



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
HOSPITAL GENERAL DE MÉXICO  
“DR. EDUARDO LICEAGA”**



**ULTRASONIDO DIAFRAGMÁTICO COMO PREDICTOR DE RETIRO DE LA  
VENTILACION MECANICA COMPARADO CON EL INDICE DE TOBIN**

**TESIS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN MEDICINA CRITICA

**PRESENTA.**

**DRA. ROSSIO EVELIN CARLO MORALES  
MÉDICO RESIDENTE DE SEGUNDO AÑO DE MEDICINA CRITICA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. ALFONSO CHAVEZ MORALES**

**JEFE DE SERVICIO DE TERAPIA INTENSIVA CENTRAL**

**DR. ALFONSO CHAVEZ MORALES**

**CIUDAD DE MÉXICO, AGOSTO 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

HOSPITAL GENERAL DE MÉXICO  
"DR. EDUARDO LICEAGA"  
CIUDAD DE MÉXICO

-----  
Dr. Alfonso Chavez Morales  
Jefe de Servicio de Terapia intensiva Central y Profesor Titular

-----  
Dr. Alfonso Chavez Morales  
Director de Tesis

-----  
Dr. Juan Pedro Chavez Perez  
Cotutores

-----  
Dra. Rossio Evelin Carlo Morales  
Residente de 2do año Medicina Crítica

-----  
Este trabajo fue realizado en el área de hospitalización del Servicio de Terapia Intensiva Central, con la supervisión del **Dr. Alfonso Chavez Morales.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis querido padres, ejemplo de vida y de amor para sus hijos.

## INDICE GENERAL

### RESUMEN

1. ANTECEDENTES .....	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3. JUSTIFICACIÓN .....	7
4. HIPÓTESIS .....	8
5. OBJETIVOS .....	8
5.1. OBJETIVO GENERAL .....	8
5.2. OBJETIVO ESPECÍFICO .....	8
6. METODOLOGÍA.....	8
6.1. TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO .....	8
6.2. POBLACIÓN.....	9
6.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA: .....	9
6.4. CRITERIOS DE INCLUSIÓN, EXCLUSIÓN Y ELIMINACIÓN .....	9
6.4.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN .....	9
6.4.2. CRITERIO DE EXCLUSIÓN .....	10
6.4.3. CRITERIOS DE ELIMINACIÓN .....	10
6.5. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES .....	10
6.6. PROCEDIMIENTO .....	12
6.7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	15
6.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	15
7. ASPECTOS ÉTICOS Y DE BIOSEGURIDAD.....	15
8. RELEVANCIA Y EXPECTATIVAS .....	15
9. RECURSOS DISPONIBLES (HUMANOS, MATERIALES Y FINANCIEROS) .....	15
10. RECURSOS NECESARIOS .....	16
11. DESARROLLO DEL PROYECTO .....	17
12. ANATOMIA DEL DIAFRAGMA .....	17
13. DISFUNCION DIAFRAGMATICA EN VENTILACION MECANICA.....	21
14. INTRODUCCIÓN .....	21

15.	ULTRASONIDO DIAFRAGMATICO .....	29
16.	RESULTADOS.....	33
16.1.	INTERPRETACIÓN.....	36
17.	REFERENCIAS .....	37
18.	ANEXOS .....	38

## RESUMEN

El uso de ultrasonografía (USG) es práctica cotidiana en las unidades de cuidados intensivos (ICU), es de gran utilidad para evaluar la anatomía y cinética diafragmática; es un método simple, no invasivo, y a la cabecera del enfermo en estado crítico que evalúa los movimientos diafragmáticos normales y sus principales alteraciones en el enfermo crítico, permite visualizar la anatomía y funcionalidad del diafragma mediante la medición de estos dos parámetros; la excursión y fracción de engrosamiento diafragmático. Estos patrones proporcionan información en el abordaje de diferentes escenarios como en la sincronización paciente-ventilador y el retiro de la ventilación mecánica. El objetivo de este trabajo es el uso del ultrasonido del diafragma para tomar mediciones que son la excursión diafragmática y fracción de engrosamiento diafragmático, como método para predecir un retiro de la ventilación mecánica, la aplicación de esta técnica en el enfermo crítico es no invasiva, costo-efectiva, segura, fácil de realizar a la cabecera del paciente, superando muchas de las limitaciones técnicas de procedimientos de imágenes convencionales.

Metodología: estudio observacional, longitudinal, descriptivo, se realizará 3 mediciones por ultrasonido diafragmático; determinación de la excursión diafragmática, fracción de engrosamiento diafragmático, 30 minutos antes de la prueba de ventilación espontánea, además del índice de Tobin, durante la prueba de ventilación espontánea, y posterior al retiro de la ventilación mecánica, diagnosticando de manera temprana y oportuna disfunción diafragmática y determinar el momento ideal para retiro de ventilación mecánica exitosa y valorar la eficacia de este predictor comparado con el índice de Tobin.

**Palabras clave: Diafragma, ultrasonido, disfunción, retiro de la ventilación.**

## 1. ANTECEDENTES

Decidir el momento óptimo para la extubación en pacientes en ventilación mecánica puede ser un desafío, y las herramientas tradicionales de predicción de destete no son muy precisas, en la literatura se mencionan varios trabajos, algunos de ellos los citaremos aquí:

*Llamas-Álvarez y col.* con diecinueve estudios y 1,071 personas incluidas, respecto a la excursión diafragmática, sensibilidad agrupada fue del 75% (IC 95%, 65-85); especificidad combinada, 75% (IC 95%, 60-85); y DOR, 10 (IC 95%, 4-24). Se llegó a la conclusión de que la ecografía del diafragma puede ayudar a predecir el resultado del destete.

*Ernest DiNino*, La sensibilidad y especificidad combinadas de fracción de engrosamiento diafragmático ( $\Delta tdi\%$ )  $\geq 30\%$  para el éxito de la extubación fue de 88% y 71%, respectivamente. El valor predictivo positivo y valor predictivo negativo fueron 91% y 63%, respectivamente. Como conclusión el engrosamiento en la zona de aposición puede ser útil para predecir el éxito o el fracaso de la extubación durante los ensayos de SB (respiración espontánea) o PS (presión soporte).

*Giovanni Ferrari y col.* observó una diferencia significativa entre el grosor del diafragma en TLC (capacidad pulmonar total) y RV (volumen residual) que sucedió en SBT (ensayo de respiración espontánea) y pacientes que fallaron. El engrosamiento del diafragma (DTF), fue significativamente diferente entre los pacientes que fracasaron y los pacientes que tuvieron éxito SBT (ensayo de respiración espontánea). Un valor de corte de un (engrosamiento del diafragma)  $DTF > 36\%$  se asoció con un SBT exitoso con una sensibilidad de 0,82, una especificidad de 0,88, un valor predictivo positivo (PPV) de 0,92 y un valor predictivo negativo (VAN) de 0,75 en comparación RSBI (índice de respiración superficial o índice de Tobin)  $< 105$  tuvo una sensibilidad de 0,93, una especificidad de 0,88, un VPP (valor predictivo positivo) de 0,93 y un VAN (valor predictivo negativo) de 0,88 para determinar el éxito de SBT (ensayo de respiración espontánea). Conclusiones: este estudio muestra que, en nuestra cohorte de pacientes, la evaluación de la DTF por ultrasonido de diafragma puede realizarse de manera similar a otros índices de destete.

*Baess y col.* De los 30 pacientes incluidos en el estudio, hubo una diferencia significativa entre la media inspiratoria, y espesor diafragmático espiratorio (TDI) (p 0,001). TDI final inspiratorio, espiratorio final TDI, delta TDI, DD (desplazamiento del diafragma) y El índice de respiración rápida-superficial (RSBI). Conclusión La TDI medida ecográficamente fue mejor que el desplazamiento en el valor de predicción para el resultado del destete.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El retiro de la ventilación mecánica en las unidades de cuidados intensivos ocupa un 40% del tiempo total de un paciente con ventilación mecánica, y si este se prolonga representa varias complicaciones y uso de recursos económicos, como toma de gasometrías, uso de capnografía, etc, por lo que el uso del de ultrasonido diafragmático puede ser un predictor de retiro exitoso de la ventilación mecánica siendo complementario a las demás pruebas de ventilación espontanea, y compararlo con el índice de Tobin.

## **3. JUSTIFICACIÓN**

La disfunción del músculo diafragma, por ventilación mecánica, es frecuente, y representa un porcentaje elevado de fracaso del retiro de la misma, en el paciente crítico, cuando el enfermo ha estado sometido a VM (ventilación mecánica) prolongada (mayor de 3 días). El uso de ventilación mecánica (VM) conduce a cambios celulares y debilidad, que se ha relacionado con dificultades de destete y se ha etiquetado como disfunción de diafragma inducida por ventilador (VIDD). Los factores agravantes en estudios humanos con destete prolongado incluyen malnutrición, anomalías crónicas de electrolitos, hiperglucemia, cargas excesivas de resistencia y elásticas, corticosteroides, exposición a relajantes musculares, sepsis y función cardíaca comprometida. Numerosos estudios en animales han investigado los efectos de ventilación mecánica (VM) en la función del diafragma. Casi todos estos estudios han concluido que el uso de ventilación mecánica (VM) conduce rápidamente a disfunción de diafragma inducida por ventilador (VIDD) y han identificado mecanismos moleculares de celularidad de disfunción de diafragma inducida por ventilador (VIDD). La ventilación mecánica (VM) es una modalidad de soporte vital que se utiliza en una proporción significativa de los enfermos de terapia intensiva. Determinar el tiempo adecuado para retiro de la ventilación mecánica (VM) exitosa, aun en la actualidad, continúa siendo un reto. Es por eso que sigue en investigación

de nuevos protocolos para el retiro de la ventilación, el ultrasonido diafragmático se propone como un nuevo predictor que ya se usa en varias unidades de cuidados intensivos en diferentes lugares, con una sensibilidad y especificidad altos, llegándose a comparar con el índice de respiración superficial (índice de Tobin) en varios estudios.

#### **4. HIPÓTESIS**

Las mediciones por ultrasonido del diafragma, excursión diafragmático mayor a 11mm y fracción de engrosamiento diafragmático mayor a 30%, será mayor en el grupo de pacientes retirados exitosamente de la ventilación mecánica, a diferencia del grupo que fracasen al retiro de la ventilación, estas mediciones demostraran su utilidad como predictor exitoso del retiro.

#### **5. OBJETIVOS**

##### **5.1.OBJETIVO GENERAL**

Determinar la presencia de disfunción diafragmática medida por ultrasonido en pacientes críticos bajo ventilación mecánica y su asociación en el éxito o fracaso del retiro de la ventilación mecánica, comparándola con un índice ya ampliamente utilizado (Tobin).

##### **5.2.OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Medir el grosor diafragmático al final de la inspiración y espiración por ultrasonido en pacientes bajo ventilación mecánica.
- Medir por ultrasonido el porcentaje de deslizamiento del diafragma en pacientes en pruebas de retiro de la ventilación mecánica.
- Analizar los efectos sobre el grado de excursión del músculo diafragma visto con ultrasonido.
- Comparar la eficacia del ultrasonido diafragmático como predictor de retiro de la ventilación mecánica vs índice de respiración superficial (Tobin).

#### **6. METODOLOGÍA**

##### **6.1.TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO**

Observacional, prospectivo, longitudinal y analítico.

## 6.2. POBLACIÓN

Se tomará en cuenta a todos los pacientes hospitalizados en la unidad de cuidados intensivos con ventilación mecánica mayor a 48 horas, en el periodo comprendido entre Julio del 2019 a Diciembre del 2019.

## 6.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA:

Se calculó mediante el programa G power para diferencias de medias de 2 muestras independientes a una cola con tamaño del efecto 0.7 con error alfa de 0.05 y poder 0.80 con lo cual se requieren 26 pacientes por grupo para completar la muestra.

## 6.4. CRITERIOS DE INCLUSIÓN, EXCLUSIÓN Y ELIMINACIÓN

### 6.4.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- ❖ Pacientes hospitalizados en la unidad de cuidados intensivos con más de 48 horas de ventilación mecánica.
- ❖ Todos los pacientes de la UCI que cumplieron con los criterios para iniciar el proceso de destete.

❖ Gasometría	❖ Frecuencia respiratoria	❖ Parámetros en la ventilación mecánica
❖ pO <sub>2</sub> >60mmhg ❖ pCO <sub>2</sub> <50mmhg ❖ FIO <sub>2</sub> <0.5 ❖ PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> >200 ❖ PEEP <5cmH <sub>2</sub> O	❖ <30-35 rpm	❖ Volumen corriente >5ml/kg ❖ Capacidad vital >10ml/kg ❖ P <sub>l</sub> max <15 o 30cmH <sub>2</sub> O ❖ Ve 6-10L/min ❖ TOBIN <105 ❖ PO.1 <2mcH <sub>2</sub> O

- ❖ Resuelta la causa que motivo la intubación.

#### 6.4.2. CRITERIO DE EXCLUSIÓN

- ❖ Pacientes menores de 18 años.
- ❖ Cualquier paciente con trastorno neuromuscular conocido.
- ❖ Cualquier paciente con ultrasonido diafragmático que reveló unilateral o bilateral ausencia de movilidad diafragmática.
- ❖ Cualquier paciente con cirugías post esofágicas o torácicas debidas a manipulación diafragmática intraoperatoria.

#### 6.4.3. CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- ❖ Muerte

### 6.5. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

**Independientes:** Propiedad o característica que se trata de cambiar mediante la manipulación de la variable independiente. Las variables dependientes son las que se miden.

**Dependientes:** Es aquella característica o propiedad que se supone ser la causa del fenómeno estudiado. En investigación experimental se llama así, a la variable que el investigador manipula. Que son manipuladas experimentalmente por un investigador.

DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	ESCALA DE MEDICION	INDICADOR
Edad	Años transcurridos desde el nacimiento hasta la fecha del estudio	Numérica discreta	Años cumplidos
Sexo	Sexo del individuo	Nominal dicotómica	0) Femenino 1) masculino
Diagnóstico	Padecimiento por los que se hospitalizo	Nominal continua	Choque séptico Sepsis Patología quirúrgica

			Diagnostico oncológico Enfermedad reumatológica
Porcentaje de cambio de grosor diafragmático $\Delta tdi\%$ .	Se obtendrá mediante la siguiente formula $tdi\ E\ I - tdi\ E\ e / tdi\ E\ e \times 100$ .	Cuantitativa discreta	Porcentaje (%)
Adelgazamiento diafragmático	Grosor diafragmático menor de 2mm al final de la espiración	Nominal dicotómica	Si: 1 No: 0
excursión diafragmática.	Movimiento cráneo-caudal del diafragma durante el ciclo respiratorio valor normal >10mm	Cuantitativa discreta	Milímetros (mm)
Disfunción diafragmática	Excursión diafragmática derecha menor a 10mm. Fracción de engrosamiento diafragmático <36%.	Nominal dicotómica	Si: 1 No: 0
Comorbilidades	Padecimiento concomitantes al	Nominal continua	Diabetes mellitus Hipertensión arterial

	diagnóstico de ingreso		Hipotiroidismo EPOC
--	------------------------	--	------------------------

## 6.6. PROCEDIMIENTO

En este estudio se anotará a una hoja de registro de datos (ANEXO 1) la información obtenida de nuestra hoja de recolección de datos a partir de Julio del 2019 hasta Diciembre 2019. Para la muestra de pacientes se tomarán en cuenta todos los pacientes que hayan sido sometidos a ventilación mecánica, con un rango de edad de 18 a 70 años, que sean pacientes de la terapia intensiva del Hospital General de México.

- Los pacientes del grupo A, se realizará medición de la fracción de engrosamiento, excursión diafragmática) 30 minutos antes de la prueba de ventilación espontánea, además de la prueba de Tobin.
- Los pacientes del grupo B se realizará medición de la fracción de engrosamiento, excursión diafragmática) después de los 30 minutos de la prueba de ventilación espontánea.
- Los pacientes del grupo C serán monitorizados por ultrasonido posterior al retiro de la ventilación mecánica.

Los pacientes se seleccionarán en base a los criterios mencionados para comenzar las pruebas de ventilación espontánea (PVE). Cada diafragma será evaluado y se realizará las pruebas de excursión diafragmática y fracción de engrosamiento diafragmático.

El ultrasonido que se utilizará de la marca, modelo Logic E9 (GE) y Honda electronics HS-2100 es portable, consta de 3 sondas, 1 sonda convexa de 3,5 MHz y 9– 2 sondas lineales de 11 MHz.

- Fracción de engrosamiento diafragmático; se usará la sondas de alta frecuencia 6-13 MHz.
- Excursión diafragmática; sondas convex de 2-6 MHz o sectorial de 2-5 MHz.

El estudio ultrasonográfico de la función diafragmática se realiza con el paciente en posición supina, de esta manera podemos evaluar la cinética diafragmática utilizando tanto el modo B como M:

**Evaluación de la excursión diafragmática:** Existen diferentes abordajes:

-*Abordaje subcostal anterior:* con el paciente en decúbito supino se posiciona la sonda a nivel subcostal a la altura de la línea axilar anterior o medio-clavicular, orientando la sonda en dirección cefálica y posterior. De esta forma el rayo de US alcanza la parte perpendicular del tercio posterior del hemidiafragma.

- *Abordaje subcostal posterior*: permite examinar el diafragma con el paciente sentado o en posición supina, presenta como limitante la imposibilidad de observar todo el diafragma cuando el pulmón se encuentra aireado en las bases debido al “signo de la cortina”.

Si utilizamos modo B observaremos una línea hiper-ecoica que representa al diafragma, que normalmente se aproximara a la sonda cuando el paciente inspira y se alejara en espiración, mientras que con el modo M observaremos un movimiento sinusoidal, con ascenso durante la inspiración y descenso en espiración. Debido a la excelente ventana acústica que ofrece el hígado, el hemidiafragma derecho es posible de visualizar de manera más fácil y constante, a diferencia del lado izquierdo, donde la menor ventana acústica del bazo, dificulta su examinación, al igual la cámara gástrica. La presencia de derrame pleural o consolidaciones como neumonías o atelectasias optimizan la ventana acústica a nivel del abordaje subcostal posterior y anterior, lo que permiten visualizar el diafragma en toda su extensión. Para evaluar la excursión diafragmática y evitar mediciones erróneas, es importante localizar la mejor imagen en modo B orientando el transductor hacia la parte posterior del diafragma para luego trazar el modo M lo más perpendicular posible a la parte posterior del mismo. La evaluación de la excursión se puede realizar en tres momentos: durante respiración tranquila, profunda y solicitando al paciente que realice la maniobra de sniff (inspiración voluntaria rápida por la nariz con la boca cerrada), permite evaluar la fuerza contráctil del diafragma y detectar rápidamente parálisis diafragmática cuando se observa un movimiento paradójico o ausencia de movimiento. El punto de corte para definir disfunción diafragmática es una excursión  $< 1$  cm (10mm) durante respiración tranquila. La dirección del trazado en modo M en el hemidiafragma paralizado permite distinguir entre paresia o parálisis observando el movimiento caudal o craneal respectivamente. Por consiguiente, en aquellos pacientes que presentan paresia, se observará una reducción del movimiento hacia caudal en inspiración estará representado en el modo M como una onda por encima de la línea de base con una excursión muy limitada, mientras que en una parálisis el movimiento será paradójico observándose una inflexión por debajo de la línea de base en el modo M.

La excursión del hemidiafragma derecho no debe ser inferior al 50% del desplazamiento máximo del izquierdo. Es importante tener presente que si el paciente se encuentra bajo asistencia ventilatoria, ya sea asistida o controlada, es necesario suspender momentáneamente la misma para poder evaluar la función diafragmática real y evitar un sesgo en la medición, ya que de otra manera no es posible discriminar la fuerza generada por la contracción diafragmática del paciente y desplazamiento pasivo producido por la presión positiva externa.

**Evaluación del engrosamiento diafragmático** Utilizaremos una sonda lineal de alta frecuencia 6-12 MHz.

- *Abordaje intercostal:* con el paciente en decúbito supino se posiciona la sonda en el 8°-9° espacio intercostal a nivel de la línea medio-axilar. Este nivel constituye la llamada “zona de aposición”, ya que el diafragma se yuxtapone con la caja torácica. Observaremos al diafragma como una estructura compuesta por tres capas: dos capas hiper-ecoicas corresponden a la pleura diafragmática y al peritoneo, entre medio de ambas el músculo diafragmático se observa como una estructura hipoecoica. Durante la inspiración a capacidad pulmonar total observaremos un incremento en el grosor diafragmático y una disminución del mismo al final de la espiración al alcanzar el volumen residual, utilizando tanto modo B o M. De esta manera debemos posicionar la sonda lineal de alta frecuencia en la línea axilar anterior a nivel del 8°-10° espacio intercostal, donde identificaremos si el paciente respira a través del signo del “deslizamiento pulmonar” o “sliding lung” durante el ciclo respiratorio, a continuación desplazaremos la sonda caudalmente hasta identificar el diafragma para poder realizar su evaluación.

El grosor diafragmático normal medido en la zona de aposición al final de una espiración normal es de 2,2-2,8 mm, durante una inspiración máxima puede alcanzar 4 mm o más, en tanto que valores < 2 mm indican atrofia diafragmática. En pacientes que se encuentran bajo asistencia ventilatoria mecánica, el engrosamiento diafragmático es el indicador más confiable del esfuerzo respiratorio, ya que refleja la activación contráctil del diafragma más que el incremento del volumen torácico per se; en tanto que la excursión no debería ser usada para evaluar cuantitativamente la actividad contráctil del diafragma. Los cambios en el engrosamiento se evalúan a través de la fracción de engrosamiento diafragmática (FDE):

$$\text{FDE \%} = \frac{\text{Grosor al fin de inspiración} - \text{grosor al fin de espiración} \times 100}{\text{Grosor al fin de espiración}}$$

	<b>Alta probabilidad de retiro exitoso de la ventilación mecánica</b>	<b>Probabilidad intermedia</b>	<b>Alta probabilidad de fracaso del retiro de la ventilación mecánica</b>
<b>Excursión diafragmático</b>	<b>23-30mm</b>	<b>11-22mm</b>	<b>&lt;11mm</b>

<b>DTF fracción en engrosamiento diafragmático</b>	<b>32-36%</b>	<b>29-31%</b>	<b>&lt;29%</b>
--	---------------	---------------	----------------

### 6.7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

	MARZO ABRIL	MAYO JUNIO	JULIO AGOSTO	SEPTIEMBRE OCTUBRE	NOVIEMBRE DICIEMBRE	ENERO FEBRERO
Ejecución			X	X	x	
Análisis	X	x	X	X	x	X
Preparación de la publicación						x

### 6.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

## 7. ASPECTOS ÉTICOS Y DE BIOSEGURIDAD

El proyecto de investigación presentado se califica como de bajo riesgo en virtud de que se analizan los datos recolectados. La confidencialidad de los pacientes y sus datos personales serán respetados.

## 8. RELEVANCIA Y EXPECTATIVAS

- El presente trabajo pretende ser una herramienta más a disposición del médico intensivista que le ayude a optimizar el tiempo durante la ventilación mecánica, disminuir la tasa de fracasos a la extubación y favorecer el retiro temprano de la ventilación mecánica.
- Publicación de revistas de este país.

## 9. RECURSOS DISPONIBLES (HUMANOS, MATERIALES Y FINANCIEROS)

- 1 Capturista de datos
- 1 Revisor
- 1 Computador PC de uso personal.
- 1 Base de datos en programa Excel®.
- 1 Programa estadístico STATA.

1 Impresora.

52 Expedientes clínicos

\*No se requirió de recursos financieros.

## **10. RECURSOS NECESARIOS**

1 computadora

1 ultrasonido

1 impresora

52 hojas de recolección de datos

## MARCO TEORICO

### 11. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 12. ANATOMIA DEL DIAFRAGMA

**Anatomía funcional:** Las fibras musculares del diafragma se irradian desde un centro con una estructura tendinosa, denominada el "tendón central", este se inserta periféricamente en las estructuras esqueléticas. Dependiendo de la naturaleza de estos, en las estructuras esqueléticas, el músculo del diafragma se divide convencionalmente en dos componentes principales: (1) el crural (o porción vertebral) que, en humanos, se inserta en la región ventrolateral, en las tres primeras vértebras lumbares y en los ligamentos arqueados aponeuróticos; y (2) la porción costal que inserta en el proceso xifoides del esternón y los márgenes superiores de las seis costillas inferiores.

Cuando se proyecta sobre una vista lateral del tórax, la línea de inserción del diafragma en las costillas están inclinadas caudalmente y dorsalmente, las fibras musculares de la porción costal corren casi perpendiculares a esta línea de inserción.

De sus inserciones en las costillas, las fibras corren oblicuamente en la dirección cráneo-dorsal, a pesar de que la literatura más antigua sugería la posibilidad de inervación intercostal motora de algunas partes del diafragma, ahora está claramente establecido que el único suministro de motor al músculo es a través de los nervios frénicos. Por lo tanto, tanto en humanos como en perros, cada nervio frénico suministra a su propio hemidiafragma, incluyendo todas las fibras en la porción crural en su propio lado del hiato esofágico, y cuando hay un sección del nervio frénico, el hemidiafragma correspondiente se paraliza y sufre atrofia. Debido a que las fibras musculares del diafragma costal se ejecutan en la dirección cráneo-dorsal de sus inserciones en las costillas, están directamente adheridas a la cara interna de la costilla inferior constituyen la llamada "zona de aposición" del diafragma a la caja torácica. En humanos en FRC (capacidad residual funcional), esta zona de la aposición representa aproximadamente del 25% al 40% del total de superficie de la caja torácica y aproximadamente 60% a 65% de la superficie total del músculo.

El resultado de esta disposición anatómica es que el diafragma es considerado generalmente como un cilíndrico elíptico cubierto por una cúpula, la parte cilíndrica correspondiente a la zona de aposición y la cúpula está hecha principalmente del tendón central, a medida que las fibras musculares del diafragma se activan durante la inspiración, desarrollan tensión y se acortan. como resultado, la longitud axial del diafragma adherido disminuye y la cúpula del diafragma desciende en relación con sus inserciones costales. El tendón central es muy rígido y efectivamente inextensible, por lo que la cúpula del diafragma permanece esencialmente constante en tamaño a medida que desciende, sin embargo una característica notable del diafragma es que la forma de la porción muscular también es relativamente constante, independientemente de las diferencias en la tensión muscular, en posición supina mostró que la curvaturas tanto en la dirección de las fibras musculares como en la dirección perpendicular a las fibras musculares al final de la inspiración, fueron similares a los del FRC relajado y a los posteriores a la inflación pasiva también la curvatura del músculo era también casi constante después de que los animales fueron desplazados de la posición supino a la postura prona. El mecanismo que permite mantener tal forma estable sigue siendo incierto, pero un análisis de modelo de elementos finitos ha sugerido que la inextensibilidad del tendón central y la anisotropía de la porción muscular juega un papel importante en este fenómeno, de hecho, los experimentos de estiramiento de tiras de diafragma canino in vitro han demostrado que la rigidez del músculo en la dirección transversal a las fibras musculares es sustancialmente mayor que a lo largo de las fibras musculares, debe ser puntiagudo sin embargo, aunque el músculo es más rígido en la dirección transversal a las fibras musculares, esta rigidez no es suficiente alta, para tener en cuenta la observación de que durante la contracción diafragmática, la tensión en la dirección transversal es muy pequeña, con base en esta observación, uno puede inferir que durante la contracción, la tensión es pequeña en la dirección transversal. a las fibras musculares y significativas solo a lo largo de las fibras del músculo.

### **Acción respiratoria del diafragma.**

Durante la respiración, el diafragma funciona esencialmente como un pistón, y el descenso de la cúpula produce, una expansión de la cavidad pleural a lo largo de su eje craneocaudal y un desplazamiento caudal de las vísceras abdominales anteriores a un movimiento hacia afuera

de la pared abdominal ventral, en consecuencia, la presión intrapleural (Ppl) cae y, si la vía aérea es abierta, aumenta el volumen pulmonar. Además, Pab aumenta y la fuerza generada por el diafragma activo se equilibra, esta es la diferencia entre Pab y Ppl, o presión transdiafragmática (Pdi).

De todos los músculos del cuerpo, el diafragma es sin duda el que posee una anatomía más compleja y enrevesada: su posición entre el tórax y el abdomen y el hecho de que uno de sus extremos es totalmente móvil sin poseer un punto fijo estable como lo tienen casi todos los músculos del cuerpo lo hace complejo, tiene forma de paraguas y se sitúa de forma transversal al eje longitudinal del cuerpo formando una división entre cavidad torácica y abdominal.

### **Origen del diafragma**

Podemos considerar el origen del diafragma a este punto móvil que se sitúa en lo más alto de esta cúpula o paraguas y denominado centro frénico. Este centro frénico es una porción fibrosa que es además el lugar por el cual es atravesado por la vena cava por un lado y por el esófago por otro.

### **Inserciones del diafragma**

Se describen de forma clásica tres porciones en este músculo que desde el centro frénico se dirigen hacia fuera hasta insertarse en: porción esternal cara posterior del esternón, porción costal: costillas de la 7<sup>o</sup> a la 12<sup>o</sup> con una dirección descendente de adelante hacia atrás, porción vertebral lumbar insertándose en esta zona posterior por medio de los conocidos como pilares del diafragma descendiendo e insertándose estos a izquierda y derecha de la cara anterior de los cuerpos vertebrales pero con una diferencia fundamental, en el lado izquierdo se inserta desde cuerpo vertebral L1 hasta la L3 y en el izquierdo desde cuerpo vertebral L1 hasta L4.

### **Inervación del diafragma**

El diafragma está inervado por el nervio frénico, que se origina en los niveles cervicales de C3-C4 y C5 pero con mayor participación de C4. El hecho de que un músculo que se sitúa en un lugar tan bajo se inerve por fibras nerviosas de un nivel tan alto tiene un sentido claro, evitar

que las lesiones vertebrales de niveles cervicales bajos y dorsales pueda afectar a este músculo de vital importancia para la respiración.

### **Relaciones anatómicas del diafragma**

Tal y como hemos nombrado antes, el diafragma se ve atravesado en su centro frénico por la vena cava y por el esófago a nivel del hiato esofágico, pero además ofrece a nivel de la separación de los pilares en su inserción lumbar, otro orificio por el que atraviesa y desciende la arteria aorta. Otras estructuras que lo atraviesan serán los nervios simpáticos, el sistema linfático y el nervio vago.

Por arriba se relaciona por un lado con los pulmones a través de las pleuras y por otro con el corazón que se une por medio de expansiones del pericardio a la parte superior de la cúpula diafragmática, además se relaciona con la parte inferior del mediastino posterior que contiene la aorta, el esófago, conducto torácico, nervios esplácnicos, troncos simpáticos torácicos y vena ácigos.

Por abajo, sus relaciones son más variadas. Por un lado el estómago que se origina nada más atravesar el esófago, por otro en el lado derecho el hígado y en la parte izquierda; en la zona postero-lateral se relaciona con las glándulas suprarrenales y el polo superior de los riñones.

### **Funciones fisiológicas del diafragma**

El cuerpo humano tiene cientos de músculos y sin embargo, ninguno de ellos es tan importante y tiene tantas funciones como el diafragma. Se describe las más importantes:

**Respiración:** Este músculo es el más importante músculo de la respiración (inspiración) contribuyendo a aumentar en este movimiento todos los diámetros de la caja torácica.

**Digestiva:** En su movimiento de émbolo arriba y abajo, presiona las vísceras abdominales de forma rítmica y suave favoreciendo los movimientos peristálticos y el funcionamiento digestivo en general.

**Circulatoria:** Con este mismo bombeo y presión alternantes, favorece el vaciado de sangre del hígado y otras vísceras abdominales colaborando en la correcta renovación circulatoria de las mismas, además el hecho de ser atravesado por las dos grandes conducciones del cuerpo (arteria aorta y vena cava) y por el gran conducto linfático, le confiere aún mayor relevancia circulatoria.

### **13. DISFUNCION DIAFRAGMATICA EN VENTILACION MECANICA**

La afectación muscular del paciente crítico está presente en la mayoría de pacientes que ingresan a la unidad de cuidados intensivos (UCI). La alteración, en particular, del músculo diafragmático, se ha diferenciado en los últimos años y se ha demostrado la existencia de una disfunción muscular propia de los pacientes sometidos a ventilación mecánica. En este subgrupo de pacientes encontramos una disfunción muscular que aparece de manera precoz después del inicio de la ventilación mecánica y que se relaciona principalmente con el uso de modalidades control, la presencia de sepsis y/o de fracaso multiorgánico. Aunque se desconoce la etiología concreta que desencadena el proceso, el músculo presenta procesos de estrés oxidativo y alteración mitocondrial que provocan un desequilibrio en la síntesis proteica, con el resultado de atrofia y alteración de la contractilidad y, como consecuencia, una menor funcionalidad. No fue, de hecho, hasta 2004 cuando Vassilakopoulos et al. describieron el término «disfunción diafragmática asociada a ventilación mecánica», que junto a la lesión por sobre-distensión pulmonar y por barotrauma, representan un reto en el día a día de los pacientes ventilados.

La disfunción diafragmática tiene influencia en el pronóstico, retardando la extubación, aumentando la estancia hospitalaria y afectando la calidad de vida de estos pacientes en los años siguientes al alta hospitalaria. La ecografía, como técnica no invasiva y accesible en la mayoría de unidades, podría ser de utilidad en el diagnóstico precoz para iniciar, de forma avanzada, la rehabilitación e influir positivamente.

### **14. INTRODUCCIÓN**

La ventilación mecánica (VM) ha sido utilizada a lo largo de la historia como una herramienta fundamental en el tratamiento de los pacientes con insuficiencia respiratoria, lo que ha permitido una mejoría en su pronóstico. Casi el 40% de los pacientes ventilados mecánicamente presentarán dificultades en la desconexión de la ventilación mecánica (VM), que pueden ser de causa multifactorial. Un retraso en la desconexión puede implicar un aumento de la estancia en las unidades de cuidados intensivos (UCI) así como un peor

pronóstico y un aumento de la mortalidad de casi el 12% respecto a los pacientes que no la presentan.

En las últimas décadas cuando se ha centrado la atención en el estudio de la disfunción diafragmática inducida por la ventilación (DDIV) como una complicación más de la ventilación mecánica (VM). Este término hace referencia a la disfunción diafragmática que se produce de forma precoz tras la instauración de la ventilación mecánica (VM). La existencia de disfunción diafragmática inducida por la ventilación (DDIV) empeora el pronóstico y se asocia a un fracaso en la extubación, con un aumento de los días de la ventilación mecánica (VM) y de la mortalidad.

No obstante, en la actualidad no se realiza una monitorización rutinaria de la función diafragmática en muchas unidades, por lo que cabe pensar que esta entidad se encuentra sistemáticamente infradiagnosticada, aunque la debilidad de la musculatura respiratoria se podría incluir dentro de la afectación muscular global del paciente crítico, en la última década se ha desarrollado el concepto de disfunción diafragmática inducida por la ventilación (DDIV). Este término se refiere a la disfunción de la musculatura diafragmática secundaria al efecto negativo de la propia ventilación mecánica (VM) y que puede ocurrir, en paralelo o no, con la afectación del resto de la musculatura.

Estudios previos habían descrito que la completa inactividad diafragmática que se producía en los pacientes ventilados con modalidades controladas producía una pérdida rápida y progresiva de la función diafragmática.

La DDIV (disfunción diafragmática inducida por la ventilación) se define como un descenso progresivo de la fuerza muscular diafragmática que ocurre de forma precoz tras el inicio de la ventilación mecánica (VM).

La importancia clínica de la DDIV (disfunción diafragmática inducida por la ventilación) radica en su pronta aparición y afecta hasta a un 65% de los pacientes ventilados.

### **Fisiopatología de la disfunción diafragmática inducida por la ventilación**

Son varios los estudios que han demostrado que la utilización de modalidades de ventilación mecánica controlada (VMC), donde el esfuerzo inspiratorio no proviene del paciente y no se

realiza una contracción activa del diafragma, producen en menos de 24 h una disfunción contráctil y atrofia diafragmática tanto en animales de experimentación como en humanos. El músculo atrófico presenta una pérdida de fuerza y una menor excursión diafragmática debida a la disminución del área de sección transversal de las fibras musculares, que se traduce en una menor capacidad inspiratoria. A continuación se exponen los fundamentos fisiopatológicos que se asocian a la (DDIV) disfunción diafragmática inducida por la ventilación.

### **Atrofia diafragmática**

La atrofia diafragmática inducida por la ventilación mecánica controlada (VMC) ocurre de manera extremadamente rápida. En animales de experimentación, en las primeras 12-18 horas de ventilación mecánica controlada (VMC), ya se puede evidenciar una atrofia diafragmática significativa, sin observarse signos de atrofia periférica. Por tanto, la atrofia diafragmática inducida por la (VM) ventilación mecánica es significativamente mayor a la atrofia por desuso que se produce en la musculatura esquelética. El grupo de Levine encontró hallazgos similares en pacientes ventilados con ventilación mecánica controlada (VMC), entre las 18 y las 69 h, y demostraron una reducción significativa (en torno a un 53-57% con respecto a voluntarios sanos) tanto de las fibras tipo 1 como tipo 2 en la sección transversal de biopsias diafragmáticas.

**Cambios en la ultraestructura de las fibras musculares:** La ventilación mecánica controlada (VMC) da lugar a alteraciones tiempo-dependientes en la ultraestructura de las fibras musculares diafragmáticas, inicialmente aparecen áreas con miofibrillas anormales por desorganización miofibrilar y alteraciones en las líneas Z. Posteriormente aparecerán áreas de regeneración de fibras musculares sin signos de inflamación y finalmente, si la VM se prolonga en el tiempo (más de 3 días) se producirá un aumento de vacuolas lipídicas citoplasmáticas probablemente en relación con un proceso autofágico.

### **Disfunción contráctil**

El grupo de Le Bourdelles fue el primero en describir, en 1994, mediante un modelo animal, la aparición de una disfunción contráctil diafragmática tras 48 horas del inicio de ventilación mecánica controlada (VMC). La ventilación mecánica (VM) prolongada promueve una

disminución de la fuerza diafragmática progresiva y tiempo-dependiente. Al igual que ocurre con la atrofia, 12 horas de ventilación mecánica controlada (VMC) son suficientes para evidenciar una reducción en la fuerza diafragmática. Varios estudios han demostrado que el pico de presión inspiratoria máxima es menor en pacientes sometidos a ventilación mecánica (VM) de forma prolongada comparado con controles.

### **Alteraciones en el recambio proteico**

La atrofia y la disfunción diafragmática que se producen con relación al uso de ventilación mecánica controlada (VMC) ocurren de forma primaria debido a un descenso en la síntesis proteica y a un aumento de la proteólisis. La síntesis proteica del diafragma puede disminuir un 30% después de solo 6 horas de ventilación mecánica (VM). Por otra parte, el aumento de la proteólisis se encuentra en relación con la activación de vías de proteasas (calpaína, caspasa-3 y sistema ubiquitín-proteasoma), vías de apoptosis y activación de autofagia. Hooijman et al. analizaron la actividad de la vía de la ubiquitín-proteasoma en muestras de biopsia diafragmática de pacientes ventilados durante cirugía torácica. En estos pacientes, en los que existía un aumento significativo de esta vía, se demostró un descenso de aproximadamente un 25% de la sección transversal de las fibras musculares diafragmáticas, tanto lentas como rápidas, y un descenso de su fuerza contráctil.

### **Aumento del estrés oxidativo**

Durante la ventilación mecánica controlada (VMC) se producen alteraciones en la morfología mitocondrial que provocan alteraciones de su función y exceso de creación de especies reactivas de oxígeno (ROS). Se observa un aumento del estrés oxidativo a nivel diafragmático, que funciona como desencadenante de la activación de las vías de la calpaína y caspasa-3 a este nivel. En pacientes donantes en muerte encefálica se ha confirmado la aparición muy precoz (18 h) de una reducción del diámetro de las fibras musculares diafragmáticas con la evidencia de fenómenos de estrés oxidativo y activación de proteasas a nivel diafragmático. Por otra parte, la ventilación mecánica (VM) prolongada da lugar a una disminución de la capacidad antioxidante en el diafragma, reflejada por el descenso de los niveles de glutatión, CuZn superóxido dismutasa y de la actividad glutatión peroxidasa.

### **Efecto de la patología crítica sobre la función diafragmática.**

Aunque se conocen las consecuencias de la disfunción diafragmática debido a la ventilación mecánica (VM) en modalidad control, las vías que provocan su aparición son aún desconocidas. La inactividad diafragmática induce la aparición de atrofia diafragmática de manera progresiva y tiempo-dependiente. Sin embargo, existen otros factores cuya presencia aumenta el riesgo de desarrollo de DDIV (disfunción diafragmática inducida por la ventilación) y de que la afectación diafragmática sea más importante. La sepsis y el fallo multiorgánico son los factores que se han asociado de una forma robusta, con un mayor grado de disfunción diafragmática en los pacientes sépticos que en los pacientes con shock de otra etiología. La situación proinflamatoria que existe en estas patologías puede dar lugar a una reducción en la síntesis proteica, así como a un incremento en la proteólisis, pudiendo desencadenar por sí misma una pérdida de masa muscular aguda.

Factores concomitantes y el tratamiento con fármacos (corticoides o relajantes musculares, por ejemplo) pueden exacerbar la DDIV (disfunción diafragmática inducida por la ventilación), sobre todos los relajantes musculares, existen 2 estudios realizados en ratones que confirman que el uso de rocuronio exacerba la disfunción contráctil inducida por la ventilación mecánica controlada (VMC). Con respecto al efecto de los corticoides sobre la función diafragmática, existen datos contradictorios. En el estudio de Sassoon et al. se encontró una asociación entre la administración de metilprednisolona a altas dosis y el descenso de la fuerza inspiratoria en un modelo experimental. Datos experimentales han relacionado la presencia de hiperglucemia con el descenso de la fuerza diafragmática, en relación con un aumento de los procesos de estrés oxidativo.

### **Modalidades de ventilación mecánica invasiva y disfunción diafragmática inducida por la ventilación**

Las alteraciones diafragmáticas de la DDIV (disfunción diafragmática inducida por la ventilación), en esta modalidad, en la que el diafragma se encuentra totalmente inactivo, puede producir una mayor atrofia y disfunción contráctil, con el consiguiente descenso de la fuerza diafragmática. A diferencia de las modalidades de ventilación mecánica controlada (VMC), en la ventilación mecánica (VM) no controlada el paciente debe realizar esfuerzo inspiratorio. Esta

acción podría, como sugieren varios autores, prevenir el efecto deletéreo de la ventilación en modalidad control. En el estudio de Doering et al. se evidenciaba que el uso de forma prolongada de niveles altos de presión en modalidades de presión soporte, producía también atrofia y disfunción contráctil. Asimismo, en el estudio de Gayan-Ramírez et al. refuerza la idea de la inactividad del diafragma es el principal factor que promueve la DDIV, con la demostración que periodos cortos de respiración espontánea durante la VMC retardaban los efectos de la VMC sobre el diafragma. Los cambios en la configuración diafragmática podrían prevenirse manteniendo los niveles de esfuerzo inspiratorio proporcionados por la presión soporte.

### **Ventilación mecánica no invasiva**

Existe solo un estudio que evalúa la funcionalidad diafragmática después del inicio de la ventilación mecánica no invasiva. En él se concluye que existe un descenso de la fuerza generada por el diafragma tras el inicio de esta y que se relaciona con niveles elevados de presión soporte. La VMNI ejerce una presión positiva, con un cierto grado de aplanamiento y estiramiento muscular, que podría ser el origen de la disfunción.

### **Diagnóstico y monitorización**

En muy pocas UCI se realiza una monitorización rutinaria de la función de la musculatura respiratoria, bien por infraestimación de su importancia, bien por las dificultades técnicas para llevarla a cabo. El diagnóstico de DDIV es inicialmente de sospecha en los pacientes ventilados mecánicamente en los que se han solucionado los factores intercurrentes, pero que presentan dificultad en la retirada de la VM. En el caso de la DDIV no se ha encontrado relación entre la exploración clínica y el grado de disfunción diafragmática, por lo que las exploraciones complementarias son obligadas para el diagnóstico. A continuación se detallan algunos de los métodos diagnósticos que reflejan mejor la contribución del diafragma a la respiración, unos útiles solo en investigación y otros aplicables en la práctica clínica.

### **Ultrasonografía**

La necesidad de un diagnóstico precoz y de una técnica accesible y no invasiva justifica el empleo creciente de la ecografía para la evaluación y seguimiento de la función diafragmática y del esfuerzo inspiratorio. Sus limitaciones residen en la variabilidad inter e intra- observador

y en la posibilidad de aplicar el estudio dinámico (excursión diafragmática) solo en pacientes sin VM. Por otra parte, son varios los estudios que han demostrado buena precisión y reproducibilidad de los ultrasonidos en la valoración de la función diafragmática, tanto en voluntarios sanos como en pacientes críticos.

El grosor diafragmático (como signo de atrofia), la fracción de acortamiento y el estudio de la movilidad diafragmática (como signo de actividad diafragmática) son los parámetros más evaluados por ecografía.

### **Excursión diafragmática**

Para valorar el desplazamiento diafragmático debemos utilizar una sonda de 3,5-5 MHz, que se posicionará debajo de la parrilla costal a nivel de la línea medio-clavicular, dirigiendo el haz de ultrasonidos perpendicular al tercio posterior de dicho hemidiafragma.

Durante la inspiración, el diafragma normal se desplaza de forma caudal y, por tanto, se acercará al transductor.

Los valores normales en pacientes no ventilados sanos son diferentes para hombres y mujeres ( $18 \pm 3$  y  $16 \pm 3$  mm, respectivamente), siendo similares a valores basales encontrados en pacientes ventilados mecánicamente. Se define disfunción diafragmática como una excursión menor de 10 mm o una excursión negativa (o movimiento paradójico). Estos valores serían también buenos predictores de un fracaso en la desconexión del paciente.

### **Grosor diafragmático**

El grosor del diafragma depende de la masa muscular, y esta se correlaciona con la capacidad vital forzada. La disminución del grosor diafragmático se asocia al descenso de amplitud valorada por electromiografía y puede indicar la presencia de atrofia diafragmática.

El grosor diafragmático es cuantificable de forma sencilla por ultrasonografía, siendo el hemidiafragma derecho, a través de su ventana hepática, más accesible que el izquierdo. Para medir el grosor utilizaremos una sonda de 10-12 MHz, colocándola de manera perpendicular sobre el 9-10º espacio intercostal en la línea axilar anterior, para observar parte de la zona de aposición del diafragma con la caja torácica. En esta área, el diafragma se observa como 3 capas de distintas densidades dispuestas paralelamente (pleura, diafragma y peritoneo). El grosor diafragmático se mide mediante la realización de un modo M o con la imagen 2D durante

una espiración no forzada. El grosor diafragmático normal en pacientes ventilados es de  $2,4 \pm 0,8$  mm, indicando atrofia valores por debajo de 2mm. Se consideran valores normales ratios de 1,8, aceptándose como límite inferior ratios de 1,2.

### **Variación del grosor diafragmático**

La variación del grosor diafragmático puede calcularse usando un modo M mediante la fórmula  $\text{Variación grosor diafragmático} = \frac{\text{Grosor al final de la inspiración} - \text{Grosor al final de la espiración}}{\text{Grosor al final de la espiración}}$ . La variación del grosor diafragmático puede utilizarse como un indicador de la capacidad diafragmática para generar presión. Una variación  $< 20\%$  podría ser considerada como un predictor de fracaso de la desconexión de la VM, con una mejor predicción que el uso del índice de Tobin.

El grupo de Grosu encontró un descenso diario del 6% del grosor diafragmático dentro de las primeras 48 h de ventilación mediante modalidades asistidas. En el estudio de Schepens et al., donde la mayoría de pacientes recibían ventilación en modalidad control, este valor fue del 10,9%. Aunque no se encontró una asociación directa entre el grosor y la ventilación en modalidad control, los datos anteriormente mencionados muestran un mayor descenso del grosor en los pacientes principalmente ventilados con modalidad controlada.

En pacientes sometidos a VM, al contrario que la excursión diafragmática, el cambio de grosor diafragmático reflejaría realmente la contracción diafragmática activa. Así lo demuestra el estudio del grupo de Goligher, el cual no observa variaciones del mismo en pacientes relajados y sí en voluntarios sanos y pacientes sometidos a distintos métodos de VM. En pacientes no ventilados la variación del grosor ha demostrado estar relacionada de forma directa con los volúmenes pulmonares y con la presión inspiratoria máxima y, por lo tanto, supondría una medición indirecta de la actividad contráctil y de la carga de trabajo del diafragma.

## 15. ULTRASONIDO DIAFRAGMÁTICO

Técnica ecográfica de evaluación diafragmática: la ecografía diafragmática se realiza con una sonda de matriz en fase de 3,5–5 MHz. Se coloca la sonda inmediatamente debajo del margen costal derecho o izquierdo en la línea medio clavicular, o en la línea axilar anterior derecha o izquierda y se dirige medialmente, cefálica y dorsalmente, por lo que el haz de ultrasonido alcanza perpendicularmente el tercio posterior del hemidiafragma correspondiente.

El modo bidimensional (2D) se utiliza inicialmente para obtener el mejor enfoque y seleccionar la línea de exploración; el modo M se utiliza para mostrar el movimiento de las estructuras anatómicas a lo largo de la línea seleccionada.

Los pacientes son escaneados a lo largo del eje largo de los espacios intercostales, con el hígado como ventana acústica a la derecha, y el bazo a la izquierda.

El movimiento normal diafragmático inspiratorio es caudal, ya que el diafragma se mueve hacia la sonda; el movimiento normal diafragmático espiratorio es craneal, ya que el diafragma se aleja de la sonda. En el modo M, la excursión del diafragma (desplazamiento en cm), la velocidad de contracción diafragmática (pendiente de cm / segundos), el tiempo inspiratorio ( $T_i$ , segundos) y la duración del ciclo ( $T_{tot}$ , s) se pueden medir por ultrasonido. En pacientes ventilados mecánicamente, la evaluación del movimiento de diafragma a veces necesita desconectar brevemente al paciente del ventilador para visualizar mejor los esfuerzos de respiración espontánea.

Es de destacar que muchos pacientes de la UCI tienen derrames pleurales, consolidación o atelectasia, que en contraste con lo que uno podría esperar, permiten una mejor identificación de los hemidiafragmas.

**Los valores del diafragma:** Se informaron excursiones en individuos sanos para ser:  $1.8 \pm 0.3$ ,  $7.0 \pm 0.6$  y  $2.9 \pm 0.6$  cm para los hombres,  $1.6 \pm 0.3$ ,  $5.7 \pm 1.0$ , y  $2.6 \pm 0.5$  cm para mujeres, durante la respiración tranquila, profunda y la inhalación voluntaria, respectivamente.

Curiosamente, los mismos valores de excursión diafragmática (1,8 cm) se encontraron en pacientes ventilados que habían tenido éxito en un ensayo de destete, no hay diferencia entre el hemidiafragma derecho e izquierdo en ambos estudios.

La contracción, durante la respiración tranquila, ha sido medido a  $1.3 \pm 0.4$  cm / s en cuarenta individuos sanos sin diferencias significativas entre varones y mujeres.

El ultrasonido también se ha utilizado para evaluar el espesor (tdi, mm) diafragmática en la zona de aposición del diafragma a la caja torácica. La zona de aposición es el área de la pared torácica donde llegan los contenidos abdominales.

En esta zona, el diafragma es observado como una estructura hecha de tres capas distintas; una capa central no ecogénica bordeada por dos capas ecogénicas, las pleuras del peritoneo y la diafragmática.

Para obtener imágenes adecuadas del grosor diafragmático en modo M y modo 2D, es con una sonda lineal de alta frecuencia (C10 MHz), es necesario realizarlo en respiración espontánea y durante un máximo esfuerzo inspiratorio y espiratorio. El índice de engrosamiento del diafragma, la fracción de engrosamiento (TF) puede ser calculado utilizando el modo M (TF = espesor en la inspiración) - espesor al final de la espiración / espesor al final de la espiración). La fracción de engrosamiento diafragmático puede ser utilizado como índice de eficiencia diafragmática.

**Valores normales de engrosamiento diafragmático:** en individuos, hay una amplia gama de diferencia de tdi (engrosamiento diafragmático) que oscila entre 1,8 y 3 mm que se traduce en Capacidad residual funcional (FRC).

A medida que aumenta el volumen pulmonar a partir del volumen residual (VD) a la capacidad pulmonar total (TLC) hay un aumento medio de tdi del 54% (rango 42-78%). Además, el diafragma también se espesa durante una presión inspiratoria máxima (Pimax).

### **Precisión y reproducibilidad.**

Varios estudios han abordado el tema de la exactitud y reproducibilidad de los ultrasonidos para medir el diafragma, desplazamiento y grosor medido en individuos sanos voluntarios y en pacientes de la UCI.

En un gran estudio de medición diafragmática de excursión en voluntarios sanos, Boussuges informó que la reproducibilidad intra- observador fue de 96 y 94%, y la reproducibilidad inter - 30

observador 95 y 91% en el diafragma derecho e izquierdo respectivamente, la reproducibilidad intra- observador e inter- observador, coeficientes de correlación de la medición de excursión del diafragma se encuentran en el mismo rango, entre 88 y 99% en pacientes de la UCI.

Respecto a la reproducibilidad del diafragma, mediciones de espesor durante la misma sesión, Vivier. et al. analiza la reproducibilidad analítica, intra- analizador reproducibilidad (los mismos ajustes analizados repetidamente) y reproducibilidad inter- analizador (mismas grabaciones obtenido por separado por dos ultrasonógrafos diferentes).

Los valores reportados para la repetibilidad (coeficientes de correlación intraclase) fueron todos por encima de 0,97. Coeficientes de la repetibilidad osciló entre 7 y 8% para intra o inter-analizador, repetibilidad y alrededor del 15-18% para intra o repetibilidad inter- observador.

Para mejorar la reproducibilidad, hay algunas técnicas para el ecógrafo diafragmático.

Primero, uno debe saber que hay poca diferencia entre la parte media y posterior del diafragma, en la excursión diafragmática. Por lo tanto, hay pocas razones para molestar sobre la ubicación exacta, y la mejor delineación diafragmática se realiza en modo B, y debe elegirse antes de aplicar modo M.

En segundo lugar, cursor para la excursión diafragmática; Las mediciones en modo M siempre deben ser tan estrictamente perpendicular como sea posible con respecto a la parte media o parte posterior del diafragma. Esto se puede obtener girando la sonda o corrigiendo el ángulo del modo M con un mando específico en la máquina de ecografía. Finalmente, para el grosor diafragmático,) se debe usar los de mayor resolución lineal, en este caso la sonda (C10 MHz).

### **Limitaciones de la técnica.**

Existen limitaciones a la ecografía diafragmática, así como algunas reglas a respetar para evitar errores y fallas en la recolección e interpretación de datos.

Una limitación obvia de la ecografía diafragmática, especialmente en pacientes de UCI, es una pobre ventana acústica (imágenes de mala calidad), y se ha informado que esto ocurre entre el 2 y el 10%.

Al medir la excursión diafragmática, el transductor en la mano del ecografista debe ser lo más perpendicular posible a la línea de excursión diafragmática, de lo contrario la precisión y la

repetibilidad de las mediciones diafragmáticas de excursión, puede verse seriamente afectado. Si el punto final es la medición diafragmática de la excursión, y el paciente tiene programado los modos asistidos de ventilación mecánica, la excursión medida (cm) representará la suma de dos fuerzas que trabajan en la misma dirección; primero, la fuerza de la contracción diafragmática por sí misma, y segundo, el pasivo desplazamiento del diafragma por la presión aplicado por el ventilador. En este caso, no hay medios para distinguir qué parte del desplazamiento diafragmático es pasivo, debido a la fuerza externa aplicada, o activo por la contracción diafragmática actúa como un generador de presión negativa.

Si el objetivo es evaluar la excursión diafragmática, como generador de fuerza sin la asistencia del ventilador, es necesario grabar (5–10 min) durante la respiración espontánea.

El engrosamiento solo está influenciado por la contracción activa, pero puede verse afectado por varios factores evaluados en condiciones normales

## 16. RESULTADOS

Datos obtenidos a partir del anexo 2

			30min antes de la prueba de ventilación espontanea			30min durante la prueba de ventilación espontanea		30 min posterior al retiro de la ventilación mecánica	
EDAD	DIAS DE VENTILACION (días)	N°	ANTES			DURANTE		POSTERIOR	
			TOBIN FR/VC	EXCURSION (<1.1)	Δtdi%	EXCURSION ( )	Δtdi%	EXCURSION ( )	Δtdi%
50-55	15	1	70%	20	50%	20	52%	22	45%
60-66	20	2	63%	22	51%	20	50%	21	46%
50-55	10	3	44%	12	52%	13	62%	20	50%
45-50	7	4	45%	12	62%	12	46%	15	58%
30-35	3	5	42%	12	60%	17	50%	18	75%
40-45	6	6	42%	13	100%	12	58%	14	90%
35-40	7	7	43%	14	66%	13	60%	12	70%
20-25	5	8	40%	16	70%	12	70%	14	77%
45-50	10	9	50%	12	60%	14	62%	15	70%
30-35	11	10	55%	13	80%	13	80%	12	78%
45-50	10	11	50%	12	60%	14	62%	15	70%
35-40	11	12	70%	20	50%	20	52%	22	45%
45-50	9	13	63%	22	51%	20	50%	21	46%
35-40	5	14	44%	12	52%	13	62%	20	50%
45-50	8	15	45%	16	62%	12	46%	15	58%
35-40	9	16	42%	14	60%	17	50%	18	75%
25-30	7	17	42%	13	100%	12	58%	14	90%
40-45	6	18	43%	14	66%	13	60%	12	70%
35-30	4	19	40%	16	70%	12	70%	14	77%
45-50	6	20	50%	12	60%	14	62%	15	70%
30-35	9	21	55%	13	80%	13	80%	12	78%
35-40	4	22	50%	12	60%	14	62%	15	70%
50-55	3	23	70%	20	50%	20	52%	22	45%
35-40	10	24	63%	22	51%	20	50%	21	46%
25-30	7	25	44%	12	52%	13	62%	20	50%
40-45	8	26	45%	12	62%	12	46%	15	58%
35-30	5	27	50%	12	60%	17	50%	18	75%
45-50	4	28	42%	13	90%	12	58%	14	90%
30-35	6	29	43%	14	64%	13	70%	12	50%
35-40	10	30	40%	16	80%	12	70%	13	77%
50-55	8	31	50%	12	70%	14	62%	14	70%
35-40	3	32	63%	22	51%	22	50%	21	43%
35-40	5	33	44%	12	52%	16	62%	20	55%

	ANTES				DURANTE		POSTERIOR	
	30 min posterior al retiro de la ventilación mecánica				30 min posterior al retiro de la ventilación mecánica		30 min posterior al retiro de la ventilación mecánica	
<b>MODA</b>	<b>10,00</b>	50%	12,00	60%	12,00	62%	15,00	70%
<b>MEDIA</b>	<b>7,61</b>	50%	14,82	64%	14,88	59%	16,55	64%
<b>MEDIANA</b>	<b>7,00</b>	45%	13,00	60%	13,00	60%	15,00	70%

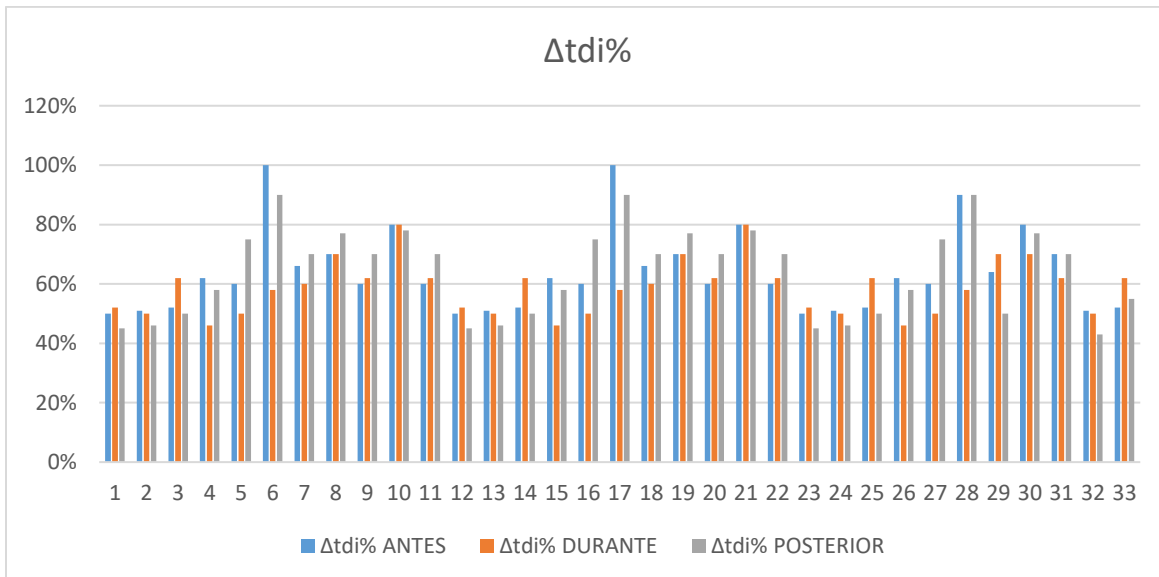


Grafico 1 Delta de Grosor Diafragmatico

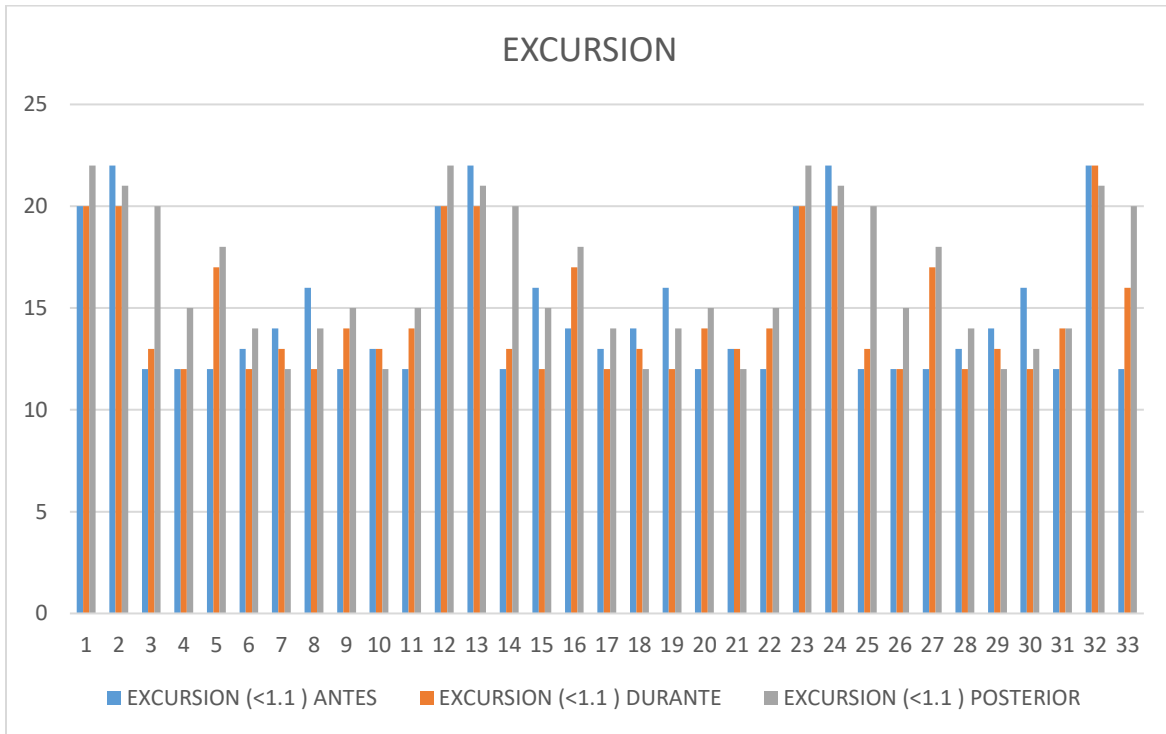


Grafico N°2 Método Excursión

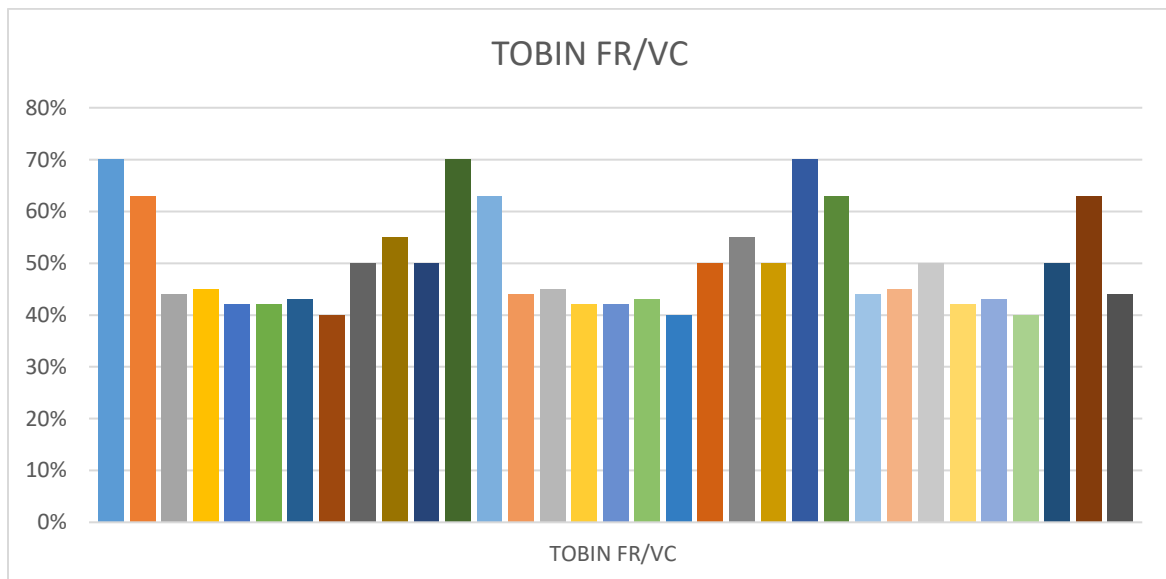


Grafico N° 3 Tobin

## 16.1. INTERPRETACIÓN

**La Moda:** nos indica que el **Método de Fracción de Engrosamiento Diafragmático** (60%-62%-70%) tiene un porcentaje mayor de precisión en favorecer el procedimiento de liberación de intubación, de forma clara un 10 % mas que en el Tobin (50%), mientras que el **Método de Excursión** (12-12-15) también muestra similar resultado

**La Media: El Promedio de Fracción de Engrosamiento Diafragmático o Delta de Grosor Diafragmático** es superior a 50%, ya que se considera un valor mayor a 30% como predictor de retiro exitoso de la ventilación mecánica, el de excursión diafragmático es mayor a 14mm en la mayoría, siendo el valor de corte de menor a 11mm, para determinar disfunción diafragmático.

**La Mediana:** Mas del 50% de las mediciones de ultrasonido diafragmático ( fracción de engrosamiento diafragmático, excursión diafragmático) tienen valores superiores al 60%, esto representa que un porcentaje importante de pacientes tuvieron un retiro exitoso de la ventilación mecánica, siendo el valor de corte <30% para determinar disfunción diafragmática y por tanto fracaso del retiro de la ventilación mecánica , lo que quiere decir que por ambas mediciones cumplen los criterios de retiro exitoso de la ventilación mecánica, y pueden ser usados como predictores del retiro exitoso de la ventilación mecánica.

## 17. REFERENCIAS

1. Ahmed M. Osman, Reham M. Hashim: Diaphragmatic and lung ultrasound application as new predictive indices for the weaning process in ICU patients. *Jmer* 2017. (48), 61–66
2. Ana M. Llamas-Álvarez, MD; Eva M. Tenza-Lozano, MD, PhD; and Jaime Latour-Pérez, MD, PhD, Diaphragm and Lung Ultrasound to Predict Weaning Outcome. *CHEST* 2017; 152(6):1140-1150
3. Ernest DiNino, Eric J Gartman, Jigme M Sethi, F Dennis McCool. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Critical care* 2014. 69:423–427
4. Giovanni Ferrari<sup>1\*</sup>, Giovanna De Filippi<sup>1</sup>, Fabrizio Elia<sup>1</sup>, Francesco Panero<sup>1</sup>, Giovanni Volpicelli<sup>2</sup> and Franco Aprà. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation. *Critical Ultrasound Journal* 2014, 6:8
5. Michele Umbrello, Paolo Formenti, Daniela Longhi, Andrea Galimberti, Ilaria Piva, Angelo Pezzi, Diaphragm ultrasound as indicator of respiratory effort in critically ill patients undergoing assisted mechanical ventilation: a pilot clinical study. *Critical Care* (2015) 19:161
6. Zhicheng Qian,<sup>1</sup> Ming Yang,<sup>2</sup> Lin Li,<sup>3</sup> Yaolong Chen. Ultrasound assessment of diaphragmatic dysfunction as a predictor of weaning outcome from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis . *BMJ* 2018; 08: e 021189
7. Alain Boussuges, MD, PhD; Yoann Gole, MSc; and Philippe Blanc, MD. Diaphragmatic Motion Studied by M-Mode Ultrasonography Methods, Reproducibility, and Normal Values. *Chest*. .2008-1541
8. Gerald S Supinski and Leigh Ann Callahan. Diaphragm weakness in mechanically ventilated critically ill patients. *Critical Care* 2013, 17:R120
9. Dr. Ángel Augusto Pérez-Calatayud, Dr. Eduardo Daniel Anica-Malagón, Dr. Jesús Carlos Briones-Garduño, Dr. Raúl Carrillo-Esper. Evaluación ultrasonográfica del diafragma en el perioperatorio. *medigrafic* vol 40. 2017.pp S250-S251.
10. A. Daniel Martina,<sup>\*</sup>, Barbara Smith<sup>a</sup>, Andrea Gabrielli<sup>b</sup>, Mechanical ventilation, diaphragm weakness and weaning: A rehabilitation perspective. *.j.resp.*2013.05.012

## 18. ANEXOS

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

#### “ULTRASONIDO DIAFRAGMÁTICO COMO PREDICTOR DE RETIRO DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA COMPARADO CON EL ÍNDICE DE TOBIN”

Bajo autorización de consentimiento informado; según las normas de la Ley General de Salud y su reglamento en Materia de Investigación y a las Guías de la Conferencia Internacional de Armonización (ICH) sobre las Buenas Prácticas Clínicas (GCP). se realizará la medición por ultrasonido de la excursión diafragmática, fracción de engrosamiento diafragmático, durante la prueba de ventilación espontánea.

Procedimiento que surge de la necesidad de realizar el retiro de la ventilación mecánica exitosa, en pacientes sometidos a ventilación mecánica prolongada (más de 3 días), la literatura menciona ser una prueba inocua, reproducible intraobservador e interobservador, llevado a cabo a la cabecera del paciente, sin representar ningún riesgo durante el procedimiento, aporta información acerca de la anatomía y funcionalidad del diafragma en el momento del retiro de la ventilación mecánica, información útil, para determinar el momento óptimo de retiro de la ventilación mecánica, este nuevo predictor, compara su eficacia con el índice de Tobin, un parámetro ya establecido y con alta sensibilidad y especificidad, se realizará 3 mediciones, 1er momento 30 minutos antes de comenzado la ventilación espontánea, 2do momento durante los primeros 30 minutos de comenzado la prueba de ventilación espontánea, 3er momento posterior al retiro de la ventilación mecánica, procedimiento que se realiza con ultrasonido **Marca** PHILIPS **Type:** Cardiac - Vascular Ultrasound **Model:** Epiq 7, se usará el transductor sectorial para la toma de fracción de engrosamiento diafragmático y el transductor convexo para la medición de excursión diafragmático, previo uso de gel conductor.

En cuanto a los riesgos; no se señala ninguno hasta el momento reportado en la literatura, los beneficios de este procedimiento, es lograr el retiro exitoso y oportuno de la ventilación mecánica, diagnóstico temprano de disfunción diafragmática asociado a la ventilación mecánica, ofrecer las opciones de tratamiento en caso de disfunción diafragmático, como electroestimulación, y o fisioterapia de rehabilitación.

En cuanto a los procedimientos alternativos al momento del retiro de la ventilación mecánica, está fluoroscopia, tomografía computarizada.

Estamos dispuestos a aclarar dudas acerca del procedimiento, o cualquier detalle relacionado a este, cada participante puede retirar su consentimiento en cualquiera de los 3 momentos, esto no será impedimento para continuar con las pruebas de ventilación mecánica o su tratamiento, el participante y sus familiares presentes el día de la prueba, deben tener conocimiento que en todo momento se guardara confidencialidad, acerca de sus datos personales, y la disponibilidad de tratamiento médico y la indemnización por parte de la institución de atención a la salud, en el caso de daños que la ameriten, directamente causadas por la investigación, en caso de gastos adicionales, éstos serán absorbidos por el presupuesto de la investigación.

Nombre completo del (a) paciente: \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

Nombre completo del Médico que proporciona la información:

\_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

**SI REQUIERE INFORMACION SOBRE SU ESTUDIO FAVOR DE COMUNICARSE AL TELEFONO DISPONIBLE LAS 24 HORAS CON EL INVESTIGADOR PRINCIPAL: DR. ALFONSO CHAVEZ MORALES JEFE DE SERVICIO DE TERAPIA MEDICA CENTRAL, UNIDAD 310 TORRE QUIRÚRGICA, TELEFONO 5559916787 O PARA INFORMACION RELACIONADA A SU PROTECCION COMO PARTICIPANTE DEL ESTUDIO, COMUNICARSE CON EL PRESIDENTE DEL COMITÉ DE ETICA EN INVESTIGACION: DRA. ANTONIA CERVANTES BARRIOS AL TELEFONO 27892000 EXT. 1164**

## ANEXO 2

### HOJA DE RECOLECCION DE DATOS

TITULO: "ULTRASONIDO DIAFRAGMATICO PARA RETIRO TEMPRANO DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA

ECU: \_\_\_\_\_

NOMBRE: \_\_\_\_\_ EDAD: \_\_\_\_\_

PESO: \_\_\_\_\_ TALLA: \_\_\_\_\_

DIAGNÓSTICO: \_\_\_\_\_

FECHA DE INICIO DE PRUEBAS DE VENTILACION (PIEZA EN T) - ( PRESION SOPORTE) (CPAP) ESPONTANEA: \_\_\_\_\_

Marcar subrayar metodo de ventilacion espontanea




INDICE DE TOBIN (FR/VC): <105 (SI) (NO)

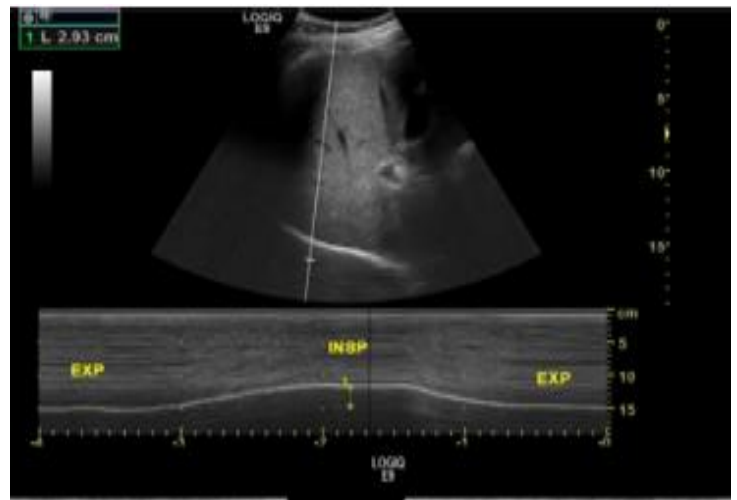
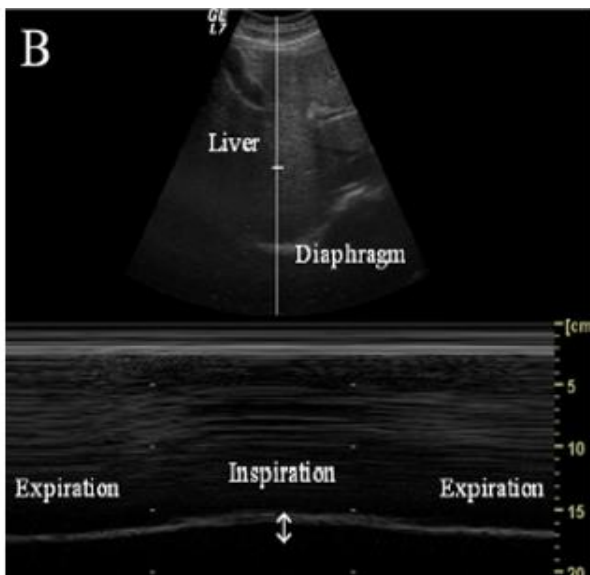
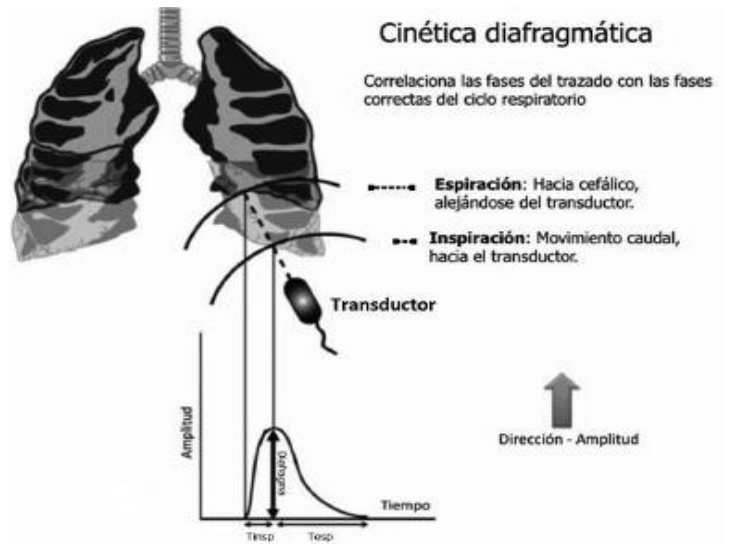
- EXCURSION DIAFRAGMATICA (VN <11mm):
- GROSOR AL FINA DE LA INSPIRACION – GROSOR AL FINAL DE LA ESPIRACION/ GROSOR AL FINAL DE LA ESPIRACION  $\Delta tdi\%$  (VN>30%).

E C U	30min antes de la prueba de ventilación espontanea			30 min posterior al retiro de la ventilación mecánica			
	DIAS DE VENTILACION	DIAGNOSTICO	TOBIN FR/VC	EXCURSION (<1.1mm)	$\Delta tdi\%$ = Grosor al final de la inspiración - grosor al final de la espiración/grosor al final de la espiración $\Delta tdi\%$ >30%	EXCURSION	$\Delta tdi\%$ = Grosor al final de la inspiración - grosor al final de la espiración/grosor al final de la espiración

**TECNICA: EXCURSION DIAFRAGMATICA:** (desplazamiento diafragmático), durante la prueba de ventilación espontanea, colocar a paciente en posición supino, utilizar una sonda transductor de 3,5-5 MHz, que se posicionará debajo de la parrilla costal a nivel de la línea medio-clavicular, dirigiendo el haz de ultrasonidos perpendicular al tercio posterior de dicho hemi-diafragma, colocar modo M y medir durante la inspiración espontanea.

Los valores normales en pacientes no ventilados sanos son diferentes para hombres y mujeres ( $18 \pm 3$  y  $16 \pm 3$  mm). la sonda convexa se coloca subcostalmente paralela al espacio inetrcoastal para medir el rango del movimiento diafragmático utilizando el método de modo M con el cursor que cruza el diafragma y evaluar el alto y puntos de pico bajos como indicador de la distancia de la movilidad diafragmática

	Frecuencia (MHz)	Profundidad (cm)	
	6-13	6	} Engrosamiento diafragmático
	2-6	30	
	1-5	35	} Excursión diafragmática



### TECNICA. DTF (FRACCION DE ENGROSAMIENTO DIAFRAGMATICO) $\Delta tdi\%$

= Grosor al final de la inspiración - grosor al final de la espiración/grosor al final de la espiración

En posición semi-recostada evaluación del grosor diafragmático: la sonda lineal de ultrasonido colocada intercostalmente perpendicular a la pared torácica en la octava o 9º espacio intercostales entre la axilar anterior y línea media . El diafragma aparece como una estructura de tres capas (dos líneas ecogénicas paralelas que representan la pleura y el peritoneo con espacio hipoecoico central que representa el músculo diafragmático).

El grosor diafragmático medido desde la mitad de la línea pleural hasta la mitad de la línea peritoneal. El espesor medido durante la final de la inspiración y la espiración. Esto fue repetido para tomar el promedio seguido por el cálculo de DTF =

**(Espesor a la inspiración final - espesor al final de la espiración) / Espesor al final de la espiración.**

