrosamiento diafragmático y gran engrosamiento intercostal, como lo observado en pacientes que tienen disfunción diafragmática y d) Pacientes con poco engrosamiento diafragmático e intercostal, representado por pacientes en estado de sedación.

Existen otros factores que pueden influir en estos grupos. Los niveles de presión soporte y PEEP, pueden modificar la fracción de engrosamiento muscular del diafragma. En nuestro estudio no evaluamos diferentes niveles de presión soporte o PEEP, lo cual podría ser un factor a considerar en futuros estudios. No existe una especificación en los protocolos al momento de evaluar el esfuerzo ventilatorio durante la PVE, por lo cual, el esfuerzo del paciente en respiración activa puede modificar los engrosamientos musculares, en comparación con una respiración calmada (*quiet breathing*), factor que puede haber constituido un sesgo en nuestro estudio.

La prueba de Mann-Whitney, demostró una media de fracción de engrosamiento intercostal de 7.9%, y no hubo diferencia significativa entre los pacientes del grupo de éxito en la PVE y los pacientes del grupo de fracaso en la PVE.

En nuestro estudio, encontramos una correlación débilmente positiva de que a mayor índice de masa corporal existe menor engrosamiento diafragmático, lo cual es consistente, al encontrarse diversas alteraciones anatómicas en pacientes con sobrepeso y obesidad, que predisponen a aplanamiento diafragmático y una mayor limitación al desplazamiento de este. Igualmente se encontró una correlación débilmente positiva con mayor número de horas de ventilación mecánica y un incremento en el engrosamiento intercostal, lo cual corresponde a lo descrito en la literatura sobre el reclutamiento de la musculatura accesoria, al encontrarse algún grado de disfunción diafragmática.

Las limitaciones del estudio son, el tamaño de la muestra que no permite un poder estadístico para determinar que los resultados pudieran revelar significancia estadística; las características demográficas y los desenlaces de nuestra población son diferentes a las reportadas en otros estudios.

Cabe mencionar que existen enfermedades respiratorias crónicas, que pueden modificar la fracción de engrosamiento intercostal, en nuestro estudio se incluyeron pacientes con patología pulmonar crónica, lo cual pudo influir en los resultados. Otra limitación fue el diseño del estudio, que no incluyó grupos de pacientes con variaciones en la PEEP o la presión soporte.

El estudio incluyó pacientes con tiempos de ventilación muy variables (17-360 horas, media de 49.5 hrs). Esto pudo ser un factor determinante de los resultados. El 71% pacientes tuvo menos de 72 hrs de ventilación mecánica lo cual podría explicar el grado de disfunción diafragmática y el reclutamiento potencial de los músculos intercostales.

Se requieren más estudios que incluyan mediciones con distintos niveles de PEEP y presión soporte, así como una muestra más grande para aumentar el poder estadístico de la investigación.

Dentro de las fortalezas del estudio, confirmamos la utilización del ultrasonido como una herramienta de bajo costo, fácilmente reproducible para evaluar a la cabecera del paciente la competencia muscular previo a la desconexión de la ventilación mecánica.

CONCLUSIONES

No podemos llegar a una conclusión respecto a la capacidad predictiva de éxito en la PVE del engrosamiento intercostal y diafragmático por la escasa cantidad de pacientes que no superaron la PVE. El análisis de la correlación entre fracciones de engrosamiento sugiere 4 grupos de pacientes en los que ambas fracciones de engrosamiento pudieran identificar patrones diferentes de reserva muscular respiratoria.

BIBLIOGRAFÍA

1. Windisch W, Dellweg D, Geiseler J, Westhoff M, Pfeifer M, Suchi S, et al. Prolonged weaning from mechanical ventilation. *Dtsch Arztebl Int.* 2020;117(12):197–204.
2. Shi Z-H, Jonkman A, de Vries H, Jansen D, Ottenheijm C, Girbes A, et al. Expiratory muscle dysfunction in critically ill patients: towards improved understanding. *Intensive Care Med.* 2019;45(8):1061–71.
3. Vassilakopoulos T, Zakynthinos S, Roussos C. Respiratory muscles and weaning failure. *Eur Respir J.* 1996;9(11):2383–400.
4. Brochard L. Transdiaphragmatic Pressure. In: *Update in Intensive Care and Emergency Medicine.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1991. p. 52–61.
5. Kim W-Y, Lim C-M. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction: Diagnosis and role of pharmacological agents. *Respir Care.* 2017;62(11):1485–91.
6. Mioxham J, Jolley C. Breathlessness, fatigue and the respiratory muscles. *Clin Med.* 2009;9(5):448–52.
7. Petrof BJ, Jaber S, Matecki S. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction. *Curr Opin Crit Care.* 2010;16(1):19–25.
8. Goligher EC, Brochard LJ, Reid WD, Fan E, Saarela O, Slutsky AS, et al. Diaphragmatic myotrauma: a mediator of prolonged ventilation and poor patient outcomes in acute respiratory failure. *Lancet Respir Med.* 2019;7(1):90–8.
9. Schepens T, Dres M, Heunks L, Goligher EC. Diaphragm-protective mechanical ventilation. *Curr Opin Crit Care.* 2019;25(1):77–85.
10. Perren A, Brochard L. Managing the apparent and hidden difficulties of weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 2013;39(11):1885–95.
11. Boles J-M, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J [Internet].* 2007;29(5):1033–56.
12. Vassilakopoulos T, Zakynthinos S, Roussos C. The tension-time index and the frequency/tidal volume ratio are the major pathophysiologic determinants of weaning failure and success. *Am J Respir Crit Care Med.* 1998;158(2):378–85.
13. Santana PV, Cardenas LZ, Albuquerque ALP de. Diaphragm ultrasound in critically ill patients on mechanical ventilation—evolving concepts. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(6):1116
14. Dres, M.; Dubé, B.P.; Mayaux, J.; Delemazure, J.; Reuter, D.; Brochard, L.; Similowski, T.; Demoule, A. Coexistence and impact of limb muscle and diaphragm weakness at time of liberation from mechanical ventilation in medical intensive care unit patients. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2017, 195, 57–66.
15. Dubé B-P, Dres M, Mayaux J, Demiri S, Similowski T, Demoule A. Ultrasound evaluation of diaphragm function in mechanically ventilated patients: comparison to phrenic stimulation and prognostic implications. *Thorax.* 2017;72(9):811–8.

16. Goligher EC, Dres M, Fan E, Rubenfeld GD, Scales DC, Herridge MS, et al. Mechanical ventilation-induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes. *Am J Respir Crit Care Med*. 2018;197(2):204–13
17. Urner M, Mitsakakis N, Vorona S, Chen L, Sklar MC, Dres M, et al. Identifying subjects at risk for diaphragm atrophy during mechanical ventilation using routinely available clinical data. *Respir Care*. 2021;66(4):551–8
18. Formenti P, Umbrello M, Dres M, Chiumello D. Ultrasonographic assessment of parasternal intercostal muscles during mechanical ventilation. *Ann Intensive Care*. 2020;10(1):120.
19. Dres M, Dubé BP, Goligher E, Vorona S, Demiri S, Morawiec E, Mayaux J, Brochard L, Similowski T, Demoule A; Usefulness of Parasternal Intercostal Muscle Ultrasound during Weaning from Mechanical Ventilation. *Anesthesiology* 2020; 132:1114–1125.
20. Dres M, Similowski T, Goligher EC, Pham T, Sergenyuk L, Telias I, et al. Dyspnoea and respiratory muscle ultrasound to predict extubation failure. *Eur Respir J*. 2021;58(5):2100002.
21. Wallbridge P, Hew M, Parry SM, Irving L, Steinfors D. Reduction of COPD hyperinflation by endobronchial valves improves intercostal muscle morphology on ultrasound. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2020;15:3251–9
22. Umbrello M, Formenti P, Lusardi AC, Guanzioli M, Caccioppola A, Coppola S, et al. Oesophageal pressure and respiratory muscle ultrasonographic measurements indicate inspiratory effort during pressure support ventilation. *Br J Anaesth*. 2020;125(1):e148–57.
23. Hassan GA, Sultan WE, Habeeb RM, Alghorayeb MA. Role of ultrasound assessment of parasternal intercostal muscle thickness during weaning from mechanical ventilation. *Menoufia Med J*. 2022;35:660-6.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

	Agosto 2022 a Marzo 2022	Abril 2023	Mayo-Julio 2023	Julio 2023	Agosto 2023	Agosto-Diciembre 2023
Elaboración de documento y recolección de bibliografía	X					
Sometimiento a revisión y aprobación		X				
Recolección de datos			X			
Análisis de datos				X		
Presentación de resultados					X	
Publicación del documento y divulgación en foros locales y nacionales						X



HOSPITAL ESPAÑOL

Fracción de engrosamiento de músculos paraesternales en combinación con engrosamiento diafragmático como predictores de fracaso de la prueba de ventilación espontánea en el área de terapia intensiva “Alberto Villazón S.” del Hospital Español

ANEXOS

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1. Fecha:
2. Nombre de paciente (iniciales):
3. Diagnósticos:

4. Edad:
5. Género:
6. Estatura:
7. Peso:
8. Índice de masa corporal:

9. Fecha de intubación:
10. Fecha de prueba de ventilación espontánea:
11. Prueba de ventilación espontánea/destete exitoso: Si No
12. Tiempo de extubación a reintubación:
13. Tiempo total de sedoanalgesia:
14. Uso de parálisis neuromuscular no despolarizante: Si No

15. Parámetros medidos:

Parámetro	Valor medido
Tfdi	
Tfic	
Frecuencia cardiaca	
Temperatura	
Frecuencia respiratoria	
SpO ₂	
PaO ₂	
PaCO ₂	
HCO ₃	
Presión soporte	
PEEP	
FiO ₂	
PaO ₂ /FiO ₂	

CONSENTIMIENTO INFORMADO

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN	
Nombre del estudio:	"FRACCIÓN DE ENGROSAMIENTO DE MUSCULOS PARAESTERNALES EN COMBINACIÓN CON ENGROSAMIENTO DIAFRAGMÁTICO COMO PREDICTORES DE FRACASO DE LA PRUEBA DE VENTILACIÓN ESPONTÁNEA EN EL AREA DE TERAPIA INTENSIVA "ALBERTO VILLAZON S." DEL HOSPITAL ESPAÑOL
Lugar y fecha:	Ciudad de México a _____ de _____ del 2023.
Número de registro:	
Justificación y objetivo del estudio:	<p>El uso del ultrasonido se ha convertido en una herramienta útil en los últimos años debido a su relativa seguridad para su realización, reproducibilidad y mayor disponibilidad en años recientes. Los índices utilizados para evaluar el esfuerzo respiratorio de pacientes bajo ventilación mecánica no se encuentran ampliamente disponibles en las unidades de terapia intensiva y requieren de dispositivos invasivos como el catéter esofágico para su adecuada medición, lo cual puede suponer también un incremento en costos. Otros índices como el índice Tobin o relación f/Vt tienen una sensibilidad menor al 90% y no evalúan <i>per se</i> el esfuerzo respiratorio. La medición de el grosor diafragmático y complementación con el grosor intercostal paraesternal por ultrasonografía puede ser un método sencillo, rápido, fácilmente reproducible, no invasivo, que puede ayudar a la evaluación del paciente crítico con riesgo de extubación fallida, pudiendo mejorar la implementación de terapia de rehabilitación pulmonar con mayor eficacia y evitar complicaciones asociadas a extubación fallida.</p> <p>El objetivo primario es determinar el valor predictivo de la medición ultrasonográfica de Tfic con Tfdi para el fracaso y éxito de la prueba de ventilación espontánea</p>
Procedimientos:	<p>En los pacientes que cumplan los criterios de inclusión, antes y durante el proceso de evaluación de prueba de ventilación espontánea de al menos 30 minutos de duración con "parámetros ventilatorios mínimos" definidos como: presión positiva al final de la espiración (PEEP) 1-5 cmH₂O, presión soporte 5 a 8 cmH₂O y FiO₂ menor a 50%, se realizará medición ultrasonográfica del grosor diafragmático e intercostal paraesternal al final de la inspiración y al final de la espiración mediante los pasos siguientes con el ultrasonido de la unidad de terapia intensiva Terason Usmart 3200T:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Transductor lineal de 19-15 MHz 2. Colocar 3 a 5 cm lateral al esternón orientado perpendicular a el espacio intercostal entre la 2ª y 3ª costillas 3. Identificar costillas con el signo de murciélago 4. Realizar la medición entre las capas profunda y la más superficial durante la inspiración y espiración <p>Y se calculará la fracción de acortamiento con la formula:</p> $Tfic: [(Tfins-Tfexp)/Tfexp] \times 100$ <p>Así como se realizará la medición de fracción de engrosamiento diafragmático mediante el abordaje intercostal con el paciente en decúbito supino se posiciona la sonda en el 8°-9° espacio intercostal a nivel de la línea medio-axilar, identificar la zona de aposición del diafragma y calcular la fracción de acortamiento del diafragma con la siguiente formula:</p> $Tfdi = [(Tdi,insp) - (Tdi,exp)] / (Tdi,exp) \times 100$ <p>Se tomarán datos demográficos como edad y género, diagnósticos principales, si se utilizaron relajantes neuromusculares, tiempo de sedación total. Se registrarán los datos antes y durante la prueba de ventilación espontánea de mediciones ultrasonográficas en una hoja especialmente diseñada, así como parámetros gasométricos pre y post prueba, con constantes vitales y parámetros ventilatorios. Se registrará si requirieron reintubación en las primeras 48 hrs postextubación, días de estancia hospitalaria, y en caso de ser extubados y requerir reintubación, tiempo libre de ventilación mecánica.</p>
Posibles riesgos y molestias:	Riesgo mínimo.
Posibles beneficios que recibirá al participar en el estudio:	Los posibles beneficios que genere el estudio servirán para el ajuste del tratamiento de rehabilitación física, estimulación, nutrición y farmacológico de su paciente, y para futuros pacientes al concluir el estudio
Información sobre resultados y alternativas de tratamiento	Se informará por medio de la Unidad de Terapia Intensiva, acerca del resultado de la investigación.
Participación o retiro:	Puede decidir no participar en el estudio en cualquier momento y no se usará la información obtenida.
Privacidad y confidencialidad:	No se revelará el nombre, número de expediente o algún otro dato que comprometan la identidad del sujeto de estudio y no se le identificarán en las presentaciones o publicaciones que deriven de este estudio y de que todos los datos relacionados serán manejados en forma confidencial.

Beneficios al término del estudio:

Debido a que la decisión de participar en el estudio es completamente voluntaria y no tendré que hacer gasto alguno durante el estudio, no recibiré pago de ninguna índole por mi participación, solo la satisfacción de haber contribuido a la generación de nuevos conocimientos.

En caso de dudas o aclaraciones con respecto al estudio podrá dirigirse a: Dr. Ulises W. Cerón Díaz, jefe de la Unidad de Terapia Intensiva. Dra. Santa López Márquez, médico adscrito de la Unidad de Terapia Intensiva. Dra. Alejandra E. Reyes Vidal, médico residente de segundo año de Medicina Crítica.

En caso de dudas o aclaraciones sobre sus derechos como participante podrá dirigirse a: Comisión de Ética de Investigación del Hospital Español

Nombre y firma del sujeto: _____

Nombre y firma testigo 1: _____

Nombre y firma testigo 2: _____

Nombre y firma de quien obtiene el consentimiento: _____