



TESINA

presentada para acceder al título de grado de la carrera de

LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA

Título:

“UTILIDAD DE LA ULTRASONOGRAFÍA DIAFRAGMÁTICA EN EL
PACIENTE CON REQUERIMIENTO DE ASISTENCIA RESPIRATORIA
MECÁNICA INVASIVA.”

Autor/es:

Alarcón, Tomás. (N° 8354)

Director/a:

Lic. Appendino, Gabriel.

Fecha de Presentación:

18/03/2024

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the left.

Agradecimientos:

A mi familia por apoyarme en todo este camino y estar en todo momento para acompañarme, a los amigos que me dio la carrera y, por último, a Agus que siempre me acompaña incondicionalmente.

RESUMEN

Introducción: El principal objetivo desde que se intuba a un paciente es planear la extubación y realizar una correcta evaluación previa, con el fin de predecir el resultado del destete. Para ello, un método diagnóstico que se encuentra en auge es la ultrasonografía diafragmática, debido a que tiene grandes ventajas como lo son su portabilidad, es decir, que se puede realizar la evaluación al pie de la cama del paciente, lo cual es una gran ventaja en pacientes inestables y que se encuentran conectados a gran cantidad de artefactos dentro de una unidad de cuidados intensivos. Además, otra de las ventajas es que no emite radiación ionizante en los pacientes, es de fácil acceso y les implica un bajo costo a los hospitales.

Objetivo: Determinar los predictores de éxito en Weaning respiratorio, a partir de resultados de artículos científicos, mediante la evaluación Ultrasonográfica del diafragma en el paciente con requerimiento de Asistencia Respiratoria Mecánica Invasiva.

Métodos: Se analizó mediante una revisión bibliográfica, los predictores de éxito en Weaning respiratorio mediante la evaluación Ultrasonográfica del diafragma en el paciente con requerimiento de Asistencia Respiratoria Mecánica Invasiva. Se consultaron las bases de datos PubMed, Biblioteca Virtual en Salud, Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología del MinCyT y SciELO. Se incluyeron artículos en idioma inglés, español y portugués entre los años 2012 y febrero del año 2024.

Resultados: Se recolectaron 9 artículos científicos que cumplen con los criterios de inclusión.

Conclusión: En base a los datos recolectados en esta investigación, se concluyó que la fracción de engrosamiento diafragmático con un valor $\geq 30\%$ es el principal predictor de éxito en weaning respiratorio. Además de este parámetro, se puede considerar como predictores de éxito a la excursión diafragmática, grosor diafragmático, tiempo hasta la amplitud máxima de inspiración y la velocidad de contracción del diafragma. Por otra parte, se determinó a la disfunción diafragmática y a la pérdida del espesor del diafragma a fin de inspiración como las principales alteraciones de este músculo. En cuanto a las asincronías paciente-ventilador y su detección mediante la USG, se determinó que hace falta mayor cantidad de estudios para detallar correctamente su utilidad, debido a que en este trabajo únicamente se encontró un artículo acerca de este tema, el cual es inconsistente y presenta una muy baja muestra.

Palabras clave: Ultrasonography/Ultrasonografía; Diaphragm/Diafragma; Ventilator Weaning/Desconexión del ventilador; Artificial Respiration/ Respiración artificial; Ultrasonics/ Ultrasonido.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS	2
	II a. Objetivo General.....	2
	II b. Objetivos Específicos	2
III.	MARCO TEÓRICO.....	3
	IIIa. Ventilación mecánica.....	3
	III.a.1. Generalidades.....	3
	III.a.2. Fisiología aplicada.....	3
	III.a.3 Complicaciones de la ventilación mecánica.....	4
	III.b Weaning.....	6
	III.b.1. Generalidades.....	6
	III.b.2. Clasificación.....	6
	III.b.3. Pruebas diagnósticas.....	7
	III.c. Ultrasonografía diafragmática.....	9
	III.c.1. Generalidades de ultrasonografía.....	9
	III.c.2. Diafragma.....	11
	III.c.3. Evaluación de la función diafragmática.....	12
	III.c.4. Disfunción diafragmática.....	14
IV.	JUSTIFICACIÓN.....	14
V.	MÉTODOS.....	15
	V.a. Estrategias de búsquedas bibliográficas.....	15
	V.b. Combinación de términos.....	16
	V.c. Criterios de inclusión y exclusión.....	16
VI.	RESULTADOS.....	17
VII.	ANÁLISIS DE ARTÍCULO	18
	<i>Tabla I</i>	18
	<i>Tabla II</i>	33
	<i>Tabla III</i>	36
VIII.	DISCUSIÓN.....	37
IX.	CONCLUSIÓN.....	42
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

I. INTRODUCCIÓN:

La ventilación mecánica invasiva (VMI) se refiere al uso de un dispositivo mecánico para proporcionar apoyo ventilatorio a los pacientes mediante una vía aérea artificial como un tubo endotraqueal (TET) o una cánula de traqueostomía. La misma, tiene como principal objetivo mantener una ventilación alveolar y un suministro de oxígeno (O₂) adecuado, restablecer el equilibrio ácido-base y reducir el trabajo respiratorio (WOB) con las menores complicaciones y efectos secundarios posibles. ^(1,2)

Una vez los pacientes son vinculados a la VMI, uno de los principales objetivos del kinesiólogo es lograr la desconexión precoz de la misma, a lo cual se lo denomina Weaning o destete. Este objetivo, se debe a que mientras más tiempo el paciente utilice este soporte, mayor es el riesgo de desarrollar complicaciones tales como disfunción diafragmática y neumonía, entre otras. ⁽¹⁻³⁾

Para comenzar este proceso de desvinculación, se identifican aquellos pacientes que puedan respirar espontáneamente y se le realizan tres pruebas diagnósticas consecutivas, las cuales son: medición de predictores de tolerancia a la prueba de respiración espontánea, prueba de respiración espontánea y prueba de extubación. ^(2,3)

Cuando hablamos de medición de predictores de tolerancia a la prueba de respiración espontánea vamos a hablar principalmente de tres de ellos, presión inspiratoria máxima (P_{imax}), presión de oclusión de la vía aérea (P₀₁) y el índice de respiración rápida superficial de Yang-Tobin. ^(2,3)

En cuanto a la identificación del paciente que puede respirar espontáneamente, se considera que está preparado para iniciar la desconexión de la ventilación mecánica una vez que se ha producido la resolución o mejoría de la causa que lo llevó al requerimiento de VMI y que además cumple con una serie de criterios definidos arbitrariamente. ^(2,3)

La siguiente evaluación diagnóstica es la prueba de respiración espontánea, ésta tiene una duración de 30 minutos y en ella se debe llevar a cabo una evaluación de manera objetiva de la SatO₂, FiO₂, FR, FC, PA; y subjetiva de la mecánica respiratoria del paciente. Estos puntos se evalúan con el objetivo de evitar la fatiga de los músculos respiratorios, y segundo, estimar la probabilidad de weaning exitoso. Por lo tanto, aquellos pacientes que no presentan signos de intolerancia durante la prueba de respiración espontánea estarían preparados para la extubación ^(2,3)

Para poder reflejar la predicción de éxito de weaning y las complicaciones producto de la VMI, se debe evaluar la función diafragmática. Una herramienta que ha tomado gran valor en los últimos años es la ultrasonografía diafragmática. Para ello, tenemos dos técnicas principales, la medición de la excursión diafragmática donde se mide en centímetros el desplazamiento de este músculo; y el grosor del diafragma el cual es de utilidad debido a que gracias a la fracción de engrosamiento se puede cuantificar la debilidad que presenta. ⁽⁴⁻⁷⁾

Actualmente, dentro de las unidades de cuidados intensivos, el rol del kinesiólogo cumple una gran función durante el manejo de la VMI; es de vital importancia utilizar como kinesiólogos todas las herramientas que estén a disposición para poder evitar un weaning fallido. La USG, como estudio complementario nos permite la evaluación del diafragma y su asociación con los predictores de éxito para el destete respiratorio. Ahora bien ¿Cuáles son los predictores de éxito en Weaning respiratorio mediante la evaluación Ultrasonografía del diafragma en el paciente con requerimiento de Asistencia Respiratoria Mecánica Invasiva?

II. OBJETIVOS

II a. Objetivo General

Determinar los predictores de éxito en Weaning respiratorio, a partir de resultados de artículos científicos, mediante la evaluación Ultrasonográfica del diafragma en el paciente con requerimiento de Asistencia Respiratoria Mecánica Invasiva.

II b. Objetivos Específicos

- Determinar cuáles son los valores de la excursión diafragmática y del grosor del diafragma que se asocian al éxito del destete respiratorio.
- Definir cuáles son las principales alteraciones en el músculo diafragma en los pacientes vinculados a VMI.
- Establecer el rol de la ultrasonografía diafragmática para detectar asincronías paciente-ventilador.

III. MARCO TEÓRICO

III.a. Ventilación mecánica.

III.a.1. Generalidades.

La ventilación mecánica invasiva (VMI) se refiere al uso de un dispositivo mecánico para proporcionar apoyo ventilatorio a los pacientes mediante una vía aérea artificial como un tubo endotraqueal o una cánula de traqueostomía. La misma, tiene como principal objetivo mantener una ventilación alveolar y un suministro de oxígeno (O₂) adecuado, restablecer el equilibrio ácido-base y reducir el trabajo respiratorio (WOB) con las menores complicaciones y efectos secundarios posibles. ^(1,2)

Es necesario nombrar cuáles son las indicaciones para el requerimiento de VMI, se van a encontrar indicaciones absolutas y relativas. Las absolutas van a ser el deterioro del estado de conciencia, severa inestabilidad hemodinámica y paro cardiorrespiratorio. Dentro de las relativas, se evidencia frecuencia respiratoria mayor a 35 respiraciones por minuto, capacidad vital menor a 5ml/kg, PaO₂ menor a 60mmHg y PaCO₂ mayor a 55mmHg. ^(1,2)

III.a.2. Fisiología aplicada.

Para comprender como trabaja un ventilador mecánico primero se debe aclarar cómo es la ventilación de forma espontánea. La respiración normal se produce debido a gradientes de presión. Esta se da debido a que el diafragma se contrae en respuesta a la estimulación del nervio frénico a través del centro respiratorio. Una vez que esto sucede, este músculo desciende a la cavidad abdominal disminuyendo la presión pleural (PPL) y la presión alveolar (PA). En condiciones normales, una disminución de la PPL produce un descenso de la PA, aumento de la presión de la vía aérea y por consecuencia el ingreso del volumen corriente (VT). ^(1,2)

Al finalizar la inspiración, la presión alveolar vuelve a cero cuando el diafragma deja de contraerse. El retroceso pulmonar provoca un aumento de la PA en relación con la

presión a nivel de la boca, generando así un gradiente de presión que produce que el aire salga de los pulmones. ^(1,2)

Por otro lado, la ventilación mecánica trabaja a presión positiva, lo que hace que el aire fluya hacia los pulmones debido a un aumento de la presión de las vías respiratorias y no por una disminución de la presión pleural como ocurre durante la ventilación espontánea. El gas fluye debido a que la presión de apertura de la vía aérea a nivel de la boca es positiva y la presión alveolar es de cero o menos positiva, por ende, este gradiente de presión genera el ingreso de aire al sistema respiratorio del paciente.

En la espiración, la fuerza del retroceso elástico de los pulmones y de la pared torácica, que fue almacenada como energía potencial durante la respiración a presión positiva, produce la exhalación de forma pasiva. ^(1,2)

III.a.3 Complicaciones de la ventilación mecánica.

III.a.3.1 Asincronía paciente-ventilador.

La asincronía paciente-ventilador, se define como el desfase de la respiración del paciente (fase neural) y la respiración mecánica (fase mecánica), o bien la incapacidad del flujo del ventilador mecánico para satisfacer las demandas del paciente (asincronía de flujo). ^(8,9)

Además, influyen otros factores como los cambios en el impulso respiratorio, el tiempo inspiratorio y espiratorio, la presión muscular respiratoria y la mecánica del sistema respiratorio. Hoy en día, ninguno de los modos ventilatorios de asistencia parcial está exento de problemas de asincronías paciente-ventilador. ^(3,5,10)

Las asincronías más frecuentes son:

- Esfuerzo ineficaz: El paciente intenta iniciar un ciclo inspiratorio y este no es detectado por el ventilador, por ende, no dispara la inspiración.
- Autodisparo: Se produce cuando está programado un modo asistido y el ventilador gatilla una inspiración en ausencia de un esfuerzo del paciente.
- Ciclo corto o largo: En este tipo de asincronía difiere el ciclo inspiratorio que envía el ventilador con el tiempo inspiratorio del paciente.
- Doble disparo: El ventilador envía dos inspiraciones durante un mismo ciclo del paciente.

- Trigger reverso: Ocurre una contracción del diafragma de manera retrasada o cierto tiempo después de una insuflación pasiva iniciada por el ventilador.

III.a.3.2. Disfunción diafragmática asociada a ventilación mecánica.

Se define como el descenso progresivo de la fuerza muscular diafragmática que ocurre de forma precoz, debido a la inactividad de este músculo, tras el inicio de la ventilación mecánica.⁽¹¹⁻¹³⁾

Se ha encontrado en mayor frecuencia en modos ventilatorios donde el respirador se encarga de la totalidad de la ventilación, y por ello el esfuerzo inspiratorio no proviene del paciente y debido a esto no se realiza una contracción activa del diafragma.⁽¹¹⁻¹³⁾

A nivel estructural, el diafragma sometido a VMI experimenta un proceso de atrofia por desuso, en el que se observa una disminución de la síntesis y aumento en la degradación de proteínas musculares. Este proceso, va a producir disminución en el diámetro de las fibras musculares y en el contenido de proteínas musculares. Además de esto, genera pérdida de la capacidad de generar fuerza y resistencia a la fatiga.⁽¹¹⁻¹³⁾

III.a.3.3. Neumonía asociada a la ventilación mecánica.

Se denomina neumonía a la infección e inflamación del parénquima pulmonar. Es la causa más común de mortalidad por enfermedades infecciosas, principalmente en ancianos y personas con enfermedades debilitantes.⁽¹⁴⁾

La neumonía asociada a la ventilación mecánica es aquella que se da luego de las 48 a 72 horas de la intubación del paciente. Es de las entidades más frecuentes en las unidades de terapia intensiva.⁽¹⁵⁾

Esta patología tiene una causa multifactorial, y se da en los pacientes vinculados a VMI ya que éstos presentan varias características que favorecen la aspiración de secreciones, la cual es una de las principales etiológicas de esta enfermedad. Por un lado, a nivel oral, se forma una biopelícula o biofilm que desarrolla mayor predisposición a la colonización bacteriana. Por otra parte, la presencia del tubo endotraqueal facilita el desarrollo de neumonía, ya que para

colocar esta interfase el paciente debe estar sedado y en muchas ocasiones también requieren de bloqueantes neuromusculares y estos fármacos provocan la inhibición de los mecanismos de defensa como la tos para la eliminación de las secreciones. Por lo tanto, se genera un aumento de las secreciones y un estancamiento de las mismas, que pueden colonizarse y desencadenar esta patología. ⁽¹⁴⁾

III.b Weaning.

III.b.1. Generalidades

El weaning o destete es la desvinculación de la ventilación mecánica invasiva. Es un proceso que se inicia con la identificación diaria de los pacientes que pueden realizar una prueba de ventilación espontánea y se continúa con la realización de tres pruebas diagnósticas consecutivas, las cuales son: medición de predictores de tolerancia a la prueba de respiración espontánea, prueba de respiración espontánea y prueba de extubación. ^(1,2)

Se considera que el paciente está preparado para iniciar la desconexión de la ventilación mecánica una vez que se resuelva o haya mejoría de la causa que lo llevo al requerimiento de VMI, y que además cumpla con los siguientes criterios definidos arbitrariamente ^(1,2):

- 1) Relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \geq 150$ o $\text{SaO}_2 \geq 90\%$ con $\text{FiO}_2 \leq 0,40$ y $\text{PEEP} \leq 5 \text{ cm H}_2\text{O}$.
- 2) Estabilidad hemodinámica: definida como ausencia de hipotensión clínicamente significativa o que no requiere fármacos vasoactivos o los requiere a dosis bajas (dopamina o dobutamina $<5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$).
- 3) Temperatura $\leq 38 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 4) Hemoglobina $\geq 8 \text{ g/dL}$.
- 5) Nivel de conciencia adecuado: definido como paciente despierto o al cual se lo despierta fácilmente.

III.b.2. Clasificación

- Grupo 0 o No destete: compuesto por pacientes que nunca experimentaron intento de separación.

- Grupo 1 (destete corto): el primer intento resultó en una terminación del proceso de destete dentro de 1 día (separación exitosa o muerte).
- Grupo 2 (destete dificultoso): la separación fue completada luego de más de 1 día, pero en menos de 7 días luego del primer intento de separación (destete exitoso o muerte).
- Grupo 3 (destete prolongado): el destete no fue terminado a los 7 días luego del primer intento de separación (por éxito o muerte).
 - Grupo 3a (destete prolongado exitoso): destete exitoso luego de 7 días o más desde el primer intento.
 - Grupo 3b: (destete prolongado no exitoso): destete no exitoso luego de 7 días desde el primer intento. ⁽¹⁶⁾

III.b.3. Pruebas diagnósticas.

III.b.3.1. Medición de predictores de tolerancia a la prueba de respiración espontánea.

En este apartado se destacan principalmente tres de ellos, presión inspiratoria máxima (Pimax), presión de oclusión de la vía aérea (P01) y el índice de respiración rápida superficial de Yang-Tobin. Se hace mayor énfasis en estos tres parámetros debido a su relativa facilidad de medición al pie de la cama y su gran uso en la unidad de cuidados intensivos. ^(1,2)

La Pimax es la presión máxima generada en un esfuerzo inspiratorio, realizado desde la capacidad funcional residual (CRF), y se utiliza para evaluar la fuerza de los músculos respiratorios. Para realizar la medición se ocluye la vía aérea durante 20-25 segundos con una válvula unidireccional que al paciente le permite exhalar, pero no inhalar. Debido a este mecanismo de la válvula la maniobra obliga al paciente a realizar un gran esfuerzo inspiratorio. ^(1,2)

La Pimax no es un parámetro que asegure el éxito de la desconexión de la VMI, pero un valor inadecuado indica debilidad muscular que podría ser una de las principales causas de la intolerancia a la respiración espontánea.

La P01 es la presión medida a los 100 milisegundos desde que se inicia un esfuerzo inspiratorio frente a una vía aérea ocluida. El valor de esta medición refleja el impulso respiratorio, así como la fortaleza de la musculatura respiratoria. En

personas sanas, el valor de P01 suele ser menor de -2 cm H₂O. Este índice es una medida del impulso respiratorio central (drive respiratorio).^(1,2)

El índice de Yang-Tobin es la relación entre la frecuencia respiratoria y el volumen tidal expresado en litros. Recientes estudios de investigación han demostrado que su uso es limitado, de tal manera que valores inferiores a 105 resp/min/litros indican un pequeño incremento en la posibilidad de un destete exitoso. Valores superiores a 105 resp/min/litros indican una moderada probabilidad de fallo en el destete. Es decir que el índice de Tobin y Yang es un mejor indicador en probabilidades de fallo que de weaning exitoso.⁽¹⁴⁾

III.b.3.2. Prueba de respiración espontánea.

La prueba de respiración espontánea (PRE) es una evaluación que se le realiza al paciente para observar cómo responde su ventilación a través de la vía aérea artificial sin soporte del respirador o con una asistencia mínima. Ésta tiene como objetivo evidenciar si el paciente soportara la ventilación espontánea luego de la desconexión del ventilador mecánico.⁽¹⁴⁾

Hay diferentes métodos para llevar a cabo esta prueba, el procedimiento puede ser que el paciente respire a través del TET sin soporte alguno del ventilador, a través de una pieza en T, llamada tubo en T conectado a un caudal de oxígeno, o con una mínima asistencia ventilatoria. Cuando se realiza con una asistencia ventilatoria son principalmente con los modos de presión continua en la vía aérea (CPAP) o de presión soporte (PS).⁽¹⁴⁾

La PRE debe tener una duración de 30 minutos, ya que con ese tiempo es suficiente para constatar si no se tolera la prueba.^(14,17)

Se debe llevar a cabo una evaluación continua de los criterios de tolerancia con dos objetivos: primero, evitar la fatiga de los músculos respiratorios y segundo, estimar la probabilidad de ser extubado con éxito.

Los criterios que se utilizan para saber que el paciente está tolerando la prueba de respiración espontánea son:⁽¹⁴⁾

CRITERIOS OBJETIVOS	CRITERIOS SUBJETIVOS
Mantener una SatO ₂ > 90% con una FIO ₂ <0,50.	Ausencia de signos de aumento del trabajo respiratorio, incluyendo respiración paradójica, o excesiva utilización de la musculatura accesoria.
Frecuencia respiratoria menor de 35 respiraciones por minuto.	Ausencia de otros signos de insuficiencia respiratoria tales como diaforesis o agitación.
Frecuencia cardíaca ≤ 140 lpm o un aumento ≤ 20% de la frecuencia cardíaca basal.	
Presión arterial sistólica ≥80 mmHg o ≤ 160 mm Hg o una variación <20% de la basal.	

III.c. Ultrasonografía diafragmática.

III.c.1. Generalidades de ultrasonografía.

La ultrasonografía (USG) es un estudio complementario que ha adquirido gran valor en los últimos años, debido a su bajo costo y facilidad para la evaluación al pie de la cama del paciente. Es una práctica cotidiana en las unidades de terapia intensiva. ^(7,18)

Es un método simple y no invasivo que permite evaluar la anatomía y cinética del diafragma, tanto sus movimientos normales como sus principales alteraciones en pacientes con patología respiratoria. Además de evaluar el movimiento, permite evaluar el grosor de este musculo

La USG se ha convertido en una herramienta indispensable en el manejo de los pacientes críticos y más aún en los que no es factible el traslado. ^(7,18)

Otra de las grandes ventajas que posee este método de evaluación, es que, comparado con los demás estudios complementario como lo son la resonancia magnética, radiografía o fluoroscopia, no utiliza radiación ionizante. ^(7,18)

Aspectos técnicos: La USG suele utilizar frecuencias entre los 2 y 20 MHz. Funcionan a través de ondas que se generan a través de un cristal piezoeléctrico que se ubica en la cabeza del transductor. Cuando la energía eléctrica se transmite a través del cristal piezoeléctrico y este emite ondas de ultrasonido que luego se transmiten atenuado, absorbido, reflejando, refractado y difractándose por las estructuras adyacentes. La impedancia de los tejidos cambia la señal de la onda y esto proporciona información sobre la ubicación y característica de los tejidos. Estos datos se procesan como imágenes en escala de grises. ⁽¹⁹⁾

Dentro de lo que respecta a la evaluación, hay 2 modos que se deben mencionar:

- Modo bidimensional (2D): Este es el que se encuentra por defecto en la mayoría de los dispositivos ecográficos a pie de la cama del paciente. Es llamado también modo B por “brillo”, debido a que la ecogenicidad de las estructuras depende de la intensidad de las señales reflejadas. Cuando una estructura no refleja las ondas del ultrasonido se lo denomina ondas anecoicas y se ve de color negro en el ecógrafo, la mayoría de las estructuras que contienen líquido en su interior se aprecian como anecoicas. Por otro lado, las estructuras que reflejan algo del sonido se las denomina ondas hipoeicoicas. Por último, se encuentran las ondas hipereicoicas que son las estructuras que mayor reflejan las ondas ultrasónicas y se pueden observar con un color blanco brillante. Las estructuras densas como el diafragma se ven de forma hipereicoica. ⁽⁶⁾
- Modo movimiento (modo M): Esta configuración se utiliza para analizar el movimiento de las estructuras en el tiempo. Se emite un haz sobre un solo eje siguiendo la línea seleccionada y se recogen los datos sobre el movimiento de todos los tejidos situados a lo largo de dicha línea. Se representan todos los puntos de esta línea a lo largo del tiempo para evaluar el movimiento de las estructuras. Las imágenes se obtienen colocando el cursor sobre el objeto que se visualiza en el modo B y luego activando el modo M. Este modo, hoy en día, es de gran utilidad a nivel de los cuidados respiratorios a la hora de evaluar la cinética del diafragma. ^(6,7)

Tipos de sonda o transductor:

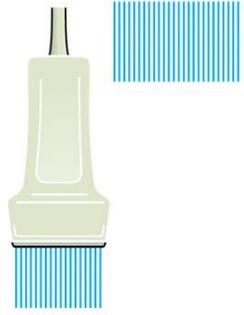
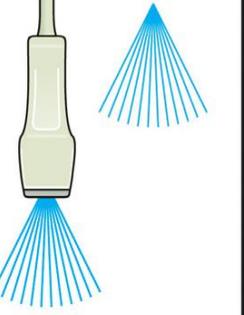
Tipo de sonda	Lineal	Cónvex	Sectorial
			
Intervalo de frecuencias	5-15 MHz	2-5 MHz	1-5 MHz
Profundidad de visualización	9 cm	30 cm	35 cm
Sonda			

Figura 1. ⁽⁶⁾

III.c.2. Diafragma.

En la USG el diafragma se puede observar a través de dos ventanas acústicas, una sobre el área subcostal (SCA) y otra sobre la zona de aposición (ZOA). A través de la ventana SCA, se observa al diafragma como una estructura curva ubicada en una zona profunda que separa el tórax del abdomen. En la visión a través de ZOA, el diafragma se puede visualizar como una estructura de tres capas, que consta de una capa muscular interna hipoeoica rodeada de dos membranas externas hiperecoicas (el peritoneo y la pleura). Durante la contracción diafragmática en individuos sanos, la ecografía a través de la ventana SCA muestra el diafragma descendiendo en dirección craneocaudal, mientras que la ecografía a través de la ventana ZOA muestra el acortamiento y engrosamiento del músculo. ⁽²⁰⁾

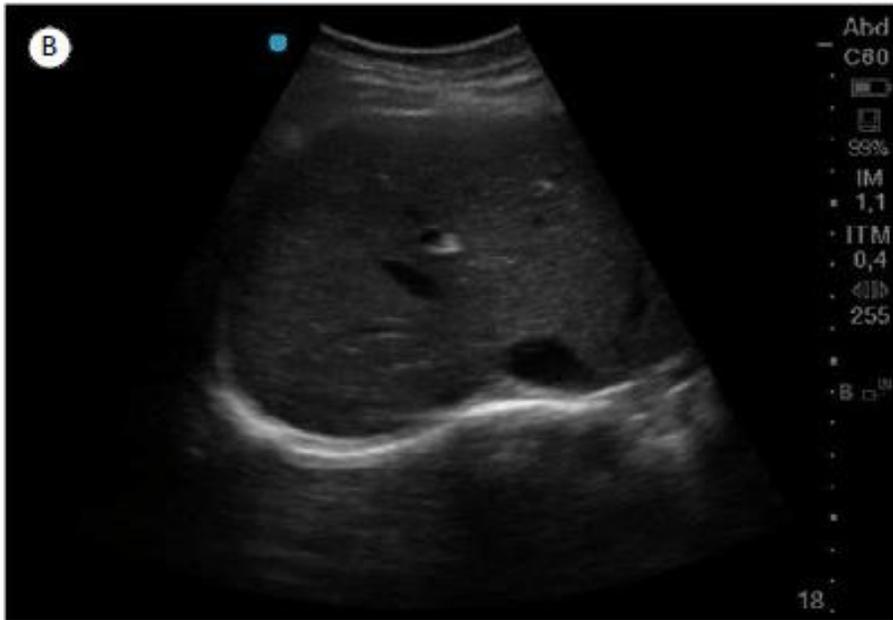


Figura 2. Diafragma en ventana SCA. ⁽²⁰⁾

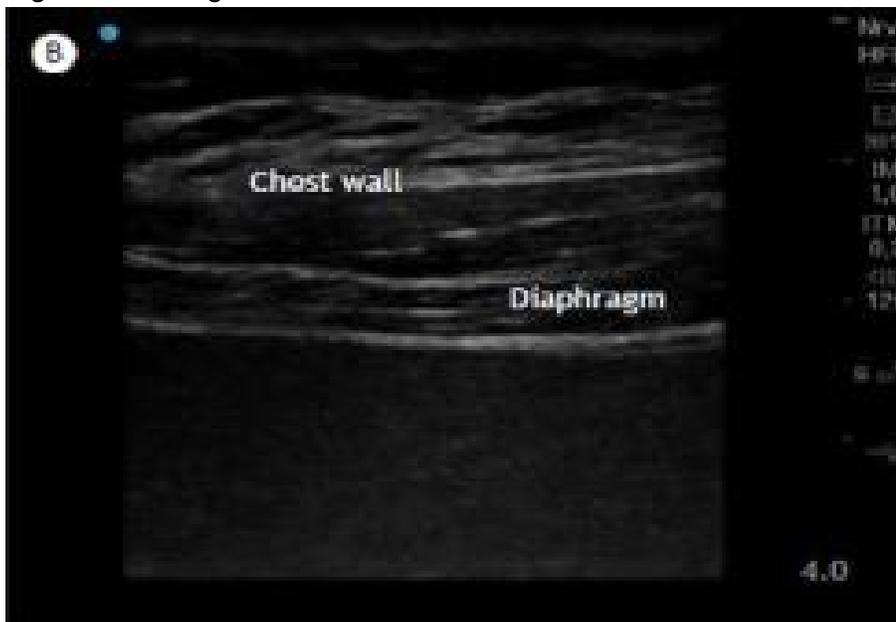


Figura 3. Diafragma en ventana ZOA. ⁽²⁰⁾

III.c.3. Evaluación de la función diafragmática.

III.c.3.1. Excursión diafragmática.

Se entiende por excursión diafragmática al desplazamiento en centímetros del diafragma. Para realizar esta medición se debe colocar al paciente en decúbito supino o levemente recostado. Se utiliza un transductor sectorial de 3,5 a 5 MHz debajo del margen costal entre la línea clavicular media y la línea axilar anterior con

el marcador de orientación del transductor en sentido medial, cefálico y dorsal. Con el modo bidimensional se obtiene la mejor imagen dentro de la línea de exploración, y posteriormente se utiliza el modo M para visualizar el movimiento. Mayormente se visualiza del lado derecho debido a que el hígado proporciona una mejor ventana acústica en comparación con el lado izquierdo, donde el gas estomacal suele oscurecer el diafragma. ^(6,21)

Valores normales de excursión diafragmática: ^(6,21)

	Hombres	Mujeres
Respiración tranquila	1,8 ± 0,3 cm	1,6 ± 0,3 cm
Respiración profunda	7,0 ± 0,6 cm	5,7 ± 1,0 cm
Olfateo voluntario	2,9 ± 0,6 cm	2,6 ± 0,5 cm

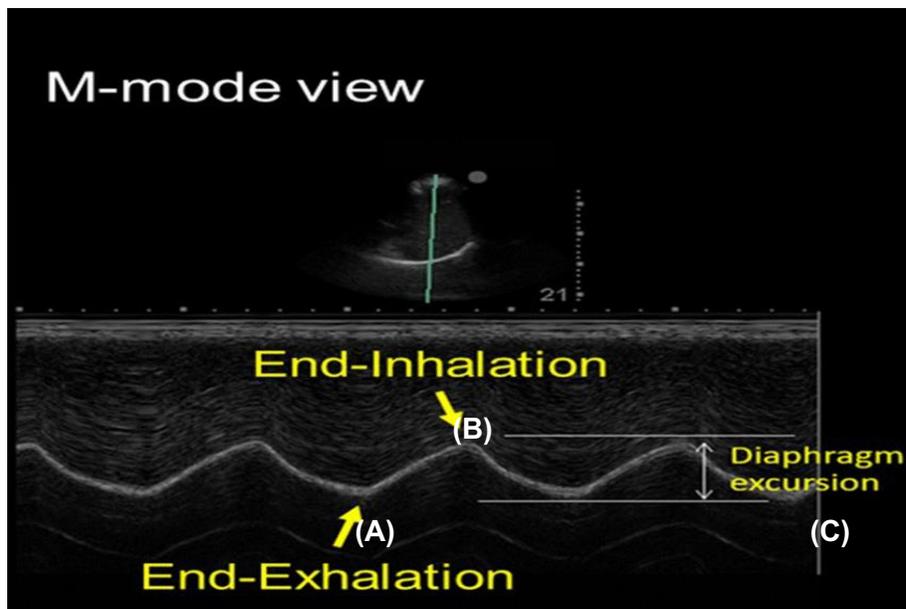


Figura 4. A: Final de la espiración, B: Final de la inspiración, C: Excursión diafragmática. ⁽²²⁾

III.c.3.2. Grosor diafragmático.

Para realizar esta medición se coloca un transductor lineal, de una frecuencia entre 6 y 13MHz, en la línea medioaxilar donde el diafragma se encuentra en la zona de aposición. El grosor de este músculo se mide utilizando el modo bidimensional o el modo M. Los valores normales del engrosamiento diafragmático en individuos

sanos varían de acuerdo a la capacidad residual funcional, con rangos que van de $2,4 \pm 0,8$ mm. ^(6,12,21)

Luego se calcula la fracción de engrosamiento para evaluar la debilidad del diafragma. El resultado se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Grosor al final de la inspiración} - \text{grosor al final de la espiración}}{\text{grosor al final de la espiración}} \times 100$$

Una fracción de engrosamiento menor al 20% sugiere debilidad diafragmática. ^(6,12,21)

III.c.4. Disfunción diafragmática.

Es una complicación de la ventilación mecánica, como se nombró anteriormente, que se puede diagnosticar mediante USG. Para evidenciarla hace falta recurrir a las mediciones de la función diafragmática, como el grosor y excursión. Se define como disfunción diafragmática a una excursión menor de 10mm. En cuanto al grosor, para considerar la atrofia de este musculo deben observarse valores por debajo de 2mm. ⁽¹²⁾

IV. JUSTIFICACIÓN.

Dentro de las unidades de cuidados intensivos existe una gran cantidad de pacientes vinculados a ventilación mecánica invasiva, debido a diferentes problemáticas. En estas personas lo que más se busca es la desconexión, lo antes posible, de la asistencia respiratoria mecánica. El éxito del destete es vital para prevenir complicaciones asociadas a un mayor tiempo vinculado a la VMI.

El fallo en el weaning es multicausal, aunque una de sus etiologías más frecuentes es la debilidad diafragmática, por lo cual evaluar al músculo diafragma en una prueba de respiración espontánea a través de un modo no invasivo, dinámico y al pie de la cama como lo es la ultrasonografía, resulta atractivo para disminuir este riesgo.

Con el estudio de esta temática se busca evidenciar cuales son los posibles predictores de éxito en el destete de los pacientes vinculados a ventilación mecánica invasiva, lo que permitiría obtener datos objetivos a la hora de evaluar a los pacientes conectados a VMI. Además de esto, se busca un acercamiento de la información a los

Licenciados en Kinesiología y Fisiatría sobre la utilidad y beneficios de este estudio complementario en lo que respecta a la parte respiratoria de la Kinesiología.

V. MÉTODOS.

Se analizó mediante una revisión bibliográfica, los predictores de éxito en Weaning respiratorio mediante la evaluación Ultrasonográfica del diafragma en el paciente con requerimiento de Asistencia Respiratoria Mecánica Invasiva. Se consultaron las bases de datos PubMed, Biblioteca Virtual en Salud, Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología del MinCyT y SciELO.

V.a. Estrategias de búsquedas bibliográficas.

Los términos de búsqueda utilizados fueron:

- Términos MeSH:
 - “Ventilator Weaning”
 - “Ultrasonography”
 - “Diaphragm”
 - “Artificial Respiration”
 - “Ultrasonics”
- Términos DeCs:
 - “Desconexión del ventilador”
 - “Ultrasonografía”
 - “Diafragma”
 - “Respiración artificial”
 - “Ultrasonido”
- Términos libres en español:
 - “Predictores de éxito”
 - “Ventilación mecánica invasiva”
 - “Asincronía Paciente-Ventilador”
- Términos libres en inglés:
 - “Predictors of Success”
 - “Invasive Mechanical Ventilation”
 - “Patient-ventilator asynchrony”

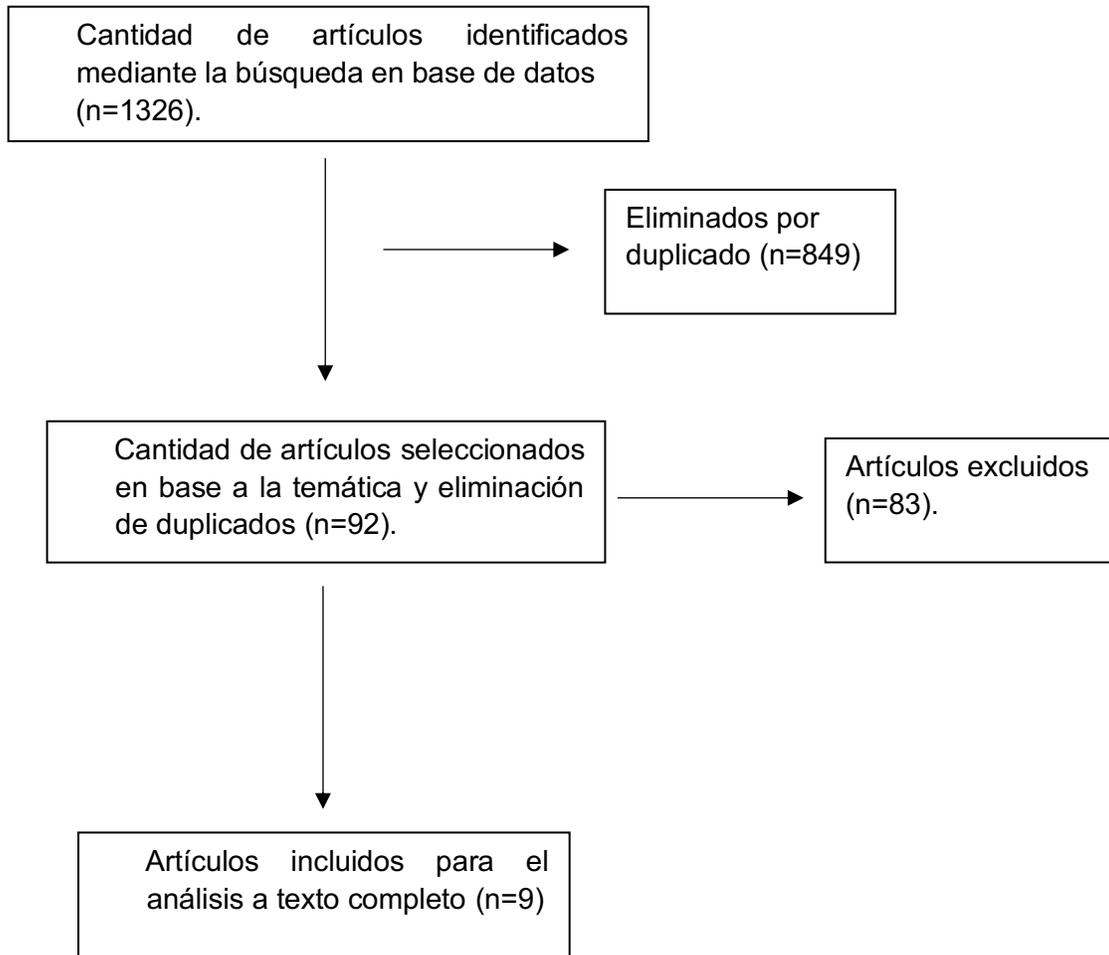
V.b. Combinación de términos.

- Ultrasonography AND "Ventilator Weaning"
- Ultrasonography AND "Ventilator Weaning" AND Diaphragm
- Ultrasonography AND "Ventilator Weaning" AND Diaphragm AND "Artificial Respiration"
- (Ultrasonography OR Ultrasound) AND "Ventilator Weaning" AND Diaphragm AND "Artificial Respiration"
- (Ultrasonography OR Ultrasound) AND "Ventilator Weaning" AND Diaphragm AND "Invasive Mechanical Ventilation"
- (Ultrasonography OR Ultrasound) AND "Ventilator Weaning" AND Diaphragm AND "Artificial Respiration" AND "Predictors of Success"
- (Ultrasonography OR Ultrasound) AND "Ventilator Weaning" AND Diaphragm AND "Invasive Mechanical Ventilation" AND "Predictors of Success"
- (Ultrasonography OR Ultrasound) AND "Ventilator Weaning" AND Diaphragm
- Ultrasonography AND Diaphragm AND "Patient-ventilator asynchrony"
- (Ultrasonography OR Ultrasound) AND Diaphragm AND "Patient-ventilator asynchrony"
- (Ultrasonography OR Ultrasound) AND Diaphragm AND "Patient-ventilator asynchrony" AND "Invasive Mechanical Ventilation"

V.c. Criterios de inclusión y exclusión.

Se incluirán artículos publicados en inglés, español y portugués entre los años 2012 y febrero del año 2024, que utilicen a la ultrasonografía diafragmática como predictor de éxito de weaning. Por otra parte, se excluirán estudios piloto, experimentales, pacientes con afecciones neurológicas que requieran VMI de forma permanente, pacientes con Covid-19, pediátricos y revisiones sistemáticas y metaanálisis.

VI. RESULTADOS.



VII. ANÁLISIS DE ARTÍCULO

Tabla I: artículos recolectados sobre los predictores de éxito en weaning respiratorio

Autor	Titulo y año	Objetivo	Diseño	Población	Intervención	Resultados
Theerawit P, et al.	Diaphragmatic parameters by ultrasonography for predicting weaning outcomes. 2018.	Investigar el desempeño de varios parámetros ecográficos de la función diafragmática para predecir el éxito del destete de la ventilación mecánica.	Estudio transversal prospectivo	62 pacientes adultos mayores de 18 años. Se dividieron en dos grupos. Destete exitoso: n=52 y destete fallido: n=11	Se midió en modo M la excursión inspiratoria diafragmática, el tiempo hasta la amplitud inspiratoria máxima del diafragma (TPIA dia), el espesor diafragmático (DT). Además, se calculó la diferencia de DT y la fracción de engrosamiento del diafragma (TFdi). Todos los exámenes se realizaron con los pacientes en decúbito supino. Se obtuvieron valores de ultrasonido diafragmático de tres respiraciones corrientes consecutivas y se utilizaron los valores promedio para el análisis. Todas las mediciones se llevaron a cabo al final de una prueba de respiración espontánea de 2 h con una pieza en T y soporte de presión cero (antes de la extubación).	Entre los parámetros diafragmáticos, el TPIA dia mostró un buen desempeño en la predicción de los resultados del destete y tuvo una fuerte correlación con el RSBI. Este estudio demostró una tendencia a centrarse en el TPIA dia, en lugar de la excursión inspiratoria diafragmática, como predictor del destete de la ventilación mecánica.

Raj I, et al.	Ultrasonography of Diaphragm to Predict Extubation Outcome. 2023.	Medir la fracción de engrosamiento diafragmático (dTF) en% y la excursión diafragmática (DE) en cm antes y después de la prueba de respiración espontánea (SBT) y comparar dTF y DE con los parámetros de extubación estándar. para predecir el resultado de la extubación.	Estudio observacional prospectivo	41 pacientes mayores de 18 años	Se evaluó al diafragma 2 veces antes de la extubación en busca de la fracción de engrosamiento diafragmático (dTF) y la excursión diafragmática (DE). La primera exploración se realizó antes de someter al paciente a PSV y la segunda antes de extubar al paciente. Ambas en modo M y paciente en semidecubito (cabecera a 30°). Además de las mediciones diafragmáticas se evaluaron los parámetros de extubación estándar (FR, VM, VT, SpO2) para predecir el éxito.	El 68,29 (%) de los pacientes con valores de dTF y DE normales y el 21,95 (%) con valores de dTF y DE ligeramente inferiores fueron extubados con éxito, y el 7,31 (%) con valores de dTF y DE normales fueron reintubados. Se considera como predictor de éxito para la extubación a una dTF >35% y una DE >1 cm
Varón-Vega F, et al.	Usefulness of diaphragmatic ultrasound in predicting extubation Success. 2021.	Evaluar la precisión diagnóstica de la ecografía diafragmática para predecir el éxito de la extubación.	Estudio observacional de precisión diagnóstica	84 pacientes mayores de 18 años con VMI durante más de 48hs	Al finalizar la PVE se evaluó excursión diafragmática (ED), tiempo de inspiración (TPIA), velocidad de contracción de diafragma (ED/TPIA), tiempo total (Ttot) y fracción de engrosamiento (TFdi). Se realizaron en modo M y en posición semisentado (elevación de la cabecera a 45°)	Se logró una extubación exitosa en el 79,8% de los pacientes (n = 67) y la extubación fue fallida en el 20,2% de los casos restantes (n = 17). De todos los parámetros ecográficos evaluados solo hubo diferencia estadística entre ambos grupos en la velocidad de contracción del diafragma. Mostró una capacidad discriminatoria aceptable para predecir el éxito del destete si se evalúa como marcador aislado. Se encontró valores de > 2,9 cm/s en el grupo de éxito en comparación con > 2,02 cm/s del grupo fracaso.

Alam MJ, et al.	Diaphragm ultrasound as a better predictor of successful extubation from mechanical ventilation than rapid shallow breathing index. 2022.	Este estudio analizó el papel de la excursión del diafragma (DE) y la fracción de engrosamiento en la predicción de una extubación exitosa de la ventilación mecánica.	Estudio observacional longitudinal	31 pacientes intubados que estaban programados para ser extubados	Al comienzo de los 30 minutos de la SBT y luego de 10 minutos, se evaluaron la DE y la DTF con el paciente en posición semi inclinada y la cama elevada. entre 20° y 40°. El RSBI también se calculó simultáneamente al lado de la cama. Se realizó el mismo procedimiento justo antes de la extubación. Se tomaron tres mediciones durante la SBT y se promediaron. Al mismo tiempo también se midió el índice de respiración rápida y superficial (RSBI)	La extubación exitosa se correlacionó significativamente con la DE (P = 0,01) con un valor de corte de 11,43 mm. DTF tuvo un valor de corte 22,33%. DE y DTF son mejores indicadores de extubación exitosa que el RSBI.
Farghaly S, et al.	Diaphragm ultrasound as a new method to predict extubation outcome in mechanically ventilated patients. 2017.	Evaluar el papel del engrosamiento y la excursión diafragmática, evaluados mediante ecografía, en la predicción del resultado de la extubación.	Estudio prospectivo	54 pacientes que superaron con éxito la SBT. Grupo extubación exitosa: n=40 Grupo extubación fallida: n=14	Con el modo B se midió el grosor del diafragma al final de la inspiración y espiración (Tdi) 3 veces y se tomó el promedio, luego se midió la fracción de espesor diafragmático (DTF). En modo M se evaluó la excursión diafragmática 3 veces y se tomó el promedio. Estas mediciones se realizaron a los 30min de un SBT de 2h y además se registró la FR, VT, VM, RSBI y PaO2/FiO2	La excursión diafragmática, el Tdi al final de la inspiración, al final de la espiración y el %DTF fueron significativamente mayores en el grupo exitoso en comparación con aquellos en los que fracasó la extubación (p<0,05). Los valores de corte de las medidas diafragmáticas asociadas con una extubación exitosa fueron ≥10,5 mm para la excursión diafragmática, ≥21 mm para Tdi al final de la inspiración, ≥10,5 mm para Tdi al final de la espiración, ≥34,2% para DTF%

DiNino E, et al.	Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical Ventilation. 2014.	El propósito de este estudio fue evaluar si las medidas de engrosamiento del diafragma derivadas de la ecografía, en lugar del movimiento del diafragma, pueden usarse para predecir el éxito o el fracaso de la extubación.	Estudio observacional prospectivo	63 pacientes listos para someterse a una prueba de destete de PS de bajo nivel o una prueba de respiración espontánea (SB)	El espesor del diafragma (tdi) se midió al final de la espiración y al final de la inspiración. Además, se midió la fracción de engrosamiento del diafragma (Tdi%) de cada paciente y se tomó la media de 3 a 5 respiraciones. Las imágenes se obtuvieron dentro de los primeros 5 minutos de la prueba SB o PS.	La sensibilidad y especificidad combinadas de $\Delta tdi \geq 30\%$ para el éxito de la extubación fue del 88% y 71%, respectivamente. Las medidas ecográficas del engrosamiento del diafragma en la zona de aposición pueden ser útiles para predecir el éxito o el fracaso de la extubación durante las pruebas de SB o PS.
Abdelwahed WM, et al.	Prospective study: Diaphragmatic thickness as a predictor index for weaning from mechanical Ventilation. 2019.	El objetivo de este estudio fue evaluar si la fracción de engrosamiento diafragmático medida por ultrasonido puede usarse como índice predictivo para el destete de la ventilación mecánica.	Estudio observacional prospectivo	65 pacientes mayores de 18 años que se dividieron en dos grupos. Destete exitoso: n=51 y destete fallido: n=14.	Se evaluó el espesor diafragmático en posición semi-recostada (cabecera de la cama entre 30 y 45°). Se capturaron y almacenaron imágenes del diafragma, tres en el punto de engrosamiento máximo en la capacidad pulmonar total (TLC) y tres en el engrosamiento mínimo en la capacidad pulmonar residual. También se registró la fracción de espesor (DTF), que se calculó como porcentaje. La DTF para cada paciente representó la media de tres respiraciones. Las imágenes se obtuvieron dentro del primeros cinco minutos de la prueba SB usando una pieza en T. En simultáneo, se registraba el RSBI de todos los pacientes.	Una fracción de engrosamiento del diafragma derecho de más o igual a 30%, fue ligeramente mejor que RSBI en cuanto a sensibilidad y especificidad, y tuvo éxito en predecir los resultados del destete con reducciones en las extubaciones fallidas, la duración de la ventilación mecánica y la duración de la estancia en la UCI.

En el estudio de **Theerawit P, et al**,⁽²³⁾ se inscribieron 68 pacientes intubados mayores de 18 años entre junio y noviembre del 2013. Por mala calidad en la imagen se excluyeron del estudio 6 de los 68 iniciales. Los pacientes se dividieron en dos grupos: Destete exitoso: n=51 y destete fallido: n=11. El objetivo de este artículo fue investigar el desempeño de varios parámetros ecográficos de la función diafragmática para predecir el éxito del destete de la ventilación mecánica, y también, evaluar el desempeño de estos parámetros de ultrasonido en comparación con los convencionales utilizados habitualmente para predecir el weaning exitoso.

Los parámetros convencionales que se midieron fueron: volumen corriente exhalado, índice de respiración rápida y superficial (RSBI), capacidad vital y Pimax. Los parámetros ecográficos de la función diafragmática medidos fueron: excursión inspiratoria diafragmática, tiempo hasta amplitud inspiratoria máxima (TPIAdia), espesor diafragmático (DT), diferencia de espesor diafragmático (DTD) y la fracción de engrosamiento del diafragma (TFdi). La amplitud de la excursión inspiratoria diafragmática se midió como el punto de máxima altura en inspiración en el trazado en modo M. La TPIAdia fue definida como el tiempo desde el comienzo desde la contracción diafragmática hasta la amplitud máxima de la excursión inspiratoria diafragmática, medida en modo M. La DTD se calculó como la diferencia entre el DT al final de inspiración y espiración. TFdi se calculó de la siguiente manera: $(DTD) / (DT \text{ al final de espiración}) \times 100$.

Todas las mediciones ultrasonográficas se realizaron en modo B y M anatómico y con los pacientes en decúbito supino. Se obtuvieron los valores promedio de tres respiraciones corrientes consecutivas. Todos los parámetros diafragmáticos se compararon entre el hemidiafragma izquierdo y derecho y no hubo diferencias significativas entre sí. Según lo evaluado en este estudio, la TPIAdia media fue significativamente mayor en el grupo de destete exitoso ($P < 0,05$) con una sensibilidad de 92,2% y una especificidad de 45,5%, el RSBI < 100 durante la PRE fue significativamente menor en el éxito del destete que en el grupo de destete fallido ($P < 0,01$) con una sensibilidad del 96.1% y una especificidad de 45,5%. El resto de los parámetros no tuvieron diferencias significativas entre ambos grupos. Por lo tanto, los autores concluyeron que entre los parámetros diafragmáticos el TPIAdia fue el mejor predictor de éxito del destete.

Por parte del estudio de **Raj I, et al**,⁽²⁴⁾ se incluyeron 41 pacientes mayores de 18 años con requerimiento de ventilación mecánica invasiva durante el período de enero de 2020 a mayo de 2021. El objetivo de esta investigación fue medir la fracción de

engrosamiento diafragmático (dTF) en % y la excursión diafragmática (DE) en cm antes y después de la prueba de respiración espontánea (SBT) y comparar dTF y DE con los parámetros de extubación estándar para predecir el resultado de la extubación. Antes de la extubación, todos los pacientes debían cumplir con los criterios de extubación propuestos. Los criterios incluyeron 2 h de PSV con PEEP = 5 cm de H₂O y PS = 8 cm de H₂O.

Los parámetros estándar de extubación que se midieron fueron los siguientes: FR, VM, VT, SpO₂. El equipo de investigación evaluó el diafragma en busca de dTF y DE dos veces antes de la extubación, la primera se realizó inmediatamente antes de someter al paciente a PSV y la segunda antes de extubar al paciente. Ambos parámetros diafragmáticos se midieron en modo M y en posición de semidecubito (cabecera a 30°). Para calcular la dTF se tomaron tres mediciones cada vez y la media de estos valores se incluyó a la siguiente fórmula: $dTF = (\text{Espesor diafragmático al final de la inspiración} - \text{Espesor diafragmático al final de la espiración}) / (\text{Espesor diafragmático al final de la espiración} \times 100)$. Por otro lado, el DE midió la distancia que el diafragma era capaz de moverse durante un ciclo respiratorio y se calculó como: $DE = \text{Movimiento del diafragma durante la inspiración} - \text{Movimiento del diafragma durante la espiración}$.

En el siguiente gráfico se muestra que se tomaron tres valores de excursión diafragmática antes de la PSV, así como antes de la extubación, se observó que el tercer valor registrado antes de PSV, $1,61 \pm 0,35$, fue fuertemente significativo con un valor de $P < 0,001$, seguido del primer valor registrado antes de PS, $1,68 \pm 0,41$, que se consideró moderadamente significativo con un Valor p de 0,018. La mayoría de los valores obtenidos para DE antes de la PSV, así como antes de la extubación, se encontraron por encima de 1,5 cm en el gráfico.

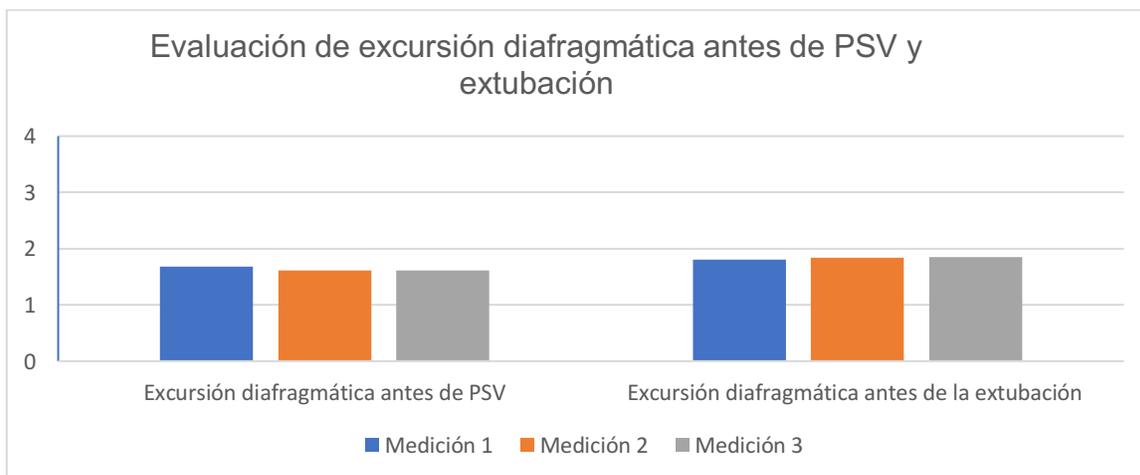


Gráfico 1 de análisis de resultados del estudio de Raj I, et al. ⁽²⁴⁾

En el gráfico 2 se observan los tres valores de dTF registrados antes de la PSV y antes de la extubación y los valores promedio de las tres observaciones realizadas. Se encontró que el tercer valor de dTF $55,52 \pm 21,96$, y el valor promedio $54,96 \pm 17,94$, ambos obtenidos antes de la PS, fueron fuertemente significativos con un valor de P de 0,001.

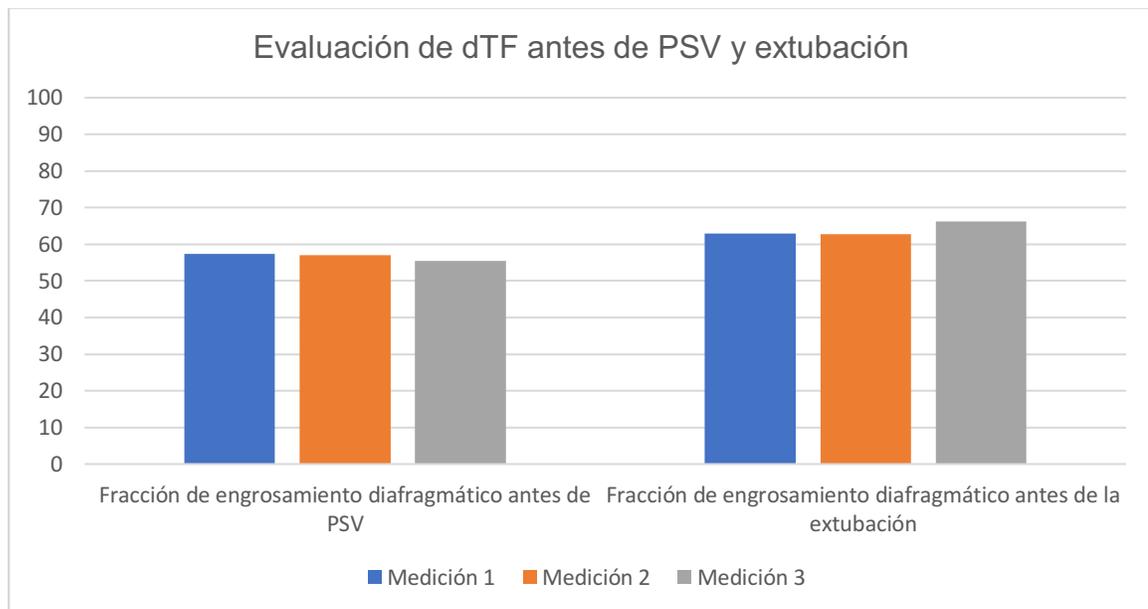


Gráfico 2 de análisis de resultados del estudio de Raj I, et al. ⁽²⁴⁾

En este estudio se observó que, de 41 pacientes, 37 fueron extubados con éxito y tenían valores superiores a los normales considerados para dTF. En este estudio llegaron a la conclusión de que se puede considerar un dTF >35% y una DE >1 cm para el éxito de la extubación.

Con respecto a las características de los sujetos estudiados en el artículo presentado por **Varón-Vega F, et al**, ⁽²⁵⁾ se incluyeron 84 pacientes mayores de 18 años con ventilación mecánica invasiva durante más de 48hs, que se dividieron en dos grupos, grupo extubación exitosa: n=67 y grupo extubación fallida: n=17. En este estudio se buscó evaluar la exactitud diagnóstica de la ecografía diafragmática para predecir el éxito del destete.

Las mediciones de la función diafragmática mediante ecografía se realizaron al finalizar la PRE de 30min. Se midió la excursión diafragmática (ED), el tiempo de inspiración (TPIAdia), la velocidad de contracción del diafragma (ED/TPIAdia en cm/s),

el tiempo total (T_{tot} en segundos) y la fracción de engrosamiento (TFdi). Todas las mediciones se realizaron en modo M, en el hemidiafragma derecho y en posición semisentado (cabecera a 45°).

Los autores de este estudio concluyen, que de las variables ecográficas evaluadas la única con diferencia estadísticamente significativa, entre los grupos de estudio, fue la velocidad de contracción diafragmática. Esta variable se presume como una medida indirecta de la fuerza de contracción del diafragma. En esta investigación se encontraron valores $> 2,9$ cm/s en el grupo de éxito en comparación con $> 2,02$ cm/s del grupo fracaso ($p = 0,013$).

El estudio realizado por **Alam MJ, et al.** ⁽²⁶⁾ en el 2022, tuvo como objetivo analizar el papel de la excursión diafragmática (DE) y la fracción de engrosamiento (DTF) en la predicción de una extubación exitosa. Entre septiembre de 2019 y agosto de 2020, 33 pacientes cumplieron con los criterios de inclusión, pero 2 pacientes murieron luego de la inscripción, por lo que el estudio abarcó un total de 31 pacientes intubados que estaban ya programados para ser extubados.

Se evaluaron la DE y DTF al comienzo de los 30 minutos de prueba de tubo en T y a los 10 minutos con los pacientes en posición semi-inclinada y la cama elevada entre 20° y 40° . Las mediciones ecográficas se obtuvieron en modo B y M. Además de estos parámetros, simultáneamente, se calculó el índice de respiración rápida y superficial (RSBI).

De los 31 pacientes que se incluyeron en el estudio, 18 fueron extubados con éxito y 13 necesitaron reintubación. En los resultados de esta investigación se observó que, de todos los parámetros evaluados, el único que tuvo una diferencia estadísticamente significativa fue la DE ($p < 0,001$), entre los pacientes que tuvieron éxito en el destete y los que fallaron. El valor de corte para la excursión diafragmática fue de 11,43 mm. DTF tuvo un valor de corte 22,33% ($p = 0,04$). Se concluye que DE y DTF son mejores indicadores de extubación exitosa que el RSBI, siendo DE más confiable para predecir el éxito del destete que la DTF.

En relación al artículo presentado en 2017 por **Farghaly S, et al.** ⁽²⁷⁾ evaluaron el papel del engrosamiento o la excursión del diafragma mediante USG para predecir los resultados de la extubación en sujetos que presentaban una enfermedad pulmonar subyacente, que causaba insuficiencia respiratoria aguda y requerían VM. Se

seleccionaron 90 pacientes aptos para realizar el destete, dentro de los cuales 10 fueron excluidos por criterios de exclusión, cuando estuvieron clínicamente estables y el intensivista aceptó tanto los parámetros bioquímicos como los del ventilador fueron sometidos a una prueba de respiración espontánea, de la cuales 56 tuvieron éxitos en la misma y fueron evaluados con USG, 24 pacientes fallaron la PRE y 2 presentaron estridor como causa de fallo de la extubación, estos fueron excluidos. Posterior a la extubación 40 fueron exitosos y 14 fallaron.

La evaluación mediante USG, se realizó con el paciente en posición semi-inclinada; donde se evaluó el espesor y la excursión diafragmática. En primer lugar, para el espesor se capturaron varias imágenes del diafragma durante la respiración tranquila, incluidas al menos tres al final de la inspiración y al menos tres al final de la espiración; en cada imagen en modo B se midió el grosor diafragmático desde la mitad de la línea pleural hasta la mitad de la línea peritoneal; además se tomó el promedio de estas tres medidas para luego calcular la fracción de espesor diafragmática.

Por otro lado, para evaluación de excursión diafragmática durante la respiración corriente, se utilizó el modo M a lo largo de una línea seleccionada perpendicular al diafragma. Se midió este parámetro en el eje vertical, trazando desde la línea de base hasta el punto de máxima altura de inspiración, se realizó esta maniobra al menos 3 veces y se tomó el promedio. Un valor de excursión diafragmática mayor o igual a 10,5 mm se asoció con una extubación exitosa con una sensibilidad del 87,5% y especificidad del 86,6%, y con respecto al espesor diafragmático fue mayor o igual a 21mm al final de la inspiración con una sensibilidad del 77,5 % y una especificidad del 86,6 %; y al final de espiración mayor o igual a 10,5 mm con 80% de sensibilidad y 50% de especificidad.

Con respecto a la fracción de espesor diafragmática, un valor mayor o igual a 34,2% se asoció con la mejor sensibilidad (90%) en comparación con otros parámetros diafragmáticos, pero con una especificidad del 64,3%.

En comparación con otros parámetros tradicionales como RSBI, el presente estudio mostró que la excursión diafragmática y el espesor diafragmático fueron más específicos para predecir una extubación exitosa. Por lo que llegan a la conclusión que la evaluación ecográfica de los parámetros diafragmáticos, ya sea excursión o grosor al final de la inspiración, podrían ser buenos predictores del resultado de la extubación en pacientes que pasaron por una prueba de respiración espontánea.

Con respecto al artículo publicado en 2014 por **Di Nino, et al.**⁽²⁸⁾ su propósito fue evaluar si las medidas de engrosamiento del diafragma derivadas de la ecografía, en lugar del movimiento diafragmático, puede usarse para predecir el éxito o fracaso de la extubación. En este estudio, se reclutaron 63 pacientes estables clínicamente y donde el intensivista los identifico listos para someterse a una prueba de ventilación espontánea. La PRE se realizó con una pieza de tubo en T o con modo presión soporte (PS). En la modalidad tubo en T la realizaron 36 pacientes y con PS 27 pacientes respectivamente.

Se midió el espesor diafragmático y la fracción del grosor diafragmático, utilizando USG dentro de los primeros cinco minutos de la prueba de respiración espontánea, con la cabecera elevada entre 20° y 40°, en modo B tanto al final de la espiración como al final de la inspiración, las imágenes que se tomaron fue del hemidiafragma derecho en la zona de aposición y la caja torácica en la línea medioaxilar entre los espacios intercostales octavo y decimo, durante el procedimiento se colocó un medidor de flujo para confirmar el final de la espiración y la inspiración en las imágenes del ultrasonido. De los 63 pacientes, se extubaron con éxito a 49, de los cuales 43 tuvieron una fracción de engrosamiento mayor o igual al 30%. De los 14 restantes que fracasaron la extubación, 10 tuvieron una fracción de engrosamiento menor al 30%, los 4 restantes tenían un valor mayor o igual al 30% pero fracasaron debido a factores que no se relacionaron con la contractibilidad del diafragma. La sensibilidad y especificidad resultantes fueron del 88% y 71%, respectivamente.

Al comparar los subgrupos de los destetados mediante PS y los destetados PVE, la fracción de engrosamiento predijo el éxito o el fracaso de la extubación igualmente. En el caso de los pacientes PS, de 36 pruebas, 25 tuvieron éxito donde solo uno tuvo la fracción de engrosamiento menor al 30%, y de los 11 restantes, que fracasaron la prueba 7 tuvieron menos del 30% de la fracción de engrosamiento. Con respecto a los destetados en PVE, 24 tuvieron éxito, de los cuales 18 con más del 30% de la fracción de engrosamiento. Los tres que fracasaron la prueba, todos tuvieron menos del 30%.

Además de la evaluación anteriormente mencionada, los autores buscaron si las medidas del grosor diafragmático al final de espiración o si las medidas de la fracción de engrosamiento diafragmático y el patrón respiratorio serian mejores predictores de una extubación exitosa que solo la fracción de engrosamiento; y como resultado obtuvieron que ninguno de estos parámetros mejora el valor predictivo de la fracción de engrosamiento solo.

Concluyen así los autores, que las medidas ecográficas del engrosamiento del músculo del diafragma pueden predecir el éxito o el fracaso de la extubación con las pruebas de destete de PS y SB y que este método puede ser especialmente útil para reducir el número de extubaciones fallidas.

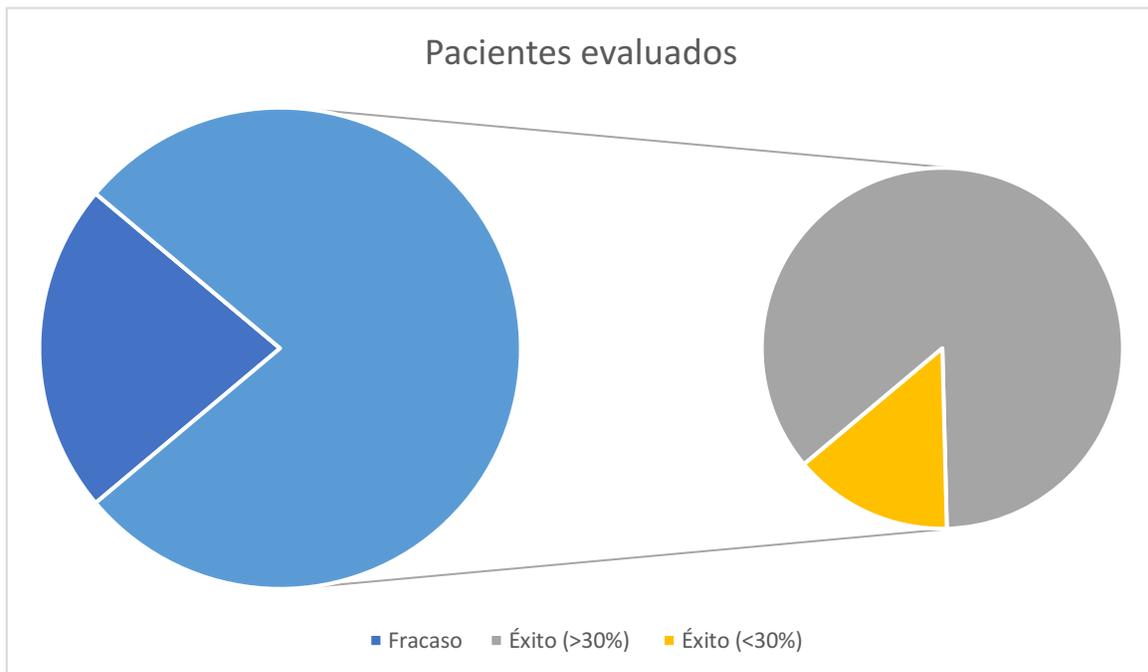


Gráfico 1 de análisis de resultados del estudio de Di Nino, et al. (28)

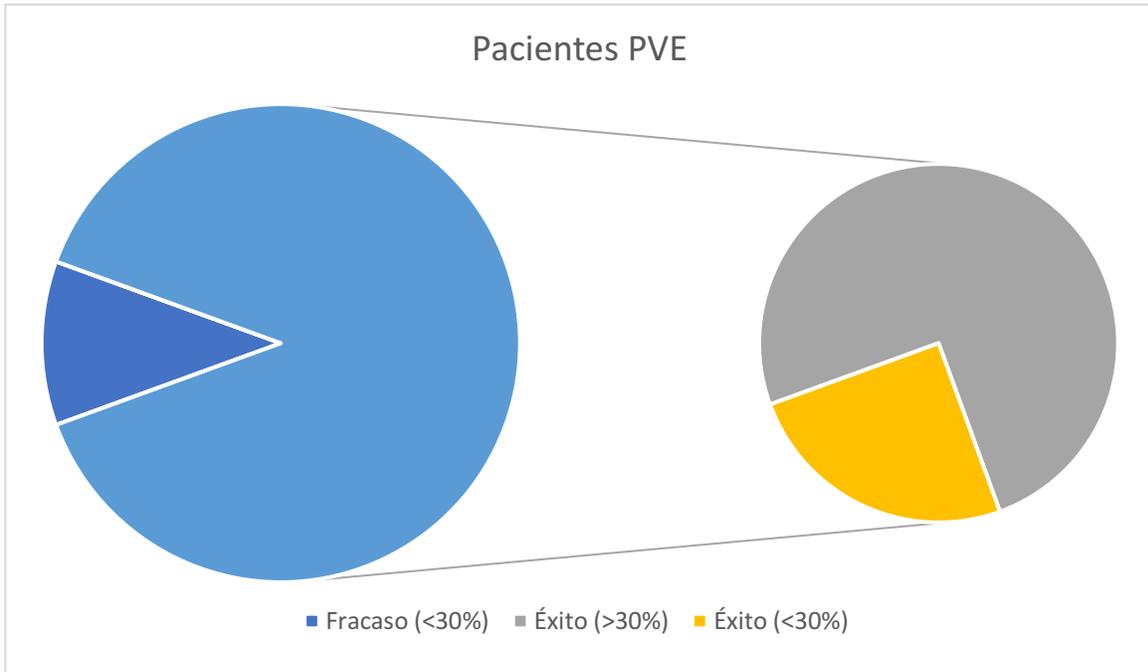


Gráfico 2 de análisis de resultados del estudio de Di Nino, et al. ⁽²⁸⁾

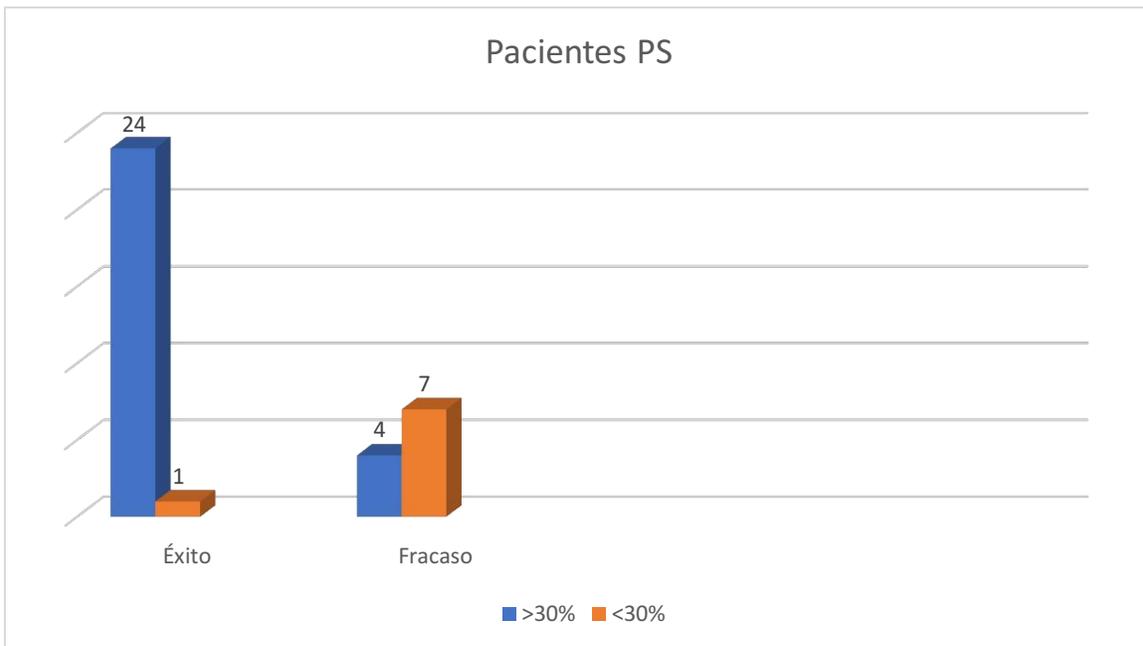


Gráfico 3 de análisis de resultados del estudio de Di Nino, et al. ⁽²⁸⁾

Con respecto al estudio realizado por **Abdelwahed, et al.** ⁽²⁹⁾ en 2019, tuvo como objetivo evaluar si la fracción de engrosamiento diafragmático (DTF) medida por USG se puede utilizar como índice predictivo del destete de la ventilación mecánica.

La evaluación del diafragma se realizó a una muestra de 65 pacientes, durante los primeros cinco a diez minutos de la sesión de prueba de respiración espontánea (tuvo en T), los pacientes se encontraban en posición semi-reclina con la cabecera de la cama elevada entre 30° y 45°, se utilizó una sonda lineal de alta frecuencia donde se visualizó al diafragma colocando el transductor perpendicular a la pared torácica en la línea axilar media entre el octavo y décimo espacio intercostal. Utilizaron el modo bidimensional inicialmente para obtener el mejor enfoque y seleccionar la exploración, luego se utilizó el modo M para mostrar el movimiento de las estructuras. Capturaron al menos tres imágenes en el punto de engrosamiento máximo en la capacidad pulmonar total y tres más durante el engrosamiento mínimo con el volumen residual.

De los pacientes evaluados, 51 fueron destetados con éxito en la primera prueba de respiración, mientras que 14 fracasaron. Se clasificaron a los pacientes en dos grupos: destete exitoso y destete fallido. La DTF tuvo una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de destete exitoso y fallido con una sensibilidad de 94% y una especificidad de 78%.

Se observó que la fracción de engrosamiento medida por USG mayor o igual al 30% tuvo éxito en predecir los resultados del destete. Además, se comparó con el índice de respiración rápida y superficial (RSBI) y se evidenció que es ligeramente mejor la DTF en cuanto a sensibilidad y especificidad.

Por último, en el gráfico 4, se observan los resultados de los valores obtenidos en los artículos mencionados anteriormente sobre la fracción de engrosamiento diafragmático, mayores al 30%, que se asociaron al éxito del weaning respiratorio. Por otra parte, en el gráfico 5 se plasman los resultados de la excursión diafragmática que se asoció al éxito del destete. Finalmente, en el gráfico 6 se exponen los datos obtenidos acerca del grosor diafragmático asociado al éxito de la retirada de la ventilación mecánica.

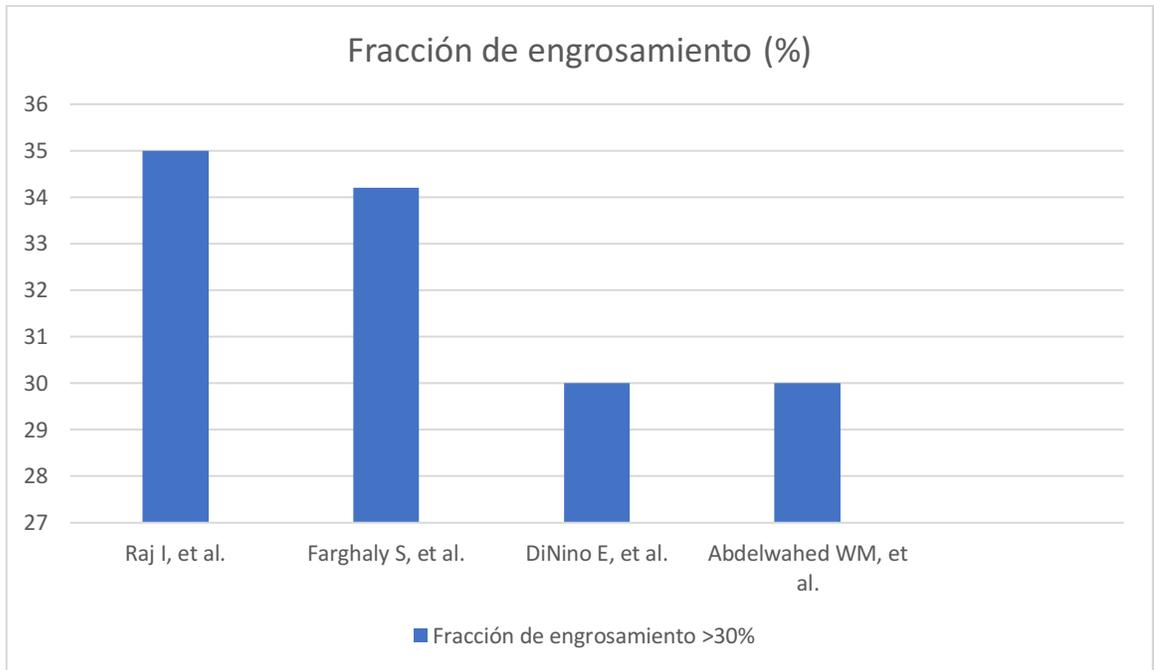


Gráfico 4 de análisis de resultados.

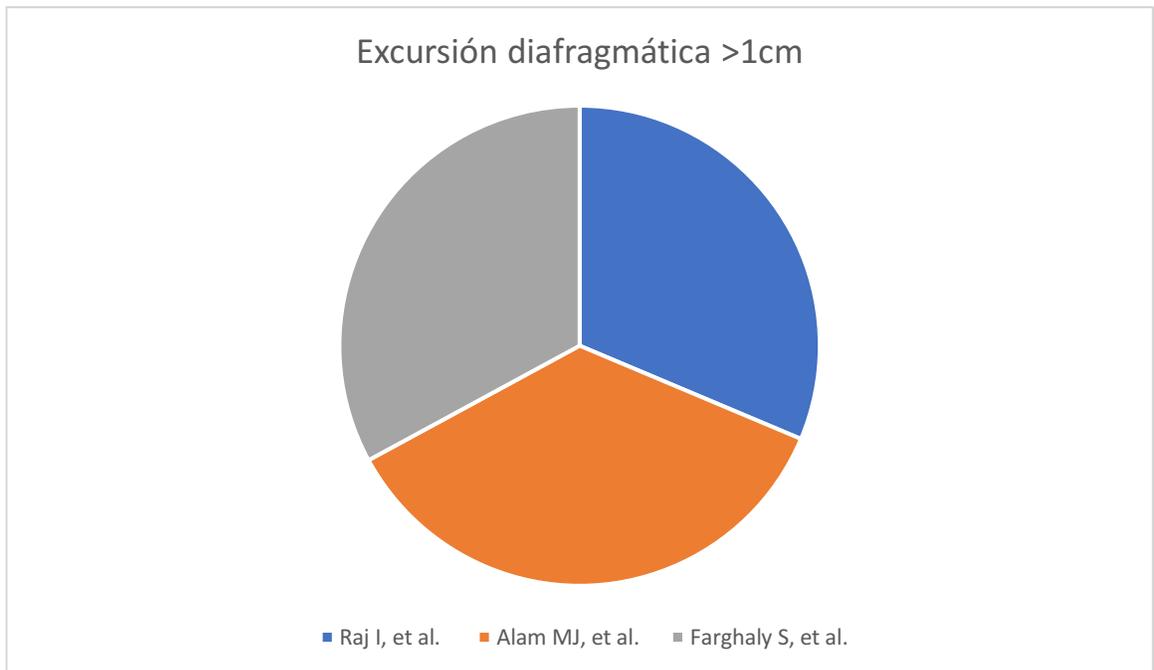


Gráfico 5 de análisis de resultados.

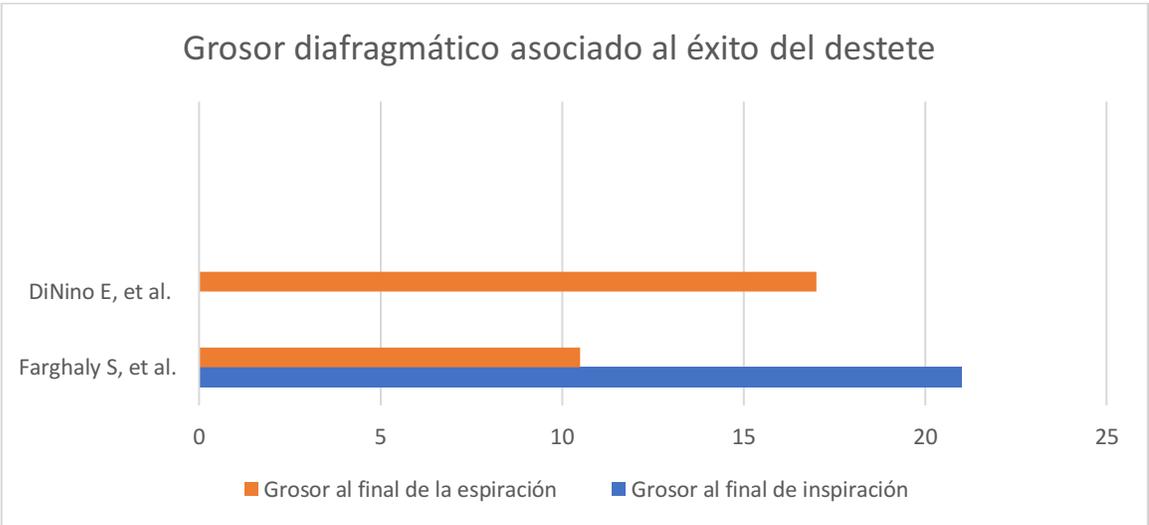


Gráfico 6 de análisis de resultados.

Tabla II: artículos recolectados sobre las principales alteraciones del diafragma en pacientes vinculados a VMI

Autor	Titulo y año	Objetivo	Diseño	Población	Intervención	Resultados
Lu Z, et al.	Diaphragmatic Dysfunction Is Characterized by Increased Duration of Mechanical Ventilation in Subjects With Prolonged Weaning. 2016.	Determinar la prevalencia de disfunción diafragmática diagnosticada mediante ecografía en modo B y determinar si los sujetos con destete prolongado con disfunción diafragmática tienen una mayor duración de la ventilación mecánica en comparación con aquellos sin disfunción diafragmática	Estudio observacional prospectivo	41 sujetos con ventilación mecánica que fallaron en ≥ 3 pruebas de respiración espontánea o requirieron >7 días de destete después de la primera prueba de respiración espontánea. Se dividieron en dos grupos. Disfunción diafragmática: n=14 y Disfunción no diafragmática: n=27	Se evaluó el espesor diafragmático y la fracción de engrosamiento mediante ecografía durante una prueba de respiración espontánea. Cada diafragma fue evaluado mediante ecografía subcostal en modo B.	La prevalencia de disfunción diafragmática (definida como una fracción de engrosamiento diafragmático $<20\%$ con inspiración) fue del 34,1%. Los sujetos con disfunción diafragmática tuvieron un tiempo de ventilación más largo y estancia en la UCI que los sujetos sin disfunción diafragmática. La disfunción diafragmática evaluada mediante ecografía en modo B es común en sujetos con destete prolongado.

El estudio observacional prospectivo de **Lu Z, et al.**⁽³⁰⁾ en el año 2016 se incluyeron 41 sujetos mayores de 18 años con ventilación mecánica prolongada entre agosto y noviembre de 2015. Se evaluó el diafragma mediante ecografía durante una prueba de respiración espontánea (PRE) con el objetivo de establecer la prevalencia de disfunción diafragmática. La PRE se realizó con presión soporte de 5 cm H₂O y un nivel de PEEP de 3 cm H₂O. Cada diafragma fue evaluado mediante ecografía subcostal en modo B y M, cuando se detectó disfunción de un solo hemidiafragma, los sujetos fueron excluidos del estudio. Las mediciones se realizaron con los pacientes acostados en posición semi-reclinada (45°). Se tomaron dos imágenes al final de la espiración y dos en el punto máximo de la inspiración. Las medidas para cada posición se promediaron para obtener un valor del espesor diafragmático al final de la espiración y de la inspiración, para posteriormente, calcular la fracción de engrosamiento. Se definió a la disfunción diafragmática como una fracción de engrosamiento diafragmático menor al 20% durante la respiración corriente. Se clasificaron según los hallazgos ecográficos en un grupo de disfunción diafragmática y otro sin disfunción diafragmática.

En cuanto a los resultados de este estudio, se encontró que la prevalencia de la disfunción diafragmática fue del 34,1% (14 sujetos). Por otra parte, el espesor del diafragma en inspiración máxima fue significativamente mayor en el grupo sin disfunción diafragmática que en el grupo con disfunción diafragmática (2,90 mm vs 2,30 mm, p= 0,03). Además, se registró el tiempo que estuvieron vinculados a ventilación mecánica cada grupo y se observó que fue un tiempo significativamente más largo en el grupo de disfunción diafragmática (293,36h vs 145,11h, p=0,02). Esta investigación concluye que la disfunción diafragmática diagnosticada mediante ultrasonografía es común en sujetos con destete prolongado.

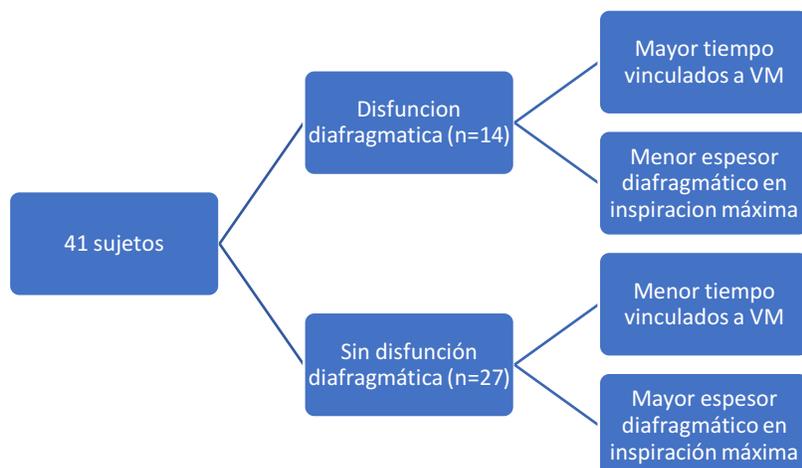


Gráfico 1 de análisis de resultados del estudio de Lu Z, et al.⁽³⁰⁾

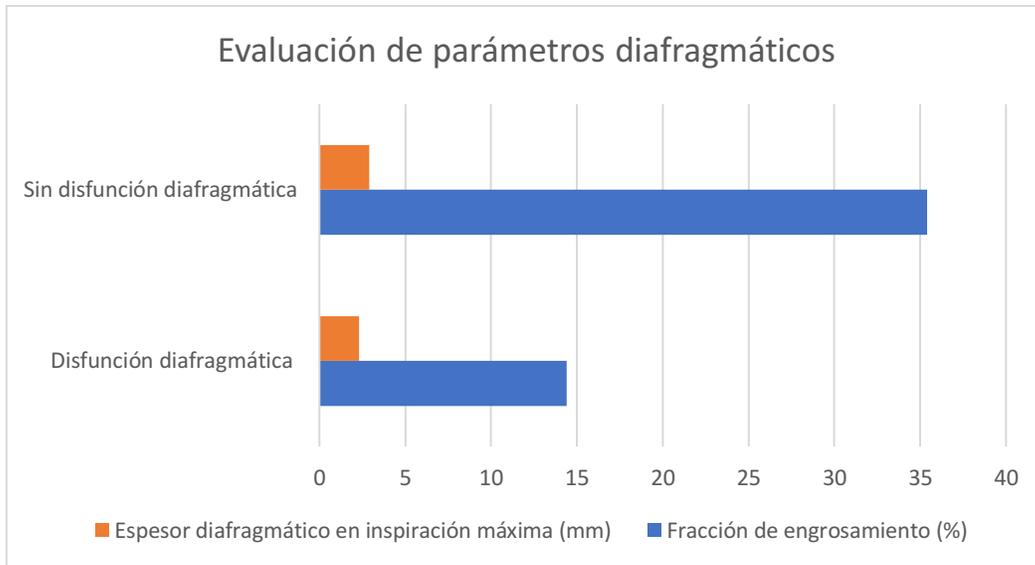


Gráfico 2 de análisis de resultados del estudio de Lu Z, et al. ⁽³⁰⁾

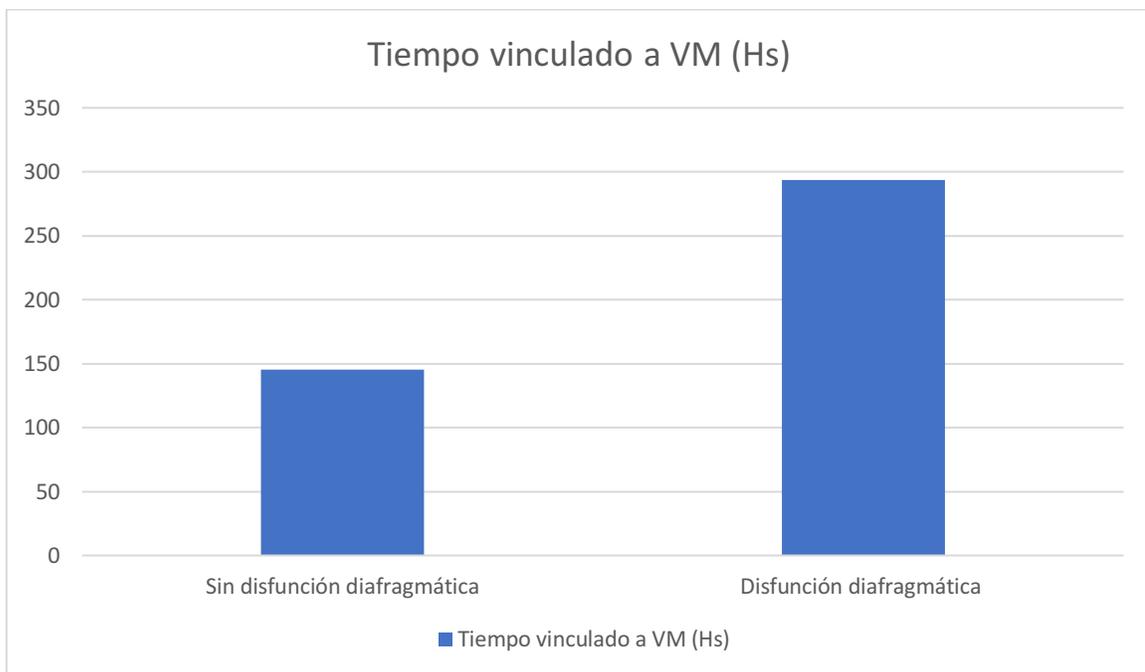


Gráfico 3 de análisis de resultados del estudio de Lu Z, et al. ⁽³⁰⁾

Tabla III: artículos recolectados sobre USG en asincronías paciente-ventilador

Autor	Título y año	Objetivo	Diseño	Población	Intervención	Resultados
Soilemezi E, et al.	Understanding Patient-Ventilator Asynchrony Using Diaphragmatic Ultrasonography. 2019.	Evaluar las asincronías paciente-ventilador mediante presión esofágica, la cual se considera el estándar de oro, y observar si hay una concordancia con la medición del desplazamiento diafragmático en modo M para la correcta identificación.	Estudio observacional de medios diagnósticos	3 sujetos	Se realizaron registros simultáneos del desplazamiento diafragmático y la presión de las vías respiratorias para estudiar la asincronía paciente-ventilador.	-

Por último, el estudio propuesto por **Soilemezi E, et al.** ⁽³¹⁾ en 2019, tuvo como propósito evaluar las asincronías paciente-ventilador mediante presión esofágica, la cual se considera el estándar de oro, y observar si hay una concordancia con la medición del desplazamiento diafragmático en modo M para la correcta identificación. Lo que se realizó en este estudio fue la descripción de tres casos en los que se utilizaron registros simultáneos del desplazamiento diafragmático y la presión esofágica para estudiar la asincronía p-v.

Describen 3 casos de asincronías que se representan en el desplazamiento diafragmático y la presión de las vías aéreas.

- Doble activación, se indicó el esfuerzo inspiratorio extendiéndose más allá del Ti, por lo que el ventilador administra dos respiraciones para un solo esfuerzo

- Esfuerzos ineficaces, describen desplazamientos pequeños diafragmáticos pequeños y grandes, cuando estos tienen gran desplazamiento se debe a un gatillo efectivo y una buena insuflación mecánica (registrado en la Paw), cuando son pequeños los desplazamientos corresponden a la distorsión de la Paw. Evidencian que bajando la PS A 8 todos los esfuerzos logran activar el ventilador, y la FR observada en la Paw es igual al desplazamiento del diafragma.

- Activación inversa, hay dos partes distintas en la señal de desplazamiento inspiratorio, se reconoce que la insuflación mecánica induce el desplazamiento pasivo inicial de la excursión diafragmática, mientras que un mayor desplazamiento indica activación diafragmática provocada por la respiración obligatoria anterior.

VIII. DISCUSIÓN.

La actual revisión bibliográfica tuvo como objetivo general determinar los predictores de éxito en weaning respiratorio, mediante la evaluación ultrasonográfica del diafragma en el paciente con requerimiento de asistencia respiratoria mecánica invasiva. De 1326 artículos que se obtuvieron mediante la búsqueda realizada en las diferentes bases científicas, solo 9 artículos fueron seleccionados para esta revisión (**Theerawit P, et al.** ⁽²³⁾, **Raj I, et al.** ⁽²⁴⁾, **Varón-Vega F, et al.** ⁽²⁵⁾, **Alam MJ, et al.** ⁽²⁶⁾, **Farghaly S, et al.** ⁽²⁷⁾, **DiNino E, et al.** ⁽²⁸⁾, **Abdelwahed WM, et al.** ⁽²⁹⁾, **Lu Z, et al.** ⁽³⁰⁾, **Soilemezi E, et al.** ⁽³¹⁾).

En cuanto a los predictores de éxito de weaning respiratorio, 7 de los artículos seleccionados (**Theerawit P, et al.** ⁽²³⁾, **Raj I, et al.** ⁽²⁴⁾, **Varón-Vega F, et al.** ⁽²⁵⁾, **Alam MJ, et al.** ⁽²⁶⁾, **Farghaly S, et al.** ⁽²⁷⁾, **DiNino E, et al.** ⁽²⁸⁾, **Abdelwahed WM, et al.** ⁽²⁹⁾) buscan dilucidar cuáles son los principales. Por un lado, se encontró como uno de los principales predictores de éxito la *fracción de engrosamiento diafragmático (DTF)* en los 7 artículos nombrados anteriormente. Por otra parte, se evidenció como otro predictor a la *excursión diafragmática (DE)* en los estudios de **Theerawit P, et al.** ⁽²³⁾, **Raj I, et al.** ⁽²⁴⁾, **Varón-Vega F, et al.** ⁽²⁵⁾, **Alam MJ, et al.** ⁽²⁶⁾, **Farghaly S, et al.** ⁽²⁷⁾. Además de estos se encontró el *grosor diafragmático* en los artículos propuestos por **Theerawit P, et al.** ⁽²³⁾, **Farghaly S, et al.** ⁽²⁷⁾, **DiNino E, et al.** ⁽²⁸⁾, **Abdelwahed WM, et al.** ⁽²⁹⁾. Por último, **Theerawit P, et al.** ⁽²³⁾ y **Varón-Vega F, et al.** ⁽²⁵⁾ estudiaron *el tiempo hasta la amplitud máxima de inspiración* y únicamente **Varón-Vega F, et al.** ⁽²⁵⁾ *la velocidad de contracción del diafragma*.

En relación al primer objetivo específico, el cual consistió en determinar cuáles son los valores de la excursión diafragmática y del grosor del diafragma que se asocian al éxito del destete respiratorio, se evidenció que, en cuanto a la excursión diafragmática, valores mayores o iguales a 1cm se asocian al éxito de la retirada del ventilador mecánico. En cuanto a esta temática, **Raj I, et al.** ⁽²⁴⁾ en su estudio incluyeron pacientes mayores de 18 años con requerimiento de ventilación mecánica invasiva, las mediciones se realizaron inmediatamente antes de someter al paciente a PSV y la segunda antes de extubar al paciente, en posición de semidecubito (cabecera a 30°). En este trabajo valores mayores a 1cm se asociaron al éxito. Por su parte **Alam MJ, et al.** ⁽²⁶⁾ incluyeron en su investigación a pacientes intubados que estaban ya programados para ser extubados. Las mediciones se realizaron al comienzo de los 30 minutos de prueba de tubo en T y a los 10 minutos con los pacientes en posición semi-inclinada y la cama elevada entre 20° y 40°. En cuanto a los resultados, la excursión diafragmática fue el único parámetro que tuvo una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de éxito versus el grupo de fracaso en el destete, con un valor de corte de 1,14cm. Este valor presentó una sensibilidad de 77,8% y una especificidad de 84,6%. **Farghaly S, et al.** ⁽²⁷⁾ estudió pacientes que superaron con éxito la PRE, en los cuales se midió la excursión diafragmática al menos 3 veces y se tomó el promedio y llegó a la conclusión que un valor de excursión diafragmática mayor o igual a 1,05cm se asoció con una extubación exitosa con una sensibilidad del 87,5% y especificidad del 86,6%. El estudio de **Theerawit P, et al.** ⁽²³⁾ también evaluó este parámetro, pero, a diferencia de los

nombrados anteriormente no se asoció al éxito del destete, ya que los valores de esta medición no tuvieron diferencia estadísticamente significativa entre los grupos de estudio.

Estos resultados nos obligan a incluir la medición de la excursión diafragmática en la evaluación del paciente previa a la desvinculación del mismo de la VMI. Únicamente en el estudio de **Theerawit P, et al.** ⁽²³⁾ no se asoció esta variable al éxito del destete, y posiblemente se deba a que las mediciones se realizaron únicamente al final de la prueba de respiración espontánea y no así antes de la extubación.

En base al grosor del diafragma, **Farghaly S, et al.** ⁽²⁷⁾ concluyeron que valores de grosor diafragmático a final de inspiración ≥ 21 mm y de espiración $\geq 10,5$ mm se relacionaron con el éxito del destete de la ventilación mecánica invasiva. Por su parte, **DiNino E, et al.** ⁽²⁸⁾ encontraron valores de grosor diafragmático a final de espiración ≥ 17 mm, pero no informaron los que corresponden al grosor al final de la inspiración. En los artículos publicados por **Theerawit P, et al.** ⁽²³⁾ y **Abdelwahed WM, et al.** ⁽²⁹⁾ si bien describen que se midieron estos parámetros, no se informaron los datos obtenidos. En cuanto a esta variable, se deberían realizar mayores estudios, ya que únicamente se encontraron 4 artículos que describan la misma, y de esos, dos no expusieron los datos que se obtuvieron. Además de eso, solamente un estudio evaluó el grosor diafragmático a fin de inspiración, por lo que se requiere mayor investigación al respecto.

De acuerdo a la fracción de engrosamiento diafragmático (DTF), **Raj I, et al.** ⁽²⁴⁾ midieron este parámetro dos veces, la primera antes de colocar al paciente en la PRE con presión soporte y la segunda medición, se realizó antes de la extubación. En ambas ocasiones se tomaron tres mediciones y se calculó el promedio. De 41 sujetos que se incluyeron en el estudio 37 fueron extubados con éxito con valores de DTF superiores a los normales. En este artículo se toma como punto de corte una DTF $>35\%$ para predecir el éxito de la retirada de la VMI. Por su parte, **Farghaly S, et al.** ⁽²⁷⁾ evaluaron la DTF durante la respiración tranquila en 54 pacientes. Este parámetro diafragmático tuvo una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de destete exitoso y el grupo de destete fallido, con un valor de corte de $\geq 34,2\%$, relacionándose también con los valores arrojados en el estudio de **Raj I, et al.** ⁽²⁴⁾ Otro de los autores que evaluó la fracción de engrosamiento diafragmático es **DiNino E, et al.** ⁽²⁸⁾ que incluyó en su investigación a 63 pacientes listos para someterse a una prueba de destete de bajo nivel de presión soporte o una prueba de respiración espontánea (PRE). Se registraron

los valores de la fracción de engrosamiento diafragmático de cada paciente, se tomó la media de 3 a 5 respiraciones. Las mediciones se realizaron dentro de los primeros cinco minutos de la prueba de destete de bajo nivel de presión soporte o de la prueba de respiración espontánea. Como resultado de los valores registrados se obtuvo que de los 49 pacientes que fueron extubados con éxito, 43 tuvieron una fracción de engrosamiento $\geq 30\%$, y se sostiene que este parámetro se puede utilizar como predictor de éxito del destete, con una sensibilidad de 88% y una especificidad de 71%. Una limitación de este estudio es que las mediciones no fueron realizadas inmediatamente antes de la extubación y debido a ello es posible que algunos pacientes con una fracción de engrosamiento $< 30\%$ 12 a 36 hs antes de la extubación, y fueron extubados con éxito, hayan tenido un valor $\geq 30\%$ inmediatamente antes del destete. Por su parte, **Abdelwahed WM, et al.** ⁽²⁹⁾ registró la DTF en 65 pacientes mayores de 18 años, los cuales se dividieron en un grupo de destete exitoso: $n=51$ y un grupo de destete fallido: $n=14$. Las mediciones se realizaron en posición semi-recostada (cabecera de la cama entre 30 y 45°) y la DTF representó la media de tres respiraciones. Los registros se realizaron en los primeros cinco a diez minutos de la prueba de respiración espontánea usando una pieza en T. En este estudio se llegó a la conclusión que una DTF mayor o igual a 30% es indicador de éxito para predecir el weaning, con una sensibilidad de 94% y una especificidad de 78% .

En base a los datos obtenidos, la fracción de engrosamiento diafragmático es el parámetro con mayor evidencia ya que en cuatro de los siete artículos se observa una asociación con el éxito del destete. Esto nos hace pensar que debería ser indispensable incluir esta medición a los parámetros estándar para la desvinculación de los pacientes en ventilación mecánica.

En las investigaciones propuestas por **Theerawit P, et al.** ⁽²³⁾, **Varón-Vega F, et al.** ⁽²⁵⁾, y **Alam MJ, et al.** ⁽²⁶⁾ no se asoció el éxito del destete a la fracción de engrosamiento diafragmático. Sin embargo, presentaron otras variables que se relacionaron con el éxito del weaning, como lo son el tiempo hasta la amplitud inspiratoria máxima del diafragma (TPIA) (**Theerawit P, et al.** ⁽²³⁾) y la velocidad de contracción del diafragma (**Varón-Vega F, et al.** ⁽²⁵⁾).

Theerawit P, et al. ⁽²³⁾ en su artículo incluyó a pacientes adultos mayores de 18 años, que se dividieron en dos grupos, destete exitoso: $n=52$ y destete fallido: $n=11$. En este estudio se evaluó el tiempo hasta la amplitud inspiratoria máxima del diafragma (TPIA), entre otras variables. Las mediciones se realizaron en decúbito supino y en modo M.

En cuanto a los resultados de esta investigación, se obtuvo que el TPIA fue significativamente mayor en el grupo de éxito del destete que en el de fracaso. Se concluye que un TPIA $>0,8s$ con una sensibilidad de 92,2% y una especificidad de 45,5%.

Por otro lado, **Varón-Vega F, et al.**⁽²⁵⁾ estudiaron pacientes mayores de 18 años con ventilación mecánica invasiva durante más de 48hs. Del total de los sujetos estudiados, el 79,8% (n=67) logró una extubación exitosa y el 20,2% (n=17) una extubación fallida. Como se mencionó anteriormente, se registraron los valores de la velocidad de contracción del diafragma, entre otros parámetros diafragmáticos. Esta variable se asoció al éxito del destete con un punto de corte de 2,90 cm/s con una sensibilidad del 46,27% y una especificidad de 88,24%. Si bien este estudio concluye que la velocidad de contracción del diafragma se puede utilizar como predictor de éxito aislado, como limitación presenta una baja sensibilidad que podría generar mayor cantidad de falsos negativos.

Si bien el tiempo hasta la amplitud inspiratoria máxima del diafragma y la velocidad de contracción del diafragma en los estudios de **Theerawit P, et al.**⁽²³⁾ y **Varón-Vega F, et al.**⁽²⁵⁾ se asociaron al éxito del weaning, se debe seguir investigando acerca de estos parámetros, ya que solamente un artículo los respalda, y no es evidencia suficiente para poder extrapolar estos datos a toda la población y tomarlo como un parámetro a la hora de la evaluación de estos pacientes.

En el segundo objetivo específico de esta investigación, que consistió en definir cuáles son las principales alteraciones en el músculo diafragma en los pacientes vinculados a VMI, solo el trabajo presentado por **Lu Z, et al.**⁽³⁰⁾ responde a este objetivo. Se incluyeron sujetos en ventilación mecánica que fallaron en 3 o más pruebas de respiración espontánea o requirieron >7 días de destete después de la primera prueba de respiración espontánea. Se dividieron en dos grupos. Disfunción diafragmática: n=14 y Disfunción no diafragmática: n=27. Se evaluó la fracción de engrosamiento diafragmático durante la prueba de respiración espontánea de todos los sujetos, en posición semi-reclinada (45°), y se definió como disfunción diafragmática a todos aquellos que tengan valores por debajo del 20%. Como la principal alteración se encontró a la disfunción diafragmática que estuvo presente en el 34,1% (14 sujetos). Además de esto, también se constató que el grupo de disfunción diafragmática presentó menor espesor del diafragma al fin de inspiración, 2,30mm versus 2,90mm del grupo no disfunción diafragmática.

En cuanto a lo expresado en base al segundo objetivo específico, para poder asociar las principales alteraciones del diafragma a todos los pacientes que se vinculen a ventilación mecánica invasiva hace falta mayor investigación, debido a que solamente un artículo no es suficiente para poder generalizar estos datos obtenidos.

Por último, el objetivo específico restante de esta revisión bibliográfica fue establecer el rol de la ultrasonografía diafragmática para detectar asincronías paciente-ventilador, en cuanto a esto, el único trabajo relevante encontrado en las búsqueda fue el de **Soilemezi E, et al.** ⁽³¹⁾ En este artículo se describieron tres tipos diferentes de asincronías: doble activación, esfuerzo ineficaz y activación inversa. Se las evaluó mediante la medición de la presión esofágica y simultáneamente con USG. Este artículo tiene grandes limitaciones, ya que solo estudió tres tipos de asincronías y hoy en día, se han demostrado muchas más, como ya se describen en el apartado del Marco Teórico. Además, este artículo no presenta resultados, discusión y tampoco conclusión. Por otra parte, las asincronías se evaluaron únicamente en tres pacientes, por lo que la muestra es demasiado pequeña y lo que se pudo apreciar en la investigación no es extrapolable a toda la población.

IX. CONCLUSIÓN.

En base a los datos recolectados en esta investigación, se concluyó que la fracción de engrosamiento diafragmático con un valor $\geq 30\%$ es el principal predictor de éxito en weaning respiratorio. Además de este parámetro, se puede considerar como predictores de éxito a la excursión diafragmática, grosor diafragmático, tiempo hasta la amplitud máxima de inspiración y la velocidad de contracción del diafragma.

En relación a los valores de excursión y grosor diafragmático se ha concluido que valores ≥ 1 cm de excursión diafragmática se asociaron al éxito del destete respiratorio. En cuanto al grosor diafragmático, valores a final de inspiración ≥ 21 mm y de espiración $\geq 10,5$ mm predijeron el éxito de la retirada de la ventilación mecánica.

El tiempo hasta la amplitud máxima de inspiración $> 0,8$ s y la velocidad de contracción del diafragma $> 2,90$ cm/s también se relacionaron con el éxito del weaning respiratorio, aunque únicamente dos trabajos expusieron estas variables, por este motivo se cree que hace falta mayor investigación acerca de estos parámetros diafragmáticos.

Si bien se pudieron evidenciar los predictores de éxito en weaning respiratorio, se debería seguir investigando acerca de estos parámetros, debido a la pequeña cantidad de artículos publicados y a su bajo tamaño muestral.

Por otra parte, las principales alteraciones que se encontraron en el músculo diafragma son la disfunción diafragmática y la pérdida de espesor del diafragma a fin de inspiración. Sin embargo, acerca de esta temática se debe continuar estudiando ya que hay escasas de publicaciones sobre esta problemática.

En cuanto a las asincronías paciente-ventilador y su detección mediante la USG, se determinó que hace falta mayor cantidad de estudios para detallar correctamente su utilidad, debido a que en este trabajo únicamente se encontró un artículo acerca de este tema, el cual es inconsistente y presenta una muy baja muestra.

Se llegó a la conclusión que la ultrasonografía diafragmática tiene una gran utilidad en cuanto a la evaluación de los pacientes vinculados a ventilación mecánica invasiva. Entendiendo que los Kinesiólogos tienen gran responsabilidad y un rol muy importante a la hora de la desvinculación de la VMI, este método es una herramienta de ayuda para poder predecir el destete exitoso y evitar la falla en la extubación, lo que resultaría en un menor tiempo de conexión a la ventilación mecánica invasiva y así poder disminuir la estadía hospitalaria de estos pacientes.

Además, es un estudio complementario que es de fácil acceso en los hospitales, y de bajo costo. Se cree que se debería implementar en todas las unidades de cuidados intensivos la medición de los parámetros diafragmáticos mencionados anteriormente, realizada por kinesiólogos capacitados, como parte de la evaluación previa al weaning de los pacientes, ya que han demostrado predecir el éxito del destete y esto se relacionaría con menor riesgo de reintubación del paciente y por ende menores complicaciones asociadas a la VM y menor morbimortalidad.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Chiappero GR, Ríos F, Setten M. Ventilación Mecánica. Tercera ed. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana; 2017. p.18-21.
2. Kacmarek RM, Stoller JK, Heuer AJ. EGAN'S Fundamentals of Respiratory Cares. Undécima ed.: Elsevier; 2017. p.1079-1086.
3. SATI. Terapia Intensiva. Quinta ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2015. p.303-311.
4. Jorge VV, Ramón PU, Máximo EC, José LMA, Raquel RV, R. PC. Disfunción diafragmática inducida por ventilación mecánica. Revista chilena de pediatría. 2014 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 85(4): p. 491-498. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062014000400014>.
5. Sassoon CSH, Foster GT. Patient-ventilator asynchrony. Curr Opin Crit Care. 2001 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 7(1): p. 28-33. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11373508/>
6. Soni NJ, Arntfield R, Kory P. Ecografía a Pie de Cama: Fundamentos de la Ecografía Clínica. Segunda ed.: Elsevier; 2020.
7. Matamis D, Soilemezi E, Tsgourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, Boroli F, et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Intensive Care Med. 2013 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 39: p. 801-810. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1007/s00134-013-2823-1>
8. Murias G, Lucangelo U, Lluís B. Patient-ventilator asynchrony. Current Opinion in Critical Care. 2016 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 22(1). Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1097/MCC.0000000000000270>
9. Esper RC, Santana JAC. Asincronía en la ventilación mecánica. Conceptos actuales. Revista de la asociación mexicana de medicina crítica y terapia intensiva. 2016 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 30(1). Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-84332016000100008
10. Núñez Silveira JM, Gallardo A, García-Valdés P, Ríos F, Rodríguez P, Damiani F. Trigger reverso durante ventilación mecánica: diagnóstico e implicaciones clínicas. Medicina Intensiva. 2023 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 47(11). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.medin.2023.09.004>
11. Valenzuela J, Pinochet R, Escobar M, Márquez JL, Riquelme R, Cruces P. Disfunción diafragmática inducida por ventilación mecánica. Revista chilena de pediatría. 2014

[citado el 8 de Marzo de 2024]; 85(4). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062014000400014>

12. Dot I, Pérez-Teran P, Samper MA, Masclans JR. Disfunción diafragmática: una realidad en el paciente ventilado mecánicamente. Archivos de Bronconeumología. 2017 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 53(3). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arbres.2016.07.008>
13. Ricoy J, N RN, Álvarez Dobaño J, Toubes M, Riveiro V, Valdés I. Diaphragmatic dysfunction. Pulmonology. 2019 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 25(4). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pulmoe.2018.10.008>.
14. Estenssoro E. Terapia intensiva. Quinta ed. Buenos Aires: Médica panamericana; 2015. p.818-821.
15. Farreras P. Medicina Interna. Decimonovena ed. España: Elsevier; 2020. p.718-721.
16. Béduneau G, Pham T, Schortgen F, Piquilloud LZE, Jonas M, Grelon F, et al. Epidemiology of Weaning Outcome according to a New Definition. The WIND Study. Am J Respir Crit Care Med. 2017 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 195(6). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.201602-0320OC>.
17. Boles J, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. European Respiratory Journal. 2007 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 29(5). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1183/09031936.00010206>
18. Esper RC, Talamantes JG. Evaluación ultrasonográfica del diafragma en el enfermo grave. Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int. 2014 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 28(3): p. 187-194. Disponible en: <https://www.mediagraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=51581>
19. Karthika M, Wong D, Nair S, Pillai L, Mathew CS. Lung Ultrasound: The Emerging Role of Respiratory Therapists. Respir Care. 2019 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 64(2). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4187/respcare.06179>
20. Vieira Santana P, Zumpano Cardenas L, Pereira de Albuquerque AL, Ribeiro de Carvalho CR, Caruso P. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. J Bras Pneumol. 2020 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 46(6). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.36416/1806-3756/e20200064>
21. Esper RC, Calatayud AAP, Pérez CAP. Evaluación ultrasonográfica de la función diafragmática mediante doble abordaje en el paciente grave. Rev Asoc Mex Med Crit Ter Int. 2016 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 30(4): p. 242-245. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-84332016000400242&lng=es&nrm=iso

22. Laghi F, Saad M, Shaikh H. Ultrasound and non-ultrasound imaging techniques in the assessment of diaphragmatic dysfunction. *BMC Pulm Med*. 2021 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 21(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s12890-021-01441-6>
23. Theerawit P, Eksombatchai D, Sutherasan Y, Suwatanapongched T, Kiatboonsri C, Kiatboonsri S. Diaphragmatic parameters by ultrasonography for predicting weaning outcomes. *BMC Pulm Med*. 2018 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 18(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s12890-018-0739-9>
24. Raj I, Kumar Nagaiah S. Ultrasonography of Diaphragm to Predict Extubation Outcome. *Cureus*. 2023 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 15(3). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.7759/cureus.36514>
25. Varón Vega F, Hernández A, López M, Cáceres E, Giraldo Cadavid L, Crevoisier S. Utilidad de la ecografía diafragmática para predecir el éxito en la extubación. *Medicina Intensiva*. 2021 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 45(4). Disponible en: <http://dx.doi.org/0.1016/j.medin.2019.10.007>
26. Alam MJ, Roy S, Iktidar MA, Padma FK, Nipun KI, Chowdhury S, et al. Diaphragm ultrasound as a better predictor of successful extubation from mechanical ventilation than rapid shallow breathing index. *Acute Crit Care*. 2022 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 37(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4266/acc.2021.01354>
27. Farghaly S, Hasan A. Diaphragm ultrasound as a new method to predict extubation outcome in mechanically ventilated patients. *Australian Critical Care*. 2017 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 30(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aucc.2016.03.004>
28. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 69(5). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-204111>
29. Abdelwahed WM, Abd Elghafar MS, Amr YM, Alsherif SEdl, Eltomey MA. Prospective study: Diaphragmatic thickness as a predictor index for weaning from mechanical ventilation. *Journal of Critical Care*. 2019 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 52. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrc.2019.03.006>
30. Lu Z, Xu Q, Yuan Y, Zhang G, Guo F, Ge H. Diaphragmatic Dysfunction Is Characterized by Increased Duration of Mechanical Ventilation in Subjects With Prolonged Weaning. *Respir Care*. 2016 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 61(10). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4187/respcare.04746>
31. Soilemezi E, Vasileiou M, Spyridonidou C, Tsagourias M, Matamis D. Understanding Patient-Ventilator Asynchrony Using Diaphragmatic Ultrasonography. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2019 [citado el 8 de Marzo de 2024]; 200(4). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.201901-0054IM>