

Proyecto de Investigación – Tesis de Grado

**POSGRADO DE MEDICINA CRITICA Y
CUIDADO INTENSIVOS DEL ADULTO.**

**Evaluación Ultrasonográfica del diafragma
en el paciente críticamente enfermo.**

Investigador principal:

Marlon Adrián Laguado Nieto.

Medicina Interna. Residente de segunda Especialidad
Medicina Critica y Cuidado Intensivo Adultos UNAB.



Bucaramanga

2022.

**Evaluación Ultrasonográfica del diafragma
en el paciente críticamente enfermo.**

Investigador principal:

Marlon Adrián Laguado Nieto.

Medicina Interna. Residente de segunda Especialidad
Medicina Crítica y Cuidado Intensivo Adultos UNAB.

Director de tesis:

Doctor Héctor Julio Meléndez.

Anestesiología – Epidemiología - Medicina Crítica y Cuidados Intensivos. Docente
Medicina Crítica y Cuidados Intensivos UNAB.

**Director programa posgrado de Medicina Crítica y Cuidados
Intensivos del Adulto - UNAB:**

Doctor Francisco Naranjo.

Medicina Interna - Neumología - Medicina Crítica y Cuidados Intensivos. Docente
Medicina Crítica y Cuidados Intensivos UNAB.



**Bucaramanga
2022.**

CONTENIDO.

1.0. Introducción.

2.0. Planteamiento del problema.

3.0. Pregunta de Investigación.

4.0. Hipótesis de trabajo.

5.0. Marco teórico y estado del arte.

6.0. Justificación.

7.0. Objetivo,

-7.1. Objetivo general.

-7.2. Objetivos específicos.

8.0. Metodología.

-8.1. Tipo de estudio.

-8.2. Población a estudio.

-8.3. Tamaño de la muestra.

-8.4. Criterios de inclusión.

-8.5. Criterios de exclusión.

-8.6. Variables de estudio y de resultado.

-8.7. Fuentes y técnicas de recolección de datos.

-8.8. Control de sesgos.

9.0 Aspectos éticos y legales.

10. Análisis estadístico y resultados.

11. Discusión.

12. Conclusiones.

13. Bibliografía.

Evaluación Ultrasonográfica del diafragma en el paciente críticamente enfermo.

INTRODUCCIÓN.

La extubación es un proceso importante en la atención de los pacientes en estado crítico que ya no requiere del apoyo ventilatorio invasivo y su éxito se puede comprometer por múltiples factores. Debemos tener herramientas de fácil acceso y operabilidad. La ultrasonografía diafragmática se perfila como un método no invasivo y reproducible a la hora de definir la presencia de disfunción del diafragma y puede catalogar el riesgo de fracaso para la extubación.

OBJETIVOS.

Describir las características ultrasonográficas del diafragma en pacientes con soporte ventilatorio invasivamente, que son candidatos a proceso de retirada del ventilador. Adicionalmente describir la presencia de disfunción del diafragma y su asociación con el fracaso para el destete ventilatorio y la extubación.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se realizó un estudio prospectivo tipo evaluación de tecnología diagnóstica, en pacientes con soporte ventilatorio invasivo con soporte ventilatorio espontáneo con más de 48 horas de ventilación mecánica. Se evaluó por medio de la ultrasonografía la Excursión del diafragma, grosor inspiratorio y espiratorio y el TFDi. Se evaluó prevalencia, uso de medicamentos y se analizó la asociación con fracaso en el destete ventilatorio y extubación.

RESULTADOS.

Se incluyeron 61 pacientes. El promedio de edad fueron 62.42 años y un puntaje de APACHE II de 78.23. La prevalencia de disfunción diafragmática (evaluado por excursión y TFDi) fue del 40.98%. La sensibilidad, especificidad, VVP y VVN (para evaluar éxito en la extubación) de la excursión del diafragma fue del 86%, 25%, 82% y 30% respectivamente; para el TDFi < 20% fue del 86%,24%,75% y 40% respectivamente con un área bajo la curva ROC de 0.6. El análisis Ultrasonográfico de la excursión del diafragma, grosor inspiratorio y espiratorio y TDFi permiten en su conjunto y con valores normales, predecir el éxito o fracaso para la extubación con un área bajo la curva ROC de 0.87.

CONCLUSIONES.

La medición por medio de ultrasonografía del diafragma de la TFDi, grosor inspiratorio y espiratorio y la excursión del diafragma en conjunto y con valores normales de referencia, predicen éxito en el proceso de extubación. Se necesitan más estudios multi céntricos, con mayor número de pacientes y con correlación de la ultrasonografía diafragmática con variables clínicas y fisiológicas para poder predecir mejor el éxito o fracaso en extubación.

Palabras Claves: *Diafragma, Ultrasonografía, respiración artificial, extubación traqueal, Enfermedad Critica.*

Ultrasonographic evaluation of the diaphragm in the patient hospitalized in the Intensive Care Unit.

BACKGROUND

Extubation is an important process in the care of critically ill patients that no longer requires invasive ventilatory support and its success can be compromised by multiple factors. Diaphragmatic ultrasonography is emerging as a non-invasive and reproducible method when defining the presence of diaphragm dysfunction and can catalog the risk of failure for extubation.

OBJECTIVES.

To describe the ultrasonographic characteristics of the diaphragm in patients with invasive ventilatory support, the presence of diaphragm dysfunction and its association with failure to ventilate weaning and extubation.

METHODS.

Prospective study in patients with invasive ventilatory support in spontaneous mode with more than 48 hours of mechanical ventilation. The Diaphragm Excursion, inspiratory and expiratory thickness and the TFDi were evaluated by means of ultrasonography. Prevalence, drug use and the association with failure in ventilatory weaning and extubation were analyzed.

RESULTS.

We included 61 patients. The mean age was 62.42 years and an APACHE II score of 78.23. The prevalence of diaphragmatic dysfunction (assessed by excursion and iGFR) was 40.98%. The sensitivity, specificity, VVP and VVN (to evaluate success in extubation) of the diaphragm excursion was 86%, 25%, 82% and 30% respectively; for TDFi < 20% was 86%,24%,75% and 40% respectively with an area under the ROC curve of 0.6. The Ultrasonographic analysis of the diaphragm excursion, inspiratory and expiratory thickness and TDFi allow as a whole and with normal values, to predict the success or failure for extubation with an area under the ROC curve of 0.87.

CONCLUSIONS.

The measurement by means of ultrasonography of the diaphragm of the TFDi, inspiratory and expiratory thickness and the excursion of the diaphragm together and with normal reference values, predict success in the extubation process.

More multicenter studies, with a larger number of patients and with a correlation of diaphragmatic ultrasonography with clinical and physiological variables, are needed to better predict success or failure in extubation.

Key Words: Diaphragm, Ultrasonography, respiration artificial, airway extubation, critical illness.

1. Introducción.

La ventilación mecánica (VM) es una herramienta terapéutica de uso cotidiano en las unidades de cuidados intensivos (UCI), cuyo objetivo es mantener un adecuado intercambio gaseoso, mejorando la ventilación alveolar, en los pacientes en estado crítico que cursen, por ejemplo, con Insuficiencia respiratoria, choque, estado pos reanimación, etc. Una vez el paciente supera la noxa que lo llevo a requerir la ayuda del ventilador, se debe programar el destete o disminución de los parámetros de soporte ventilatorios y evaluar la desconexión a la ventilación mecánica. Sin embargo, algunos pacientes pueden no tolerar la disminución del soporte ventilatorio o fracasan en la desconexión al ventilador, siendo necesario en muchas oportunidades, volver a intubar al paciente y reiniciar la terapia ventilatoria.

Esto genera consecuencias adversas al paciente, como la prolongación de la estancia hospitalaria en UCI, infecciones nosocomiales asociadas al ventilador, impacto negativo en la morbimortalidad y aumento en los costos que afectan la salud pública. Una causa frecuente de lo anterior es la disfunción del músculo diafragma, que es el principal músculo de la respiración. Muchos factores impactan negativamente en el funcionamiento de esta estructura, por ejemplo, soporte ventilatorio prolongado, la sepsis, relajantes musculares, la desnutrición, entre otros, elementos muy frecuentes en pacientes en estado crítico.

Existen actualmente varios métodos para evaluar el funcionamiento del

diafragma, por ejemplo, la estimulación del nervio frénico, la electromiografía y la ultrasonografía (US), siendo esta última un método no invasivo, económico y fácilmente accesible. La US del diafragma arroja importantes datos con respecto a este músculo, por ejemplo, su grosor y su movimiento o excursión que ponen de manifiesto la presencia de disfunción del diafragma.

Existe literatura que aborda el tema de la evaluación Ultrasonográfica del diafragma en paciente en estado crítico, sin embargo, los resultados de las mediciones, la sensibilidad y especificidad de esta técnica son muy heterogéneos.

Por tal motivo, el siguiente estudio tiene como objetivo evaluar las características del diafragma por US en el paciente en estado crítico con ventilación mecánica invasiva.

Consideramos que es un tópico de suma importancia, ya que permitiría, en la cabecera del paciente, determinar que pacientes presentan disfunción en el diafragma, correlacionarlos con factores de riesgos asociados y plantear un manejo integral para poder llevar a la desconexión exitosa del paciente al ventilador.

2. Planteamiento del problema.

Los pacientes que se encuentran hospitalizados en una unidad de cuidados intensivos que requieran de soporte ventilatorio mecánico invasivo, una vez superado su estado crítico, deben entrar a un protocolo de destete o desconexión al ventilador, sin embargo, esta no puede llevarse a cabo en el 30-40% de los casos, conllevando a una ventilación prolongada, con aumento de la estancia en UCI, peor pronóstico, (aumento en la mortalidad del 12%) comparado con los pacientes que sí lograron la desconexión a la VM (1,2). La disfunción de los músculos respiratorios contribuye a la dificultad del destete de la VM por múltiples mecanismos, por ejemplo, la duración prolongada de la conexión al ventilador, edad avanzada, sepsis, desnutrición, modos ventilatorios controlados, medicamentos como los glucocorticoides y los relajantes neuro musculares (3).

La disfunción del diafragma está presente en una gran proporción de pacientes críticos admitidos a UCI que tienen la necesidad de requerir soporte ventilatorio. Se puede presentar de forma temprana, posiblemente asociado a la enfermedad de base (por ejemplo, sepsis), y de forma tardía, la cual puede ser atribuido a la VM (4).

La debilidad diafragmática se ha asociado con incremento en la mortalidad (48 – 49%) comparado con pacientes que no presentan esta condición (mortalidad del 7-16%). Adicionalmente, conlleva a períodos largos de VM y una alta incidencia en el fracaso de la desconexión al ventilador, este

último, afectando al 25% de los pacientes ventilados en UCI (4,5).

La monitoria de la función respiratoria muscular en pacientes críticos es una práctica poco frecuente en la actualidad. Unos de los retos principales es el de como evaluar la función diafragmática por medio de una técnica no invasiva, fácil de realizar y sin consumir mucho tiempo a la cabecera del enfermo. Muchas técnicas disponibles requieren de la colaboración del paciente y no son específicas para la disfunción diafragmática. Sin embargo, la evaluación del diafragma por medio de la ultrasonografía ha ganado interes recientemente y los estudios y evidencia al respecto viene en ascenso (6).

La valoración del diafragma por ultrasonografía es un método seguro, fácil de aplicar, no requiere de exposición a radiación ionizante ni tampoco transporte de paciente a otra dependencia, no toma mucho tiempo y tiene una alta reproducibilidad. Este estudio permite evaluar la morfología (ejemplo, detección de atrofia) y la evaluación funcional del músculo (7).

Se han usado varias técnicas ultrasonográficas para evaluar el movimiento diafragmático, incluido el modo B, el modo M y la medición de los cambios en el grosor diafragmático. De estas, el modo M es el más fácil de aplicar y ha demostrado un alto coeficiente de correlación inter observador (8). Aunque algunos estudios han usado el modo B para determinar la

excursión diafragmática, el modo M produce imágenes que visualiza el desplazamiento del diafragma en relación con un ciclo respiratorio (9).

La ultrasonografía del diafragma es una herramienta que puede ser de mucha utilidad para el manejo integral de los pacientes críticos que están recibiendo soporte ventilatorio, al ayudar a determinar el funcionamiento diafragmático y predecir el éxito o fracaso en el destete y desconexión al ventilador.

3. Pregunta de investigación.

¿Cuáles son las características ultra sonográficas del diafragma en pacientes en estado crítico con ventilación mecánica invasiva?

4. Hipótesis de trabajo

La excursión diafragmática, el grosor diafragmático y el delta del grosor diafragmático (TFdi), son indicadores útiles de la actividad del diafragma en pacientes críticos con ventilación mecánica invasiva.

5. Marco teórico y estado del arte.

5.1 El diafragma.

El diafragma es una estructura muscular delgada y tendinosa que a nivel anterior se inserta en la apófisis xifoides, lateralmente en los bordes costales hasta los extremos de la 10 y 11 costilla y a nivel posterior en las vértebras lumbares mediante dos pilares (derecho - L3, izquierdo L2). La inervación se da por el nervio frénico, cuyas raíces emergen a nivel cervical C3, C4 (mayor contribución) y C5. Es el principal músculo de la respiración, contribuyendo al 75% del volumen corriente en la respiración (10,11).

Tiene forma de domo que separa las cavidades torácica y abdominal que, bajo condiciones normales, actúa como un pistón, generando un flujo cuando el domo desciende y desplaza el contenido abdominal hacia abajo. La presión generada en el domo entre la cavidad toraco-abdominal se denomina presión trans diafragmática (**PTD, también conocido como Pdi, que no es más que la diferencia entre la presión pleural y la abdominal lo cual permite un cálculo específico de la fuerza diafragmática**) y es proporcional a la tensión desarrollada dentro de la fibra muscular. Para esto es necesario un catéter para monitorizar la presión a nivel esofágico (que es un buen indicador de la presión pleural) y otro a nivel gástrico. Se puede evaluar la fuerza diafragmática por la medición de la Pdi generado por la estimulación magnética del nervio frénico (Pdi tw). Su principal ventaja es que provee una medición estandarizada de la generación de presión

independiente de los esfuerzos del paciente. Se realiza aplicando unos electrodos, que están conectados a un estimulador magnético, sobre la porción cervical de los nervios frénicos bilateralmente. Otro método es la presión generada en el extremo exterior de un tubo oro traqueal (Pet tw) que no requiere el uso de balones gástricos o esofágicos (2,11).

La electromiografía refleja la suma temporal y espacial de los potenciales de acción muscular; a nivel diafragmático, se puede medir por medio de electrodos superficiales o esofágicos. Más recientemente, la electromiografía diafragmática se ha utilizado clínicamente para el control ventilatorio durante la ventilación asistida ajustada neuronalmente (NAVA), que es una estrategia que sincroniza la ventilación a la actividad eléctrica del diafragma usando un tubo nasogástrico con electrodos de EMG, esto facilita la monitorización de **la actividad diafragmática crural (denominada EAdi)** (5,6). La EAdi se correlaciona con la presión generada por el diafragma en varios niveles de asistencia ventilatoria, sin embargo, pese a ser una herramienta prometedora, puede variar entre los sujetos estudiados y no hay un rango de referencia claro, necesitando más estudios para poder ampliar su uso en pacientes (11,12).

5.1.1 Disfunción del diafragma en el paciente críticamente enfermo.

Los pacientes sometidos a ventilación mecánica, una vez se resuelve la

etiología que lo llevo a dicho estado, deberán pasar por un proceso de destete en los parámetros ventilatorios para poder ser extubados. Una ventilación prolongada, por ejemplo, mayor a 5 días, se asocia con destetes largos, y estos tienen un resultado negativo en cuanto a la morbilidad. El 50% de los pacientes requerirán soporte ventilatorio a largo plazo y el 20% de los pacientes con patologías médicas en UCI necesitarán estar conectados al ventilador por más de 21 días. Esto tiene un impacto negativo desde el punto de vista económico y social.

Para el año 2020, se estimó que el costo anual en Estados Unidos derivados de la ventilación prolongada y el destete no exitoso excedieron los 50 millones de dólares (13,14).

La ventilación mecánica controlada (VMC) es un modo donde la máquina provee todo el trabajo respiratorio al paciente, y este no puede dar inicio a una inspiración (no es posible disparo o trigger por parte del paciente). Numerosos estudios han demostrado que la VMC prolongada resulta en una atrofia diafragmática de rápida instauración en varias especies (ejemplo, ratas, conejos). En el diafragma de rata, se ha documentado atrofia en las fibras musculares lentas y rápidas cuando están con VMC durante 12 a 18 horas. La tasa rápida de atrofia diafragmática inducida por el ventilador excede el curso en el tiempo a la atrofia observada en los músculos esquelético locomotor durante períodos de desuso (14).

En el estudio de Levine y cols, se evaluaron las biopsias de diafragma obtenida de 14 adultos con muerte cerebral candidatos a donación de

órganos quienes recibieron VM por períodos de tiempo variable (18 a 69 horas) previo a la extracción de órganos y los compararon con muestras obtenidas de 8 pacientes controles quienes estuvieron en cirugía torácica por lesiones benignas o cánceres pulmonares localizados. Los autores reportaron una atrofia marcada en las fibras lentas y en las rápidas en el grupo estudio comparado con el grupo control. La atrofia en las fibras musculares en el diafragma del grupo de VM fue asociado con signos de aumento en el estrés oxidativo e incremento en los bio marcadores de proteólisis muscular (15).

5.2 Mecanismos de Disfunción del diafragma.

La ventilación mecánica produce un aumento en la generación de las especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés), la cual promueve las vías de la caspasa y calpainas, también activa la vía de la ubiquitin proteasoma, generando un aumento en la proteólisis. Adicionalmente, se incrementa la transcripción de los genes relacionados con la autofagia y se generan también vacuolas con autofagosomas, generando en conjunto una disminución en la síntesis de proteínas; esto, junto a la proteólisis, da como resultado un balance negativo en las proteínas musculares, conllevando a una injuria y atrofia de las miofibrillas, resultando en una disfunción diafragmática inducida por el ventilador (16).

- **5.2.1. Atrofia muscular:** La atrofia puede resultar por la disminución

de la síntesis de proteínas, aumento en la degradación o ambas. La degradación proteínica se ha observado en animales expuestos a 18 horas de VMC (17,18).

- **5.2.2. Remodelamiento de las fibras:** Las fibras musculares del diafragma (músculo esquelético) son tradicionalmente clasificados como fibras lentas (tipo 1) y rápidas (tipo 2) basadas en la composición de las cadenas pesadas de las moléculas de miosina. Una ventilación controlada de 2 a 4 días puede producir un patrón mixto de fibras musculares (disminución en las fibras tipo 1 y un incremento en las fibras que co-expresan fibras lentas y rápidas de cadena pesada de miosinas). Este cambio puede reducir la resistencia del diafragma (17).
- **5.2.3. Estrés oxidativo:** un incremento en el estrés oxidativo, reflejado por un incremento en la oxidación proteínica y peroxidación lipídica, ha sido observado en animales a las 6 horas de VMC. La injuria oxidativa es importante debido a que puede contribuir a la atrofia muscular y a la disfunción contráctil; puede modificar varias proteínas asociadas al acople excitación contracción y contribuir a la reducción en la producción de la fuerza muscular (17).
- **5.2.4. Injuria estructural:** las anomalías en los diferentes componentes subcelulares de las fibras diafragmáticas han sido documentadas después de 48 horas de VMC. Estas anomalías incluyen miofibrillas rotas, edema anormal de las mitocondrias, y

depósito de lípidos y vacuolas. Las alteraciones estructurales en las miofibrillas son inversamente proporcionales a la fuerza generada por el diafragma (17). Los mecanismos para el daño son inciertos, pero pueden estar comprometidos la activación de la proteólisis por la vía ubiquitina proteasoma, la proteólisis por calpainas y el estrés oxidativo (17, 19). Otros mecanismos que conllevan al desarrollo de la disfunción diafragmática en el paciente crítico se ilustran en la **figura 1**.

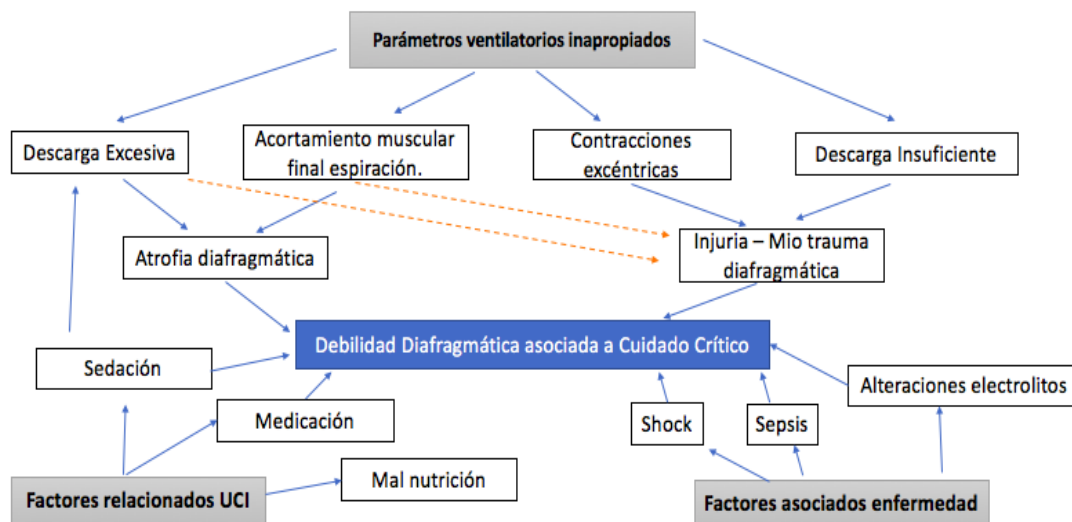


Figura 1. Fisiopatología de la disfunción diafragmática asociada al cuidado crítico. Existen 3 factores principales asociados a la disfunción diafragmática: Los relacionados con la atención en UCI (sedación prolongada, medicamentos como relajantes musculares o corticoesteroides) o la mal nutrición; los factores relacionados con la enfermedad (desequilibrio electrolitos, infecciones, estados de shock), o factores relacionados con el ventilador: exceso de asistencia, asincronías que conllevan a lesiones en la fibra muscular diafragmática etc. **Modificado de: Schepens T, Fard S, Goligher EC. Assessing Diaphragmatic Function. Respir Care. 2020 Jun;65(6):807-819.**

5.3 Papel de la ultrasonografía en la evaluación del diafragma.

La ultrasonografía es un método ampliamente disponible, no invasivo y fácil de usar. Existen 2 principales métodos ultrasonográficos para evaluar el diafragma: determinar la excursión y la medida del engrosamiento del diafragma (20).

Esto se puede lograr utilizando diferentes ventanas y sondas: la sonda lineal es útil para ver el engrosamiento utilizando la ventana de la zona de aposición del diafragma con la caja torácica (sonda de 10-12 MHz colocándola perpendicularmente sobre el 9º y 10º espacio intercostal de la línea axilar anterior) , y las sondas convexas son útiles para evaluar la excursión en las ventanas lateral y anterior (sonda de 3.5-5 MHz, se posiciona debajo de la parrilla costal a nivel de la línea medio clavicular, se dirige el haz del ultra sonido perpendicular al tercio posterior de dicho hemidiafragma) (2,10).

Durante la inspiración y a medida que el diafragma se contrae, su grosor va aumentando. Una inspiración que llega al 50% de la capacidad vital se correlaciona con la contracción muscular, debido a que la resistencia del tórax es escasa y uniforme, pero al superar el 50% de la capacidad vital, la resistencia va aumentando progresivamente obligando a realizar un mayor esfuerzo muscular, condicionando un mayor porcentaje de engrosamiento durante la segunda mitad del ciclo respiratorio (10).

Cuando el diafragma se contrae, se aumenta su espesor y la magnitud de ese engrosamiento durante la inspiración puede ser expresado como porcentaje de aumento del engrosamiento (la fracción de engrosamiento diafragmático, TFdi). Este índice solo tiene en cuenta el grosor inicial y final durante una espiración desde la capacidad residual funcional hasta la capacidad vital, refleja la actividad muscular del diafragma durante la respiración, su eficiencia como generador de presión y provee una estimación de su fuerza durante un esfuerzo inspiratorio máximo (TFdi max) (10,11):

$$\text{TFdi} = \frac{\text{(grosor tele inspiratorio)} - \text{(grosor tele espiratorio)}}{\text{Grosor tele espiratorio}} \times 100$$

Una TFdi puede predecir éxito en el destete del ventilador si su valor es > 30%, con una sensibilidad del 88%, especificidad del 71% y valor predictivo positivo del 91%. Valores de TFdi menores a 20% puede indicar la presencia de trastorno muscular diafragmático, con mejor rendimiento para predecir fracaso a la extubación comparado con el índice de Tobín. (2,10,11).

El grosor diafragmático (que se mide por ultrasonografía en modo M o con imagen en 2D) mide normalmente en pacientes ventilados 2.4 ± 0.8 mm, indicando atrofia si el grosor está por debajo de 2 mm (2).

Normalmente, la excursión diafragmática es de 0.9 a 2 cm y puede alcanzar valores entre 7 a 10 cm durante una respiración forzada. Existe variación en los valores de movimiento en el diafragma, ya que, en respiración espontánea, el hemidiafragma derecho está 1.9 cm más cefálico que el hemidiafragma izquierdo al final de la espiración y 1.3 cm al final de la inspiración; en pacientes con ventilación mecánica, la diferencia en los hemidiafrágmata derecho e izquierdo al final de la espiración es de 1.7 cm y 1.6 cm al final de la inspiración, respectivamente (21).

Los parámetros evaluados por la US que definen disfunción diafragmática son una Excursión Diafragmática menor a 10 mm (8), y una TFdi < 20% (para hablar de una disfunción diafragmática clínicamente relevante) (10).

En un estudio con 73 pacientes ventilados a los que se le realizó ultrasonografía diafragmática, se evidenció un fracaso para la extubación en los pacientes con excursiones del diafragma de 1.7 ± 0.82 cm comparado con 2.1 ± 0.9 cm en los que fueron exitosamente extubados (22).

En otro estudio con 100 pacientes de los cuales 24 tuvieron un fracaso a la extubación, el punto de corte de la excursión diafragmática fue de 1.2 cm con una sensibilidad del 78.95% y especificidad del 70.83%, un valor predictivo positivo del 82.35% y negativo de 60% (23). Se ha asociado también la disfunción diafragmática con una excursión negativa o

movimiento paradójico del músculo (2).

5.3.1 Técnica de Medición del diafragma por US.

Se posicionó el transductor debajo del reborde costal derecho e izquierdo con línea media claviclar o axilar anterior, dirigiéndolo en sentido craneal, medial y dorsal **(figura 2)**. La señal del ultrasonido alcanza perpendicularmente el tercio posterior del hemidiafragma correspondiente. El lóbulo derecho del hígado sirve como ventana acústica en el hemidiafragma derecho y el bazo en el izquierdo (6,24).



Figura 2. Modo de posición del transductor del ultra sonógrafo a nivel del reborde costal derecho e izquierdo.

La excursión diafragmática se evalúa mediante esta técnica y se realiza con una sonda convexa, la cual tiene una gran penetración y logra evaluar la cúpula diafragmática o con una sonda micro convexa. **(figura 2)** (10).

Para evaluar la variación del grosor diafragmático, el transductor del

ecógrafo se localizó entre el espacio intercostal 8º al 10º con línea medio axilar. El diafragma está unido a las costillas, en el lugar conocido como zona de aposición costal, donde se ve una triple banda las cuales representan el peritoneo, el músculo y la pleura parietal. En esta ventana se puede usar el modo B o M, esta última, observa la variación del grosor a través del tiempo. Para esta evaluación se puede emplear una sonda lineal (10).



Figura 3. Ejemplo evaluación de grosor del diafragma.

5.4 Estado del arte y valoración Ultrasonográfica del diafragma.

El uso de la ultrasonografía para la evaluación del diafragma no se emplea de rutina en el paciente crítico, esto podría explicarse porque la evaluación de este músculo y su disfunción puede ser sub diagnosticada. Se ha descrito que el diafragma en la ultrasonografía tiene 3 líneas ecógenas, siendo la capa más caudal el complejo diafragma- hígado, la capa de la mitad el complejo pulmón - pleural visceral y la capa más cefálica una imagen en espejo (25).

El grosor diafragmático, la fracción de acortamiento y la evaluación de la movilidad o excursión del diafragma, son los índices o parámetros más evaluados por la ecografía. El grosor diafragmático nos da información sobre la presencia de atrofia del diafragma, también de la magnitud del esfuerzo de este músculo y la movilidad o excursión del diafragma nos habla de la actividad muscular (2,6). Las mediciones más empleadas en diversos estudios son la excursión del diafragma y la medición del grosor del diafragma al final inspiración y espiración (TFdi) (26).

5.4.1. Excursión del diafragma: es la amplitud de la excursión desde que se da inicio a la contracción hasta el máximo punto inspiratorio (26). Se observa el desplazamiento cíclico del domo diafragmático durante la inspiración y espiración por ultrasonografía usando el modo M, siendo el hígado una ventana acústica cuando se evalúa el hemidiafragma derecho (6). Esta medida se realiza usando una sonda de 3,5 MHz convexa (22).

5.4.2. Grosor diafragmático: los trabajos iniciales de ecografía diafragmática en ventilación mecánica evaluaban solamente el grosor del diafragma, con valores menores a 2 mm indicativos de atrofia muscular (27). Se han reportado valores normales en pacientes ventilados de 2.4 ± 0.8 mm (10,11)

Normalmente, la excursión diafragmática es de 0.9 a 2 cm y puede alcanzar valores entre 7 a 10 cm durante una respiración forzada. Existe variación en los valores de movimiento en el diafragma, ya que, en respiración espontánea, el hemidiafragma derecho está 1.9 cm más cefálico que el hemidiafragma izquierdo al final de la espiración y 1.3 cm al final de la inspiración; en pacientes con ventilación mecánica, la diferencia en los hemidiafrágmata derecho e izquierdo al final de la espiración es de 1.7 cm y 1.6 cm al final de la inspiración, respectivamente (28).

Diversos estudios han evaluado el diafragma por medio de la ultrasonografía y su utilidad en predecir el fracaso o el éxito en el destete ventilatorio. Zambon y cols, llevaron a cabo una revisión sistemática de la literatura, donde incluyeron 20 estudios con 875 pacientes. Se encontró que la disfunción diafragmática estaba presente en el 29% de los pacientes con ventilación mecánica. Los puntos de corte óptimos para la excursión diafragmática encontrados en este estudio varían de 10 a 14 mm.

5.4.3. TFdi: Se considerará normal una TFdi $> 20\%$. Para esta medición, se colocará el transductor de la misma manera que para la medición de la

excursión diafragmática; se evaluará este parámetro en la zona de aposición del diafragma (zona donde el contenido abdominal alcanza la caja torácica inferior, apreciándose 3 capas: el diafragma (como una capa central no ecogénica) la cual está rodeada por 2 capas ecogénicas (peritoneo y pleura). Se requerirá un transductor de alta frecuencia, ejemplo, 10-12 MHz en modo bidimensional (28).

En el estudio de Farghaly que incluyeron 54 pacientes, se evaluaron la excursión diafragmática, el engrosamiento diafragmático al final de la inspiración y la fracción de engrosamiento diafragmático durante la ventilación mecánica en espontáneo. De los 54 pacientes incluidos, 14 (25.9%) fracasaron en la extubación (29).

Los puntos de corte asociados con extubación exitosa fueron $> 10,5$ mm para la excursión diafragmática, > 21 mm para el engrosamiento al final inspiración y $> 34.2\%$ para la fracción de engrosamiento diafragmático con una sensibilidad del 87.5%, 77,5% y 90% respectivamente. Se encontró en este trabajo que una combinación de excursión diafragmática $> 10,5$ mm y un grosor diafragmático al final de la inspiración > 21 mm tiene una disminución en la sensibilidad del 64.9% pero un incremento en la especificidad del 100%. (29).

Un meta análisis donde se incluyeron 742 pacientes reportaron una sensibilidad y especificidad para la excursión diafragmática del 78.6% y 71,1% y para la fracción de engrosamiento diafragmática una sensibilidad del 89,3% y una especificidad del 79,6% (30).

En el estudio de Ferrari y cols, la fracción de engrosamiento diafragmático mayor al 36% fue asociado con éxito en el proceso de extubación con una sensibilidad del 82% y especificidad del 88%, un valor predictivo positivo de 92% y valor predictivo negativo del 75% (31).

En cuanto a la curva de aprendizaje, el entrenamiento del operador del ultrasonido para identificar el diafragma y las mediciones de su engrosamiento tomó 3 a 5 sesiones con una duración de 10-15 minutos cada una (28). En el trabajo de Varón-Vega y cols, se realizó previo al estudio un entrenamiento de 12 horas presenciales para los Intensivistas que tomaron las ecografías con un radiólogo experto con el fin de estandarizar las mediciones ecográficas (26).

Eltralbi HH y cols realizaron un estudio con 30 pacientes con sepsis abdominal en quienes se evaluaron algunos parámetros ultrasonográficos a los 30 minutos después de iniciada la prueba de respiración espontánea.

17 pacientes (56.6%) fueron extubado exitosamente, mientras que 13 sujetos (43.4%) fallaron en la extubación. Encontraron que una TFdi > 30.7% tiene una sensibilidad del 94.1%, especificidad del 100%, con un área bajo la curva de 0.977. También se documentó que una excursión diafragmática > 10.4 mm tiene una sensibilidad del 94% y especificidad del 85% en predecir éxito en la liberación del ventilador, con un área bajo a curva de 0.85 (32).

Otro estudio con 30 pacientes en los que se les realizó la ultrasonografía durante los primeros 5 a 10 minutos de la prueba de respiración espontánea, encontró que una TFdi > 30% se correlacionaba con un tiempo más corto entre la realización del ultrasonido y la extubación comparado con pacientes que presentaban disfunción diafragmática (TFdi < 30%). Un valor > 30% aseguraba un éxito en la extubación a las 24 horas con una sensibilidad y valor predictivo positivo del 90.9% y una especificidad y valor predictivo negativo del 86.7% (33).

6. Justificación.

Uno de los principales motivos de ingreso de un paciente crítico a la unidad de cuidados intensivos es el requerimiento de Ventilación mecánica invasiva. Si bien es un método terapéutico indicado en situaciones como insuficiencia respiratoria, choque, alteración del estado de conciencia, estado pos reanimación, posoperatorios de cirugías de alta complejidad entre otras, no está libre de complicaciones que pueden impactar adversamente la morbilidad y mortalidad de los pacientes. Esto se debe a que un largo período de ventilación mecánica se asocia a complicaciones infecciosas, larga estancia hospitalaria, requerimiento de traqueostomía y alta dependencia al ventilador que puede terminar en ventilación domiciliaria entre otras. (3,4,7)

Esta situación también se traduce en un incremento significativo en los costos al sistema en salud, aumento en el riesgo de mortalidad, impacto negativo en la calidad de vida y pobre desenlace funcional a largo plazo, lo que podría acarrear un aumento en la carga emocional a los familiares del enfermo y un desgaste en la atención en el equipo que maneja al paciente. (1,2,3).

Al manejar todos los días pacientes con ventilación mecánica invasiva, continuamente se debe evaluar el momento idóneo para llevar a cabo el destete ventilatorio y la extubación. El fracaso en la extubación puede ser

explicado hasta en un 50% por la disfunción del diafragma. La reintubación de un paciente también tiene consecuencias, la más importante, su asociación con un aumento en la tasa de mortalidad (5).

Por tal motivo, evaluar la actividad del diafragma ayudará, junto a otros parámetros clínicos y paraclínicos, a definir el momento ideal para la extubación exitosa de los pacientes.

La US es una valiosa herramienta diagnóstica, no invasiva, económica, fácilmente disponible y que se puede usar a la cabecera del paciente, que ha venido en uso creciente en la práctica diaria. (8,9)

Esta tecnología puede aplicarse para evaluar la actividad y estructuralidad del diafragma y poder predecir el éxito o fracaso en la extubación. Así, el poder evaluar las características del diafragma en pacientes en estado crítico que estén recibiendo ventilación mecánica en una institución de salud de IV nivel de complejidad por medio de la ultrasonografía, identificar y medir las variables como grosor y movimiento o excursión del diafragma y correlacionarlos con éxito o fracaso en el destete ventilatorio y en la extubación, nos aportaran datos valiosos que puedan ser la base para nuevas investigaciones y protocolos de retiro del soporte ventilatorio invasivo.

7. Objetivos.

7.1. Objetivo General.

Describir la evaluación diafragmática realizada por Ultrasonografía en pacientes sometidos a ventilación mecánica invasiva.

7.2. Objetivos Específicos:

- Descripción de las características del diafragma evaluadas por US y su relación con la duración de la ventilación mecánica.
- Describir la incidencia de disfunción diafragmática en paciente estudiados.
- Describir la proporción de fracaso de extubación en los pacientes con disfunción diafragmática.

8. Metodología.

8.1 Tipo de estudio:

Estudio descriptivo de evaluación de tecnología diagnóstica médica.

8.2 Población estudio:

Todos los usuarios de las clínicas FOSCAL y FOSCAL Internacional.

8.3 Tamaño de muestra.

Se realizó el cálculo del tamaño de muestra basado en los reportes de la literatura que reportar una disfunción diafragmática entre 33 al 95% y para efectos del presente estudio (Descriptivo), poder de 0.8 y alfa de 0.05, obteniendo un tamaño de muestra de 60 pacientes.

- **8.4 Criterios de inclusión.**

- ✚ Pacientes con ventilación mecánica invasiva con una duración esperada de más de 48 horas.

- **8.5 Criterios de exclusión.**

- ✚ Paciente que ingresaron a la UCI provenientes de programa de atención domiciliaria y que estaban con ventilación mecánica crónica.

- ✚ Pacientes embarazadas.

- ✚ Antecedente de parálisis diafragmática unilateral.

- ✚ Paciente con ventilación mecánica en manejo paliativo en quien no se consideró realizar extubación.

- ✚ Pacientes con poli neuropatías, ejemplo, síndrome de Guillain Barré, miastenia gravis.

8.6 Variables de estudio.

8.6.1 Variable(s) Resultado (Tabla 1):

- **A. Grosor Diafragmático**, evaluado por ultrasonografía en modo M o con imagen en 2D. Con valores normales en pacientes ventilados 2.4 ± 0.8 mm (10,11). Los valores de referencia reportados en varones sanos son de 1.8 ± 0.3 a 2.9 ± 0.6 cm, y en mujeres de 1.6 ± 0.3 a 2.6 ± 0.5 cm.

- **B. Disfunción Diafragmática**

Fue definido como una excursión diafragmática menor a 10 mm (8), y una **TFdi** < 20% (para hablar de una disfunción diafragmática clínicamente relevante) (10). Este parámetro se evaluó con el modo M. En el paciente con ventilación mecánica (modo espontáneo), permitió evaluar los esfuerzos respiratorios espontáneos. Los valores de referencia reportados en varones sanos son de 1.8 ± 0.3 a 2.9 ± 0.6 cm, y en mujeres de 1.6 ± 0.3 a 2.6 ± 0.5 cm.

$$\text{TFdi} = \frac{\text{grosor tele inspiratorio} - \text{grosor tele espiratorio}}{\text{grosor tele espiratorio}} \times 100$$

Grosor tele espiratorio

TABLA 1.

Variable resultado	Marco conceptual	Medición	Tipo de Medición.	Valores.
Excursión diafragmática	Desplazamiento en centímetros del diafragma.	Durante la ventilación mecánica.	Nominal cualitativa.	Varones: de 1.8 ± 0.3 a 2.9 ± 0.6 cm. Mujeres: 1.6 ± 0.3 a 2.6 ± 0.5 cm. Atrofia: < 10 mm o ausencia de excursión.
Grosor diafragmático	Medido por ultrasonografía en modo M. Puede demostrar atrofia.	Durante la ventilación mecánica.	Nominal cuantitativa.	Mide normalmente: 2.4 ± 0.8 mm en pacientes intubados. Atrofia: < 2 mm.
TFdi.	Medición del grosor del diafragma al final inspiración y espiración.	Durante la ventilación mecánica	Nominal cuantitativa	Anormal: < 20%

Tabla 1. Variables de resultado.

8.6.2 Otras Variable de resultado (tabla 2):

- ✓ **8.6.2.1. Fracaso en el destete ventilatorio:** Se consideró como falla en el destete ventilatorio, aquellos pacientes que no toleraron un modo de ventilación espontáneo por un período de menos de 12 horas, en los que se observó la necesidad de pasar nuevamente a un modo ventilatorio controlado (por presión o por volumen, de acuerdo al criterio del Intensivista a cargo del paciente).
- ✓ **8.6.2.2. Fracaso en la extubación:** Se consideró como la necesidad de reintubación oro traqueal durante las primeras 48 horas después

de una extubación programada. Los criterios para extubación de un paciente se dejó a criterio del personal médico especialista a cargo del paciente.

Tabla 2.

Variables secundarias	Marco conceptual	Medición	Tipo de medición.	Valores.
Fracaso destete ventilatorio.	No tolerancia de ventilación en modo espontaneo menos de 12 horas.	VMI en modo espontáneo.	Nominal cualitativa.	1 éxito. 2 Fracaso
Fracaso extubación.	Reintubación primeras 48 horas posteriores a una extubación.	Durante las primeras 48 horas de haber sido extubado.	Nominal cualitativa.	1. Extubación exitosa. 2. Extubación fallida.
Días estancia UCI	Intervalo de tiempo desde que el paciente ingresa a UCI hasta su egreso (vivo o muerto)	Datos de la historia clínica.	Cuantitativa discreta	En días.
Mortalidad.	Ausencia signos vitales, ausencia irreversible funciones cerebrales y del tallo cerebral.	Al egreso	Nominal	1. Vivo. 2. Muerto.

Tabla 2. Variables secundarias.

8.6.3 Variables independientes.

- Edad.

- Género.

- APACHE II

- Diagnósticos:
 - ✓ Insuficiencia respiratoria aguda.
 - ✓ Infección respiratoria aguda grave por SARS COV2.
 - ✓ Choque séptico.
 - ✓ Insuficiencia cardíaca congestiva – choque cardiogénico.
 - ✓ Enfermedad cerebrovascular.
 - ✓ Enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
 - ✓ Trauma de abdomen, torax, craneo encefálico.
 - ✓ Otros.

- Medicamentos: relajantes musculares, sedo-analgésia, corticoides sistémicos.

Tabla 3.

Variables independientes.	Marco conceptual	Medición	Tipo de medición.	Valores.
Edad.	Edad en años cumplidos al ingreso UCI	Años cumplidos al ingreso UCI	Cualitativa nominal.	1. 18-50 años 2. >51 años
Género.	Fenotípicamente Hombre o mujer	Examen físico	Cualitativa nominal	1. Hombre. 2. Mujer.
APACHE II.	Puntaje que se calcula en las primeras 24 horas del ingreso del paciente a UCI y determina el riesgo de mortalidad.	Ingreso UCI datos historia clínica.	Nominal	https://intensivecarenetwork.com/Calculators/Files/Apache4.html
Diagnósticos.	Enfermedad o proceso patológico que conduce al deterioro del paciente y lo obliga a ingresar a UCI	Historia clínica	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Neumonía adquirida comunidad. ✓ Choque séptico. ✓ ✓ Insuficiencia cardíaca congestiva. ✓ Choque cardiogénico. ✓ Enfermedad cerebrovascular. ✓ Enfermedad pulmonar obstructiva

				crónica. ✓ Trauma de abdomen, torax, craneo encefálico. ✓ Otros.
Medicamentos.	Tratamientos farmacológicos administrados a los pacientes durante su estancia en UCI	Historia clínica	Nominal	1. Corticoesteroides. 2. Relajantes musculares. 3. Sedantes y analgesia.

Tabla 3. Variables independientes.

Tabla 3. Variables independientes.

8.7 Fuentes y técnicas de recolección de datos.

8.7.1 Técnica de la Medición del diafragma por US.

✓ Se posicionó el transductor debajo del reborde costal derecho e izquierdo con línea media clavicular o axilar anterior, dirigiéndolo en sentido craneal, medial y dorsal (**ver figura 2**).

✓ La excursión diafragmática se evaluó mediante esta técnica y se realizó con una sonda convexa o con una sonda micro convexa. Se utilizó una sonda de 3.5-5 MHz, fue colocada debajo del espacio subcostal con línea medio clavicular, haciendo que el haz del sonido viajara perpendicularmente al tercio posterior del diafragma.

✓ Para evaluar la variación del grosor diafragmático, el transductor del ecógrafo fue posicionado entre el espacio intercostal 8^o al 10^o con línea

medio axilar en el lugar conocido como zona de aposición costal. Acá, se usaron los modos B o el modo M, este último evaluó la variación del grosor a través del tiempo.

✓ El modo de movimiento (M), se empleó para evaluar la excursión diafragmática (distancia medida en centímetros) y el grosor diafragmático (distancia medida en milímetros).

✓ Para el grosor diafragmático se posicionó la sonda (10-12 MHz) de forma perpendicular sobre los espacios intercostales 9^o-10^o, con línea axilar anterior, en hemidiafragma derecho, ya que esto ofrecía una medición más sencilla y accesible gracias a la ventana acústica hepática. Se utilizó para su medición el modo M.

✓ La fracción del grosor diafragmático se obtuvo al final de la inspiración y al final de la espiración. Para su cálculo, se resta el valor de grosor al final de inspiración y al final de la espiración y este resultado se divide por el grosor al final de espiración, este valor se multiplica por 100.

8.7.2 Momento evaluación ultrasonográfica.

- Se detectó, de acuerdo a los criterios de ingreso del estudio, a los pacientes candidatos para la participación en esta investigación.

- Se mantuvo una comunicación activa con los intensivistas presentes en las unidades de cuidados intensivos.
- Se realizó la valoración Ultrasonográfica del diafragma una vez se inició el proceso de destete ventilatorio con prueba de respiración espontánea o **modo espontáneo**. Este último proceso, fue definido de manera independiente por el intensivista a cargo del paciente.
- Se registró en el instrumento recolector de datos (**ver anexo 2**) la información del paciente como identificación, fecha ingreso, fecha de intubación y duración de la misma hasta extubación y/o fracaso de extubación, cubículo donde se encontraban, diagnósticos, medicamentos recibidos, escala APACHE II y se documentó las variables ultrasonográficas.
- Se registraron los casos en los que la extubación fue exitosa, los casos en los que el destete de la ventilación fracasó y en los que, posterior a la extubación, requirieron reintubación durante las primeras 48 horas de la primera extubación.

8.8 Control de sesgos.

- **8.8.1. De información:** Se hizo una revisión de los datos de historia clínica para obtener los datos de la hospitalización en UCI.
- **8.8.2. De selección:** Para controlar este sesgo, fueron definidos claramente los criterios de inclusión y exclusión, de tal forma que el reclutamiento de los pacientes fue determinado únicamente por el cumplimiento de dichos criterios.
- **8.8.3. Del observador:** Este sesgo puede presentarse por omisión de datos en el formato o inadecuado interrogatorio. Este sesgo se controló realizando un entrenamiento previo y ajustando el formulario de acuerdo a los resultados.

9.0. Aspectos éticos y legales.

El estudio es de tipo descriptivo, de evaluación de tecnología médica. No se realizó manipulación o algún tipo de intervención terapéutica durante el seguimiento de los pacientes.

El método diagnóstico empleado fue la Ultrasonografía, por lo que los pacientes no estuvieron expuestos a radiación ionizante a causa del estudio ni tampoco fueron objetos de intervenciones invasivas. La revisión de variables como edad, puntaje APACHE IV, diagnósticos, medicamentos utilizados, modos de asistencia ventilatoria entre otros fueron tomados de la historia clínica. Se garantizó la reserva de la información adquirida, ya que solo fue empleada para el análisis del estudio.

El presente proyecto, fue sometido a consideración del Comité de Investigación de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB) y al comité de ética de la institución participante para la obtención del respectivo aval.

El estudio fue realizado siguiendo los lineamientos éticos establecidos por la última actualización realizada a la declaración de Helsinki en la 64ª Asamblea General, Fortaleza, Brasil, octubre 2013; y a las consideraciones éticas según lo dispuesto en la Resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud. El presente estudio fue clasificado como investigación con riesgo mínimo. (34,35).

Se informó a familiares sobre su derecho tanto a participar como a retirarse de la investigación, en cualquier momento de la misma, No existe conflicto de interés de ninguno de los investigadores ni de la institución participante

9.1 Principio de Autonomía: Se respetó el principio de autonomía de los pacientes; se diligenció, como constancia en los casos de aceptación, el formato de consentimiento informado.

9.2 Principio de Beneficencia: se actuó en función del mayor beneficio posible para el paciente. Con el presente estudio se buscaba encontrar la beneficencia de la humanidad, puesto que busca describir un parámetro que nos puede servir en la unidad de cuidado intensivo, y sus resultados facilitarían el diseño de programas, proyectos y estrategias alrededor del

destete ventilatorio en el paciente crítico.

9.3 Principio de No Maleficencia: Este estudio al ser descriptivo, no ejecutó ningún tipo de intervención desencadenante de dolor, sufrimiento o discapacidad, tampoco conllevó de ninguna manera a la vulneración de preceptos morales o de privacidad del paciente.

9.4 Principio de Justicia: En este estudio se tomaron los datos de la historia clínica y del registro de la ultrasonografía por el investigador de todos los pacientes incluidos.

9.5 Ley de protección de datos

Las garantías de seguridad que se deben proporcionar en esta propuesta van enfocadas hacia la seguridad de la privacidad de los datos personales de cada paciente y de los obtenidos de su historial clínico, lo cual fue manejado bajo lo estipulado en la Ley 1581 de 2012, garantizándose la intimidad y confidencialidad de la información personal, que se utilizó solo por los investigadores a cargo, se restringió el acceso a la misma a cualquier otra persona ajena a la investigación. Para garantizar la confidencialidad, en la base de datos, cada paciente tuvo un consecutivo y se evitó registrar número de historia clínica y nombre del paciente (Bibliografía: Congreso de la República de Colombia. Ley Estatutaria 1581 de 2012.

10. Analisis estadistico y Resultados.

Durante un periodo de tiempo comprendido entre enero y septiembre del 2021, fuero elegibles 100 pacientes, de los cuales 39 presentaron criterios de exclusión. Finalmente, la población incluida en el estudio fue de 61 pacientes.

Características generales y clínicas:

El 60,66% (n=37) de los pacientes eran del sexo masculino. La edad promedio fue de 62,42 años. La severidad del cuadro clínico de los pacientes de acuerdo con los puntajes de APACHE II tuvo una media de 78,2 puntos y una mortalidad predicha de 39,66 % VerTabla No.4

Tabla 4. *Características generales y clínicas de la población estudiada*

Variable	Promedi o	RIC	Min – Max (DS)
Edad (años)	62,42	23	22-87(16,85)
APACHE II*	78,23	23	40-131(21,26)
Mortalidad Predicha Apache II %	39,66	24,6	6,42-86,79(18,47)

La patología mas frecuente fue el COVID–19 en el 34,43%, seguido por quirúrgico – Trauma (31,15%), Infeccioso no COVID – 19 (18,03%) y por último patologías médico no quirurgicas ni infecciosas. Dentro de estos grupos el diagnostico principal fue de SDRA en un 44,26% de los pacientes, las demás características se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Grupo diagnostico y diagnostico principal

	%	Fr
Sexo Femenino	39,34%	24
Sexo Masculino	60,66%	37
Grupo Diagnostico		
COVID – 19	34,43%	21
Quirúrgico-Trauma	31,15%	19
Infeccioso no COVID – 19	18,03%	11
Medico	16,39%	10
Diagnostico Principal		
SDRA	44,26%	27
Choque Séptico	26,23%	16
Choque Hipovolémico	11,48%	7
Choque Cardiogénico	4,92%	31
Neurotrauma	13,11%	8

Respecto a las características clínicas de ventilación y de oxigenación de los pacientes al momento del examen, se encontró que : La Pa/FiO₂ y la PO₂ oscilaron entre valores de 225,84 y 92,98 mmHg respectivamente. La hemoglobina de 10,12 gr/dl. La estancia y la duración de intubación orotraqueal promedio fue de 25,34 y 13,29 dias respectivamente. Ver Tabla No. 6.

Tabla 6 *Características clínicas y ventilatorias*

Variable	Promedio	RIC	Min – Max (DS)
pH (mmHg)	7,41	0,07	7,22 – 7,54 (0,06)
PO ₂ (mmHg)	92,98	31,3	44,7 – 169,9 (23,44)
HCO ₃ (mmHg)	24,88	6,2	13,9 – 34,6 (4,43)
Pa/FiO ₂ (mmHg%)	225,84	64	140 – 496 (65,63)
Na (mmol/L)	139,91	6,1	131 – 149 (4,55)
K (mmol/L)	4,09	0,36	2,89 – 5,9 (0,53)
Cl (mmol/L)	103,38	8,5	9,3 – 119,6 (13,43)
Hemoglobina (gr/dl)	10,12	2,2	6,6 – 14 (1,56)
Hematocrito (%)	30,64	6,5	20 – 41 (4,56)
Días de estancia en UCI	25,34	18	3-156 (26,84)
Días de IOT*	13,29	10	2-35 (7,57)

*Puntaje, Min = mínimo, Max = Máximo, DS = Desviación estándar, RIC = Rango Intercuartílico, PO₂: Presión parcial de oxígeno, *IOT Intubacion Orotraqueal HCO₃: Bicarbonato,

Pa/FiO₂: relación entre la presión arterial de oxígeno y la fracción inspirada de oxígeno, Na: sodio, K: potasio, CL: Cloro.

Uso de Esteroides, Sedantes, Analgesicos y Relajantes Neuromusculares

Para el adecuado acople ventilatorio durante la estancia en UCI es importante el manejo de la sedación y relajación, por tal motivo y para cumplir con el objetivo específico del proyecto, se recolectó esta información: el 60,66% de los pacientes requirieron manejo con más de dos fármacos analgesicos y sedantes: los opioides fueron el grupo de fármacos

mas utilizados en un 98,36%, seguido por las benzodiazepinas 73,77%, Propofol (26,23%) y dexmedetomedina (11,48%). El 34% de los paciente se uso RNM en infusion. Las demás características se muestran en la Tabla No 7.

Tabla No. 7 *Cantidad y tipos de Fármacos*

Tipo de Droga	% (Fr)
Opioide	98,36% (60)
Benzodiazepina	73,77% (45)
Propofol	26,23% (16)
Relajante NM (RNM)	29,51% (18)
RNM Infusión 48rs	29,51% (18)
Esteroide	34,42% (21)
Esteroides >48Hrs	29,51% (18)
Dexmedetomedina	11,48% (7)
Uso de 1 Fármacos	3,28% (2)
Uso de 2 Fármacos	60,66% (37)
Uso de 3 Fármacos	27,87% (17)
Uso de 4 Fármacos	8,2% (5)

VALORACION ULTRASONOGRAFICA DEL DIAFRAGMA (USGD)

Para responder nuestra pregunta de investigacion : ¿Cuáles son las características ultra sonográficas del diafragma en pacientes en estado crítico con ventilación mecánica invasiva? Nosotros realizamos valoración USGD según protocolo presentado y aprobado. Esta evaluación se realizó por radiologo experto e investigador principal debidamente entrenado.

Nosotros evaluamos los parametros PROPUESTOS:

- ✓ Excursión diafragmática.

- ✓ Grosor inspiratorio

- ✓ GROSOR espiratorio.

- ✓ Índice de TDFi.

Estos valores posteriormente se tabularon y su analisis se hizo según puntos de corte de normalidad, con el fin de categorizar la variable en forma dicotomica y así dividir el resultado en DISFUNCIÓN DIAFRAGMÁTICA SI o NO y poderlo analizar seguidamente. Los valores OBTENIDOS se muestran en la tabla No. 7.

Tabla 7. Valoración diafragmática según ultrasonografía.

Variable Diafragmática	Promedio	Min – Max (DS)	Valor Normal
Excursión Diafragmática	16,34	3 – 31,3 (6,16)	>10mm
Grosor Inspiratorio	3,84	1,7 – 8,1 (1,31)	>2mm
Grosor Espiratorio	2,72	1,3 – 6,7 (1,07)	>2mm
Delta del grosor diafragmático (TFdi)	46,8	5,9–152 (34,81)	>30%

Disfuncion Diafragmatica (DDF)

La prevalencia de DDF evaluada según US oscilo entre un 8,2% y un 26,23% según parámetro evaluado: Segun TDFi la DDF fue del 21,31%. La DDF oscilo entre el 8,2% y 26,32% para grosor Ins y Espiratorio respectivamente. Evaluando la DDF como alteración de la excursión del diafragma y TFDi < 20%, la prevalencia es del 40.98%. Hallazgos que serán motivo de discusión. Ver Tabla No. 8

Tabla 8. Disfunción Diafragmática (DF) según variables

Variable	Puntos de Corte de DDF	% (Fr)	IC 95%
Grosor Espiratorio	< 2 mm	26,23% (16)	14,87 – 37,58
Excursión Diafragmática	<10 mm	19,67% (12)	9,4 – 29,93
Grosor Inspiratorio	< 2 mm	8,2% (5)	1,11 – 15,28
Delta del grosor diafragmático (TFdi)	< 20%	21,31% (13)	10,73 – 31,88

Fracaso del Destete Ventilatorio y fracaso extubación.

El fracaso del destete ventilatorio, que está definido como “la no tolerancia a una pruebas de respiración en modo espontaneo con requerimiento de apoyo ventilatorio en modo controlado”, fue del 27,87%, mientras que el fracaso de la extubación, la cual se define como “la necesidad de reintubación antes de las primeras 48 horas después de la extubación inicial”, fue del 16.39%. El 11.48% de los pacientes extubados necesitaron ventilación mecánica no Invasiva como puente para la extubación, no considerándose fracaso a la extubación en estos casos. Las demás

variables evaluadas como reintubación y traqueostomía se pueden ver en la Tabla No. 9.

Tabla No. 9 *Proceso y finalización del destete ventilatorio*

Variable	% (Fr)	IC 95%
Fracaso Destete	27,87% (17)	16,29 – 39,44
Extubación NO Exitosa	16,39% (10)	6,8 – 25,95
VMNI Post-Extubación	11,48% (7)	3,2 – 19,7
Re intubación posterior a 48 Horas	4,92% (3)	0,7 – 10,5
Traqueostomía	32,79% (20)	20,70 – 44,91

VMNI= Ventilación mecánica no invasiva

Variables asociadas con fracaso de destete ventilatorio

Con el objetivo de poder evaluar si existió asociación significativa entre variables US diafragmáticas y variables clínicas, con las variables RESULTADO SECUNDARIAS : fracaso del destete, fracaso o éxito de extubación nosotros realizamos un análisis univariado, bivariado, multivariado seguido de regresión binomial.

Para fracaso del destete, las variables diafragmáticas que finalmente quedaron incluidas en el modelo como factores de riesgo significativos fueron grosor espiratorio (RR 1,40) y el TDFi (RR 1,01) aunque con menor RR que el uso de esteroides y los días de estancia en UCI (>25), variable que presentó mayor riesgo RR de 6,25. Ver tabla No. 10.

Tabla 10. Variables relacionadas con fracaso destete ventilatorio.

Fracaso Destete	RR	IC 95%	Valor p
Días estancia > 25	6,25	2,95 – 13,21	0,000
Uso de Esteroides	1.51	1,50 – 1,51	0,000
Grosor Espiratorio <2 mm	1,40	1,39 – 1,42	0,000
TFdi < 20%	1,01	1,01 – 1,10	0,000

TFdi: Delta del grosor diafragmático

Variables asociadas con fracaso de Extubacion

Se realizó igual análisis que en el anterior modelo, encontrando que un TFDi < 20% y un grosor inspiratorio < 2 mm, presentaron riesgo significativo de fracaso en la extubación (RR de 2.62 y 1.01 respectivamente). Los factores de riesgo significativos para fracaso de extubación fueron: la estancia hospitalaria (>25 días) y la infección como patología de ingreso. Paradójicamente, el SDRA se comportó como factor protector. Ver Tabla No 11.

Tabla 11 Variables relacionadas con extubación fallida

Fracaso Extubación	RR	IC 95%	Valor p
Estancia UCI >25 días	22,35	3,12 -160	0,002
Grosor Inspiratorio < 2 mm	2,62	1,18 – 5,85	0,018
Infección	2,73	1,09 – 6,80	0,031
Tfdi	1,01	1,01 – 1-10	0,000
SDRA	0,37	0,16 – 0,83	0,016

TFdi: Delta del grosor diafragmático; SDRA: Síndrome dificultad respiratoria Aguda.

Éxito de Extubacion.

Consideramos que es un “reto” para el intensivista el tener valores y variables muy objetivas antes de extubar al paciente, nosotros construimos un modelo final en el cual incluye variables us y clinicas con el fin de minimizar el fracaso de la extubación.

Por esto, construimos un modelo multivariado que incluye, además de las variables reportadas inicialmente por nosotros como significativas clinica o estadisticamente, variables basadas en reportes de la literatura que dan diferentes valores de corte del TFDi para éxito de extubación y evaluamos distintos puntos de corte del TFDi entre 20-35%.

Este análisis nos permitió evidenciar que el mayor OR fue para éxito de la extubación con un TFDi > 20% (OR 2.73) y con un TDFi >30% con un OR 3.6, ambos significativos, sin embargo, con punto de corte del 35% de TFDi solo evidenció un OR de 1.97. Ver Tabla No.12.

Tabla 12. Variables relacionadas con éxito de extubación.

Variable-Valor	OR	IC 95%	Valor p
Excursión Diafragmática >10 mm	2	0,43 – 9,25	0,375
Grosor Inspiratorio >2mm	1,30	0,13 – 13,07	0,821
Grosor Espiratorio >2mm	0,66	0,12 – 3,49	0,626
Tfdi			
TFdi 20%	2,73	0,64 – 11,60	0,333
TFdi 25%	2,16	0,52 – 8,97	0,286
TFdi 30%	3,60	0,88 – 14,61	0,073
TFdi 35%	1,97	0,49 – 7,86	0,333

TFdi: Delta del grosor diafragmático

Ultrasonografía del diafragma como prueba diagnóstica de extubación.

Finalmente y siguiendo el protocolo, objetivos y justificación del presente proyecto, nosotros evaluamos estos valores en el contexto de pruebas diagnósticas, tomando como referente o gold estándar “Éxito de Extubación”. Así calculamos sensibilidad (S), especificidad (E), valor predictivo negativo (VPN), valor predictivo positivo (VPP) y área bajo la curva ROC (AROC) para las variables US evaluadas y los diferentes puntos de corte del TDFi.

De los valores obtenidos, encontramos que al aumentar el punto de corte del TDFi mejora levemente la sensibilidad, con cambios en especificidad

con TDFi del 30% y mejor AROC, sin que sea excelente. Las demas variables US del diafragma mostraron S entre 82 y 86% con E entre 13 y 40% y AROC menor de 0,60. Ver Tabla No. 12 y Figura 1 a 6.

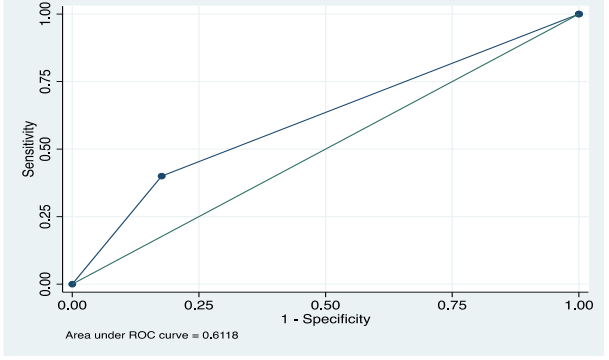
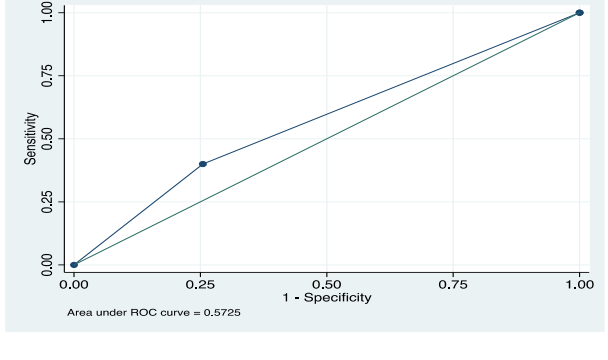
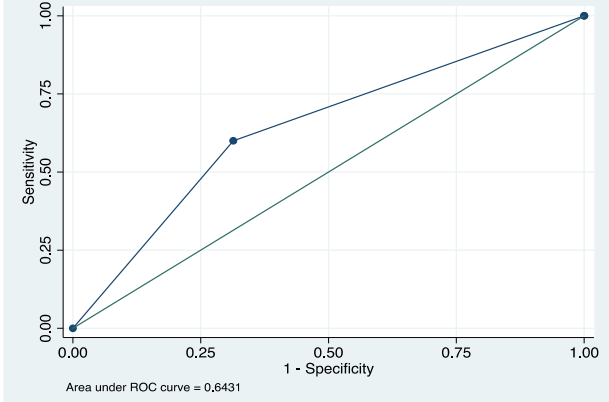
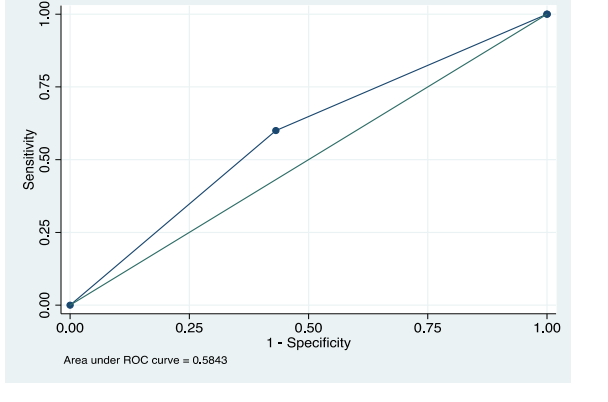
Variables	Sensibilidad	Especificidad	VPP	VPN	AROC
TFdi <20%	86%	24%	75%	40%	0,6118
TFdi 20-25%	86%	24%	75%	40%	0,5725
TFdi 25-30%	90%	27%	69%	60%	0,6431
TFdi > 30%	88%	21%	57%	60%	0,5843
Excursión diafragmática	86%	25%	82%	30%	0,5618
Grosor Inspiratorio	84%	20%	92%	10%	0,5108
Grosor Espiratorio	82%	13%	73%	20%	0,5373
No Disfunción Diafragmática	86%	40%	94%	20%	0,5706

Tabla 12. Ultrasonografia del diafragma como prueba diagnostica

VPN; Valor predictivo negativo, VPP; Valor predictivo positivo, AROC; Área bajo la curva.

AREAS BAJO CURVA ROC PARA ULTRASONOGRAFIA

DIAFRAGMATICA

<p>Figura 4. Área bajo la curva de ROC TFdi <20%</p>	<p>Figura 5. Área bajo la curva de ROC TFdi <25%</p>
 <p>Area under ROC curve = 0.6118</p>	 <p>Area under ROC curve = 0.5725</p>
<p>Figura 6. Área bajo la curva de ROC TFdi <30%</p>	<p>Figura 7. Área bajo la curva de ROC TFdi <35%</p>
 <p>Area under ROC curve = 0.6431</p>	 <p>Area under ROC curve = 0.5843</p>
<p>Figura 8. Área bajo la curva de ROC Excursión diafragmática</p>	<p>Figura 9 Área bajo la curva de ROC Grosor inspiratorio</p>

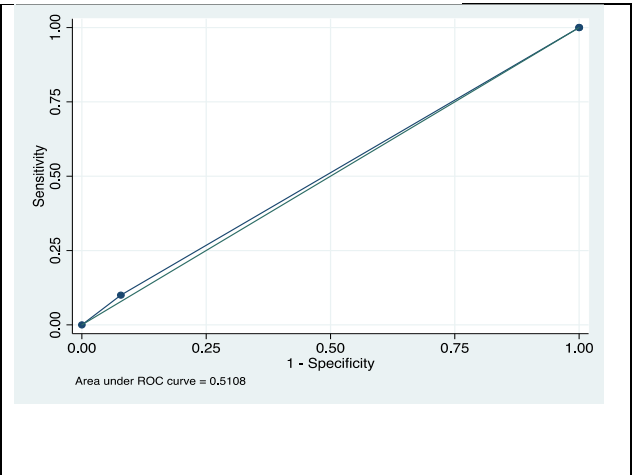
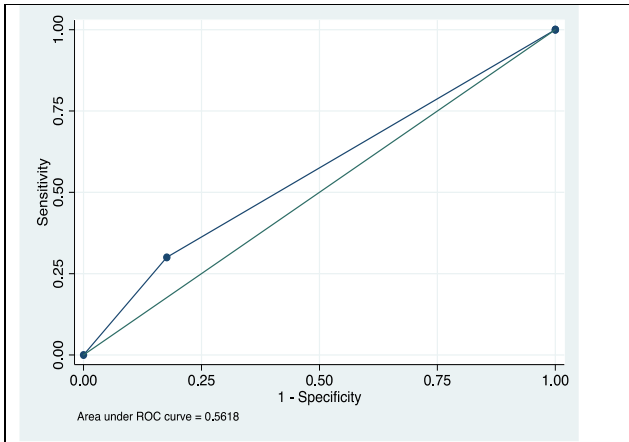
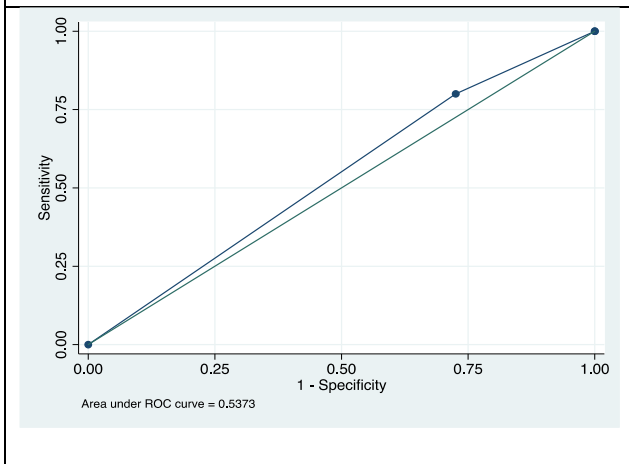


Figura 10 Área bajo la curva de ROC Grosor
espiratorio



Finalmente construimos un modelo con todas las variables US, mostrando que al tener valores normales (TFDi, grosor y excursión diafragmática juntos), permite una adecuada discriminación para predecir éxito o fracaso de extubación, con una AROC de 0.8794 (Figura 11).

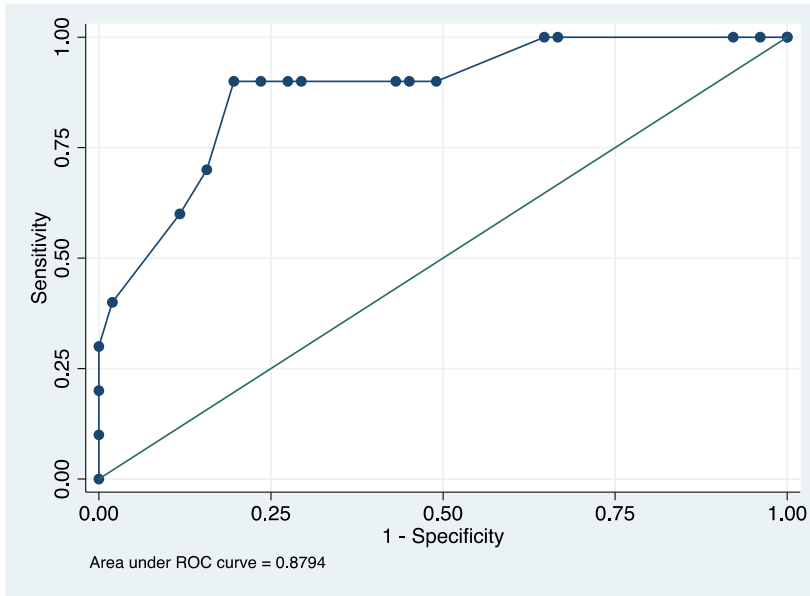


Figura 11. modelo con todas las variables US (TFDi, grosor y excursión diafragmática juntos), con una AROC de 0.8794.

11. DISCUSIÓN.

La ultrasonografía en el cuidado crítico ha estado en constante ascenso, dada su fácil disponibilidad, portabilidad, mínimo riesgo para el paciente, además, aporta información en tiempo real, sirviendo como herramienta no solo en la monitorización, también como elemento terapéutico (36,37).

Unos de los momentos más cruciales en el manejo del paciente crítico es el destete del soporte ventilatorio y la extubación una vez que la causa que lo llevó a la condición crítica se esté resolviendo, con el riesgo de que esta última sea fallida y con la necesidad de re intubación, que puede asociarse con incremento en la morbilidad y mortalidad (37,38).

La disfunción diafragmática es una de las causas principales de falla en la extubación y la ultrasonografía del diafragma aporta información sobre su funcionalidad, permitiendo la detección de disfunción muscular del

diafragma y podría catalogar el riesgo de fracaso tanto en el destete como en la extubación (6, 39).

En nuestro estudio, se encontró una prevalencia de disfunción diafragmática entre 8.2-26.2. En los valores reportados en la literatura, existe variabilidad importante en la prevalencia, que va desde 23-36%. Así, en el estudio de Kim y cols, con 82 pacientes, la prevalencia de disfunción diafragmática por parámetros ultrasonográficos (excursión diafragmática <10 mm) fue del 29% documentado durante la prueba de respiración espontánea (8).

En el trabajo de McCool y cols, con solo 32 pacientes, la disfunción diafragmática (TFDi < 30%) tuvo una prevalencia del 43.7% (33). En el estudio de Varón y cols, que incluyeron 84 pacientes, solo se encontró una prevalencia de disfunción diafragmática del 1.2% (26). Una posible explicación para esta importante variación en la incidencia de casos de disfunción diafragmática de nuestro estudio comparado con los de la literatura, es que nuestra población incluye pacientes con SDRA secundario a SARS CoV2, que recibieron por varios días infusiones de relajantes musculares y manejo prolongado con corticoesteroides, estos dos últimos relacionados fisiopatológicamente con alteración en la función del diafragma como se ha reportado en la literatura, también, por la limitante de la ultrasonografía de ser un estudio operador dependiente y en nuestro trabajo no se realizó una evaluación inter observador previa, igualmente pudiesen ser poblaciones no comparables además de la patología SARS

CoV2. Sin bien la mayoría de la literatura sobre ecografía diafragmática evalúa el TFDi y la excursión diafragmática, variables analizadas en este trabajo, existen otros parámetros que han tomado auge recientemente, como la velocidad de contracción diafragmática, que en el estudio de Varón y cols, se utilizó para el diagnóstico de DDF y pudiese estar relacionada con la baja prevalencia reportada. La excursión del diafragma dividido por el tiempo de inspiración – $ED/TPIA_{dia}$, cm/s), ha demostrado un poder discriminatorio aceptable en predecir éxito en extubación (26,47).

Del total de la población estudiada, 27.87% fracasaron durante las pruebas de destete del apoyo ventilatorio, 16.39% de los extubados necesitaron reintubación antes de las 48 horas (fracaso de extubación), y al 32.79% les hicieron traqueostomía percutánea. Un 29.5% tuvieron fracaso tanto en el destete como en la extubación con valores normales de excursión del diafragma y TFDi, lo cual se correlaciona con factores extra diafragmáticos que pueden llevar a un fracaso en la liberación del soporte ventilatorio mecánico. En el trabajo de Vivier E y cols, la disfunción del diafragma evaluado por ultrasonografía, fue similar en los que tuvieron éxito o fracaso en la extubación, encontrándose que la tos efectiva es el único factor independiente asociado con el fracaso a la extubación, parámetro no evaluado en nuestra investigación (42).

Se obtuvieron valores diferentes en los que tuvieron éxito y fracaso en la extubación. De los pacientes con disfunción diafragmática detectado por ultrasonografía, el 18% fracasaron en el destete del soporte ventilatorio y

fracaso en la extubación. Esta variación en los porcentajes reportados está determinada por diversos factores como el uso de esteroides, estancia hospitalaria e infecciones, como se encontró en nuestro análisis final.

Nuestro modelo final, como lo reportamos, evaluó la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y negativo de las variables medidas con la ultrasonografía para determinar el éxito en la extubación cuando el paciente se encontraba en ventilación invasiva modo espontaneo. La sensibilidad de la excursión diafragmática >10 mm para determinar éxito en la extubación fue del 86%, con una especificidad solo del 25%. El punto corte de un TFDi del 25-30%, para definir éxito en la extubación, tiene una sensibilidad del 86 al 90% y un VPP del 75-69% respectivamente

Al contrastar nuestros hallazgos con lo reportado en la literatura mundial encontramos que en el estudio de DiNino y cols (37), revelan que una TFDi > 30% tiene una S 88% para una extubación exitosa con un alto valor predictivo positivo (91%), sin embargo, a diferencia de nuestros hallazgos, tiene una especificidad y valor predictivo negativo más altos. En una revisión sistemática de 28 estudios de los cuales 16 trabajos fueron incluidos en un meta análisis, la sensibilidad y especificad del TFDi fue del 70 y 84% respectivamente y para la excursión del diafragma, la sensibilidad fue del 71% y especificidad del 80% (40). Sin embargo, en la publicación de Gok F y cols, con 62 pacientes, la sensibilidad para la TDFi (punto de corte empleado de 27.5%) fue de 67.5, con una especificidad del 66.6, un VVP de 95% y un bajo VPN de tan solo 24%, si bien la especificidad es más alta

que en nuestra investigación, no es la mejor y estos hallazgos son parcialmente similares a nuestro trabajo con una cantidad similar de pacientes (41). Adicionalmente, la excursión diafragmática en dicho estudio tuvo una regular sensibilidad (69%), con una especificidad, VPP y VPN del 67.5%, 96% y 27.8% respectivamente (41).

Si bien la sensibilidad y valor predictivo positivo reportada en nuestro trabajo para la TFDi y la excursión diafragmática es similar a la reportada en la literatura, la especificidad es más baja, lo cual puede ser derivado de la heterogeneidad de los pacientes, esto último dado por la alta prevalencia en nuestro trabajo de pacientes con COVID-19 con uso de esteroides (34%), infusión por largos periodos de relajantes musculares y estancia prolongada en UCI, factores reconocidos asociados con desacondicionamiento, miopatía y también relacionados con el fracaso en el destete y en la extubación (3,4).

En el modelo final del Área bajo la curva Roc (AROC) con las mediciones US del diafragma, donde se evalúan juntas las variables (TFDi, grosor inspiratorio, espiratorio, excursión del diafragma y el TDFi) (41), obtuvimos un AROC del 0.87 lo cual evidencia que estas mediciones, al tener valores normales de referencia, en conjunto y no como datos aislados, mejoran la capacidad predictiva y discriminativa de predecir éxito en la extubación del paciente.

En nuestro estudio, se encontró un AROC para la TFDi con punto de corte de 30% de 0.64, menos que lo reportado en el trabajo de McCool et al

donde se encontró un AROC solo para TDFi de 0.9 para éxito en extubación dentro de las 24 horas y que se mantiene a las 48 horas, sin embargo, no hay claridad en ese estudio sobre el tipo de población seleccionada, ni el tipo de medicamentos administrados, días de estancia como desenlace fuerte asociado o días de ventilación mecánica y tiene un número muy reducido de pacientes en relación con nuestra investigación lo cual no podría dar comparabilidad (44).

Los valores normales del TFDi en la literatura varía del 29-36%, un corte del 30% tiene reporte de sensibilidad del 88%, especificidad del 71% y AROC de 0.79, siendo el uso combinado (TFDi y excursión diafragmática), parámetros de relevancia al momento de evaluar la suspensión de la VMI (11,28,45).

Nuestro estudio, con un punto de corte de TFDi del 30% obtuvo una buena sensibilidad y valor predictivo positivo, pero con poca especificidad, lo cual, nos permite plantear que una sola variable no debe ser tomada como un único parámetro y debe construirse un modelo predictivo que también evalúe la excursión y el grosor del diafragma, lo que aumenta la capacidad predictiva desde 0.60 a 0.87.

Paradójicamente, el SDRA resulto ser factor protector para la extubación fallida con un RR de 0.37. No hay evidencia que explique fisiopatológicamente que esta enfermedad pueda proteger al paciente crítico de una extubación fallida; probablemente, este hallazgo tiene relación con la no realización de destete del soporte ventilatorio y

extubación programada en pacientes ventilados con SDRA por tener una intubación prolongada, ya que en estos casos, se prefiere (en pacientes con intubación de más de 15 días), proceder a realizar una traqueostomía percutánea.

Por lo tanto, al momento de iniciar el complejo proceso de destete del soporte ventilatorio, la valoración de la actividad diafragmática por US, debe ser completa, reuniendo las mediciones previamente mencionadas en su conjunto, pero no debe ser lo único a tener en cuenta, ya que existen varias causas de fracaso en la extubación (ejemplo, disfunción ventricular, edema pulmonar, derrame pleural, deterioro neurológico, descondicionamiento físico etc.) por lo que se debe integrar a otras variables clínicas y de laboratorio (43).

Tener presente solo las mediciones ultrasonográficas del diafragma para el destete del soporte ventilatorio, podría conducir a ignorar otros factores que se asocian al fracaso en la extubación y con esto tomar conductas no adecuadas en nuestros pacientes. Idealmente, se debería evaluar en conjunto medidas clínicas, fisiológicas y de laboratorios, como el Índice de respiración rápida superficial (RSBI), compliance pulmonar, fuerza muscular, estado de Glasgow, hematocrito, función renal, (46) con mediciones ultrasonográficas tanto del pulmón como del diafragma y del corazón para poder aumentar el poder discriminatorio para predecir el éxito o fracaso en la extubación y encaminar medidas terapéuticas necesarias (43, 45).

Como fortalezas de nuestro trabajo, evalúa la US en el diafragma en pacientes con COVID 19, siendo unos de los primeros estudios a nivel regional y nacional que incluye esta clase de pacientes en el marco de la pandemia por SARS CoV2. También, refuerza la importancia de la aplicación de la ultrasonografía en el monitoreo respiratorio cotidiano a la cabecera del paciente, necesario para diagnóstico y guiar tratamiento. La ultrasonografía es una herramienta que no debe faltar en el quehacer diario del Intensivista, y esto requiere no solo de la disponibilidad del equipo, también de formación, entrenamiento y certificaciones periódicas.

Como debilidades, podemos resaltar el número de pacientes, la heterogeneidad en la población estudiada, la dependencia del operador que realiza la ultrasonografía y la no realización de evaluación de concordancia entre los que tomaron la US, adicionalmente, el aumento del uso de medicamentos que pueden tener un impacto directo en la función del diafragma (corticoides, relajantes musculares) esto últimos en infusión por más de 48 horas en pacientes con SDRA.

La ultrasonografía no debe ser el único método a evaluar durante el destete del soporte ventilatorio, ya que pueden existir otras variables que pueden influir negativamente en el éxito de la extubación, como infecciones, esteroides, uso de relajantes musculares, y debemos tener presentes estas y otras variables a la hora de iniciar el plan del destete ventilatorio.

12. Conclusión.

La ultrasonografía es una herramienta práctica y ampliamente disponible que permite al clínico la evaluación del diafragma en los pacientes con ventilación mecánica invasiva, permitiendo la identificación de aquellos con disfunción diafragmática y que se asocia con riesgo de tener fracaso en el proceso de extubación. Al realizar el proceso del destete del soporte ventilatorio la medición por medio de ultrasonografía del diafragma de la TFDi, grosor inspiratorio y espiratorio y la excursión del diafragma en conjunto y con valores normales de referencia, predicen éxito en el proceso de extubación. Sin embargo, se necesitan estudios multi céntricos, con mayor número de pacientes y con correlación de la ultrasonografía diafragmática con variables clínicas y fisiológicas para poder predecir mejor el éxito o fracaso en extubación.

Bibliografía.

1. Goligher EC et al. Mechanical Ventilation-induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. *Am J Respir Crit Care Med.* 2018 Jan 15;197(2):204-213. doi: 10.1164/rccm.201703-0536OC.
2. Dot I, Perez-Teran P, Samper MA, Masclan JR. Disfunción diafragmática: una realidad en el paciente ventilado mecánicamente. *Arch Bronconeumol.* 2017;53(3):150–156.
3. Diaz MG, Ospina Tascon GA, Salazar B. Disfunción muscular respiratoria: una entidad multicausal en el paciente críticamente enfermo sometido a ventilación mecánica. *Arch Bronconeumol.* 2014;50(2):73–77.
4. Petrof BJ. Diaphragm Weakness in the Critically Ill: Basic Mechanisms Reveal Therapeutic Opportunities. *Chest.* 2018 Dec;154(6):1395-1403. doi: 10.1016/j.chest.2018.08.1028.
5. Berger D, Bloechlinger S, von Haehling S, Doehner W, Takala J, Z'Graggen WJ, Schefold JC. Dysfunction of respiratory muscles in critically ill patients on the intensive care unit. *J Cachexia Sarcopenia*

- Muscle. 2016 Sep;7(4):403-12. doi: 10.1002/jcsm.12108.
6. Umbrello M, Formenti P. Ultrasonographic Assessment of Diaphragm Function in Critically Ill Subjects. *Respir Care*. 2016 Apr;61(4):542-55. doi: 10.4187/respcare.04412.
 7. Kim WY, Lim CM. Ventilator-Induced Diaphragmatic Dysfunction: Diagnosis and Role of Pharmacological Agents. *Respir Care*. 2017 Nov; 62(11):1485-1491. doi: 10.4187/respcare.05622.
 8. Kim WY, Suh HJ, Hong SB, Koh Y, Lim CM. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 2011 Dec;39(12):2627-30. doi: 10.1097/CCM.0b013e3182266408.
 9. Turton P, AlAidarous S, Welters I. A narrative review of diaphragm ultrasound to predict weaning from mechanical ventilation: where are we and where are we heading? *Ultrasound J*. 2019 Feb 28;11(1):2. doi: 10.1186/s13089-019-0117-8.
 10. de la Quintana Gordon FB, Nacarino Alcorta B, Fajardo Pérez M. Ultrasound evaluation of diaphragm function and its application in critical patients, mechanical ventilation and brachial plexus block. *Rev Esp Anesthesiol Reanim*. 2017 Nov;64(9):513-521. doi:

10.1016/j.redar.2017.01.001.

11. Dres M, Goligher EC, Heunks L, Brochard L. Critical illness-associated diaphragm weakness. *Intensive Care Med* (2017) 43:1441–1452 DOI 10.1007/s00134-017-4928-4.
12. Heunks LM, Doorduyn J, van der Hoeven JG. Monitoring and preventing diaphragm injury. *Curr Opin Crit Care*. 2015 Feb; 21(1):34-41. doi: 10.1097/MCC.000000000000168.
13. Larsson L, Friedrich O. Critical Illness Myopathy (CIM) and Ventilator-Induced Diaphragm Muscle Dysfunction (VIDD): Acquired Myopathies Affecting Contractile Proteins. *Compr Physiol*. 2016 Dec 6;7(1):105-112. doi: 10.1002/cphy.c150054.
14. Powers SK, Kavazis AN, Levine S. Prolonged mechanical ventilation alters diaphragmatic structure and function. *Crit Care Med*. 2009 Oct;37(10 Suppl): S347-53. doi: 10.1097/CCM.0b013e3181b6e760.
15. Levine S et al. Rapid Disuse Atrophy of Diaphragm Fibers in Mechanically Ventilated Humans. *N Engl J Med* 2008;358:1327-35.

16. Jaber S, Jung B, Matecki S, Petrof BJ. Clinical review: ventilator-induced diaphragmatic dysfunction--human studies confirm animal model findings! *Crit Care*. 2011 Mar 11;15(2):206. doi: 10.1186/cc10023.
17. Jubran A. Critical illness and mechanical ventilation: effects on the diaphragm. *Respir Care*. 2006 Sep;51(9):1054-61; discussion 1062-4.
18. van den Berg M et al. Diaphragm Atrophy and Weakness in the Absence of Mitochondrial Dysfunction in the Critically Ill. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017 Dec 15;196(12):1544-1558. doi: 10.1164/rccm.201703-0501OC.
19. Hooijman PE. Diaphragm muscle fiber weakness and ubiquitin-proteasome activation in critically ill patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 2015 May 15;191(10):1126-38. doi: 10.1164/rccm.201412-2214OC.
20. Supinski GS, Morris PE, Dhar S, Callahan LA. Diaphragm Dysfunction in Critical Illness. *Chest*. 2018 Apr;153(4):1040-1051. doi: 10.1016/j.chest.2017.08.1157.

21. Royse HK, Green C, Botha J, Canty D, Royse C. Interpreting diaphragmatic movement with bedside imaging, review article. *J Crit Care*. 2016 Aug;34:56-65. doi: 10.1016/j.jcrc.2016.03.006.
22. Palkar A, Mayo P, Koenig S, Narasimhan M, Darabaner R, Greenberg H, Gottesman E. Serial Diaphragm Ultrasonography to Predict Successful Discontinuation of Mechanical Ventilation. *Lung*. 2018 Jun;196(3):363-368. doi: 10.1007/s00408-018-0106-x.
23. Hayat A, Khan A, Khalil A, Asghar A. Diaphragmatic Excursion: Does it Predict Successful Weaning from Mechanical Ventilation? *J Coll Physicians Surg Pak*. 2017 Dec;27(12):743-746.
24. Matamis D, Soilemezi E, Tsgourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, Boroli F, et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. *Intensive Care Med*. 2013;39:801-810.
25. Haji K, Royse A, Green C, Botha J, Canty D, Royse C. Interpreting diaphragmatic movement with bedside imaging, review article. *J Crit Care*. 2016;34:56-65. doi:10.1016/j.jcrc.2016.03.006.

26. Varón-Vega F, Hernández Á, López M, et al. Usefulness of diaphragmatic ultrasound in predicting extubation success [published online ahead of print, 2019 Dec 20]. Utilidad de la ecografía diafragmática para predecir el éxito en la extubación [published online ahead of print, 2019 Dec 20]. *Med Intensiva*. 2019;S0210-5691(19)30265-7. doi:10.1016/j.medin.2019.10.007.
27. Gottesman E, McCool FD. Ultrasound evaluation of the paralyzed diaphragm. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997;155:1570-4.
28. Zambon M, Greco M, Bocchino S, Cabrini L, Beccaria PF, Zangrillo A. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patient with ultrasound: a systematic review. *Intensive Care Med*. 2017 Jan;43(1):29-38.
29. Farghaly S, Hasan AA. Diaphragm ultrasound as a new method to predict extubation outcome in mechanically ventilated patients. *Aust Crit Care*. 2017 Jan;30(1):37-43.
30. Li C, Li X, Han H, Cui H, Wang G, Wang Z. Diaphragmatic ultrasonography for predicting ventilator weaning: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2018 Jun;97(22):e10968.

31. Ferrari G, De Filippi G, Elia F, Panero F, Volpicelli G, Aprà F. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Ultrasound J*. 2014 Jun 7;6(1):8.
32. Eltrabili HH, Hasanin AM, Soliman MS, Lotfy AM, Hamimy WI, Mukhtar AM. Evaluation of Diaphragmatic Ultrasound Indices as Predictors of Successful Liberation From Mechanical Ventilation in Subjects With Abdominal Sepsis. *Respir Care*. 2019 May;64(5):564-569.
33. McCool FD, Oyieng'o DO, Koo P. The Utility of Diaphragm Ultrasound in Reducing Time to Extubation. *Lung*. 2020 Jun;198(3):499-505
34. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA*. 2013;310(20):2191–2194.
doi:10.1001/jama.2013.281053.
35. Ministerio de Salud. Resolución No 008430. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Bogotá: Ministerio de Salud; 1993. p. 1- 12.

36. Llamas-Álvarez AM, Tenza-Lozano EM, Latour-Pérez J. Diaphragm and Lung Ultrasound to Predict Weaning Outcome: Systematic Review and Meta-Analysis. *Chest*. 2017 Dec;152(6):1140-1150.
37. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014 May;69(5):423-7.
38. Ouellette DR, Patel S, Girard TD, Morris PE, Schmidt GA, Truwit JD, Al- Hazzani W, Burns SM, Epstein SK, Esteban A, Fan E, Ferrer M, Fraser GL, Gong M, Hough CL, Mehta S, Nanchal R, Pawlik AJ, Schweickert W, Sessler CN, Strøm T, Kress JP, Liberation from Mechanical Ventilation: An Official American College of Chest Physicians/American Thoracic Society Clinical Practice Guideline, *CHEST* (2016).
39. Doorduyn J, van der Hoeven JG, Heunks LM. The differential diagnosis for failure to wean from mechanical ventilation. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2016 Apr;29(2):150-7.
40. Le Neindre A, Philippart F, Luperto M, Wormser J, Morel-Sapene J, Aho SL, Mongodi S, Mojoli F, Bouhemad B. Diagnostic accuracy of

diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: A systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud.* 2021 May;117:103890.

41. Gok F, Mercan A, Kilicaslan A, Sarkilar G, Yosunkaya A. Diaphragm and Lung Ultrasonography During Weaning From Mechanical Ventilation in Critically Ill Patients. *Cureus.* 2021 May 16;13(5):e15057

42. Vivier E, Muller M, Putegnât JB, Steyer J, Barrau S, Boissier F, Bourdin G, Mekontso-Dessap A, Levrat A, Pommier C, Thille AW. Inability of Diaphragm Ultrasound to Predict Extubation Failure: A Multicenter Study. *Chest.* 2019 Jun;155(6):1131-1139.

43. Mayo P, Volpicelli G, Lerolle N, Schreiber A, Doelken P, Vieillard-Baron A. Ultrasonography evaluation during the weaning process: the heart, the diaphragm, the pleura and the lung. *Intensive Care Med.* 2016 Jul;42(7):1107-17.

44. McCool FD, Oyieng'o DO, Koo P. The Utility of Diaphragm Ultrasound in Reducing Time to Extubation. *Lung.* 2020 Jun;198(3):499-505.

45. A.F. Caballero-Lozada, F.E. Pabón Muñoz, J.M. Arias Campo et al.

Ultrasonido diafragmático como predictor de extubación en paciente crítico: revisión exploratoria, Acta Colombiana de Cuidado Intensivo. <https://doi.org/10.1016/j.acci.2020.10.003>.

46. Baptistella AR, Mantelli LM, Matte L, Carvalho MEDRU, Fortunatti JA, Costa IZ, Haro FG, Turkot VLO, Baptistella SF, de Carvalho D, Nunes Filho JR. Prediction of extubation outcome in mechanically ventilated patients: Development and validation of the Extubation Predictive Score (ExPreS). PLoS One. 2021 Mar 18;16(3):e0248868.
47. Palkar A, Narasimhan M, Greenberg H, Singh K, Koenig S, Mayo P, Gottesman E. Diaphragm Excursion-Time Index: A New Parameter Using Ultrasonography to Predict Extubation Outcome. Chest. 2018 May;153(5):1213-1220.