



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, septiembre 21 de 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Angela Viviana Vanegas Pira, con C.C. No. 53.107.887

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o titulado: Evaluación De La Excursión Y El Engrosamiento diafragmático En Los Pacientes Con Ventilación Mecánica Ingresados A La Unidad De Cuidado Intensivo Del Hospital Hernando Moncaleano. Presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de Especialista en Medicina Crítica y Cuidado Intensivo.

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

[Handwritten signature]
[Handwritten ID: CC/3/107887]



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evaluación De La Excursión Y El Engrosamiento Diafragmático En Los Pacientes Con Ventilación Mecánica Ingresados A La Unidad De Cuidado Intensivo Del Hospital Hernando Moncaleano

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Vanegas Pira	Ángela Viviana

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Moncayo Alvarado	Luis Harvey
Muñoz Tovar	Ronni Andrea

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Charry Cuellar	Jose Daniel

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Especialista En Medicina Crítica Y Cuidado Intensivo

FACULTAD: Salud

PROGRAMA O POSGRADO: Especialización En Medicina Critica Y Cuidado Intensivo

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2022 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 92

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías_X_ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_X_
Grabados___ Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___
Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros_X_



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español	Inglés
1. Diafragma	Diaphragm
2. Extubación	Extubation
3. Destete ventilatorio	Weaning atrophy
4. Ultrasonido	Ultrasound
5. Ventilación Mecánica	Mechanical Ventilación
6. Reintubación	Reintubation
7. Atrofia diafragmática	Diaphragmatic

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Introducción: La ventilación mecánica es una técnica frecuentemente utilizada como medida de soporte de los pacientes críticamente enfermos, evitando el progreso de estos hacia la muerte. Estos pacientes pueden desarrollar disfunción del diafragma, este fenómeno, se puede presentar tempranamente (24 horas). Por Investigar: Entre el 13 % y el 26 % de los pacientes que son extubados necesitan ser reintubados dentro de las 48 horas. Las herramientas disponibles para determinar el momento óptimo de la extubación son limitadas. Las mediciones de ultrasonido pueden ser útiles para monitorear la actividad del diafragma y detectar la atrofia en pacientes con ventilación mecánica. Objetivo: Describir el comportamiento del ultrasonido entorno a la excursión y el engrosamiento diafragmático de los pacientes con ventilación mecánica en la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano a través de mediciones realizadas a la cabecera del paciente. Metodología: Estudio Descriptivo observacional, descriptivo, de serie de casos, prospectivo y transversal en una unidad de cuidado intensivo. Resultados: 55 pacientes ingresados, los días de ventilación mecánica en promedio fueron de 7.4 días. Se realizo



extubación exitosa en 45 (81.8%). De los 55 pacientes incluidos 10 (18.2%) presentaron fallo de la extubación. Se encontró que los pacientes que presentaron fallo en la extubación las medidas para la excursión diafragmática derecho fueron de 1.38 cm con una fracción de engrosamiento < 58%. Conclusiones: La ecografía diafragmática integrada a las herramientas de uso habitual para la predicción del éxito o el fallo de la extubación podría ser útil en la identificación temprana de la disfunción diafragmática asociada a la ventilación mecánica.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Introduction: Mechanical ventilation is a technique frequently used as a support measure for critically ill patients, preventing their progress towards death. These patients may develop diaphragm dysfunction, this phenomenon can occur early (24 hours). To be investigated: Between 13% and 26% of patients who are extubated need to be reintubated within 48 hours. The tools available to determine the optimal time for extubation are limited. Ultrasound measurements may be helpful in monitoring diaphragm activity and detecting atrophy in mechanically ventilated patients. Objective: To describe the behavior of ultrasound around the excursion and diaphragmatic thickening of patients with mechanical ventilation in the intensive care unit of the Hernando Moncaleano Hospital through measurements made at the patient's bedside. Methodology: Descriptive observational, descriptive, case series, prospective and cross-sectional study in an intensive care unit. Results: 55 hospitalized patients, the average days of mechanical ventilation were 7.4 days. Successful extubation was performed in 45 (81.8%). Of the 55 patients included, 10 (18.2%) presented extubation failure. It was found that the patients who presented extubation failure, the measurements for the right diaphragmatic excursion were 1.38 cm with a thickening fraction <58%. Conclusions: Diaphragmatic ultrasound integrated to the tools commonly used for predicting the success or failure of extubation could be useful in the early identification of diaphragmatic dysfunction associated with mechanical ventilation.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre presidente Jurado: Dr. Luis Sanabria.

Firma:

Nombre Jurado: Dra. Angelica María Luna

Firma:

Nombre Jurado: Dr. Oscar Enrique Zambrano

Firma:

EVALUACIÓN DE LA EXCURSIÓN Y EL ENGROSAMIENTO DIAFRAGMÁTICO
EN LOS PACIENTES CON VENTILACIÓN MECÁNICA INGRESADOS A LA
UNIDAD DE CUIDADO INTENSIVO DEL HOSPITAL HERNANDO
MONCALEANO

ANGELA VIVIANA VANEGAS PIRA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESPECIALIZACION EN MEDICINA CRITICA Y CUIDADO INTENSIVO
NEIVA
2022

EVALUACIÓN DE LA EXCURSIÓN Y EL ENGROSAMIENTO DIAFRAGMÁTICO
EN LOS PACIENTES CON VENTILACIÓN MECÁNICA INGRESADOS A LA
UNIDAD DE CUIDADO INTENSIVO DEL HOSPITAL HERNANDO
MONCALEANO

ANGELA VIVIANA VANEGAS PIRA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de especialista en
Medicina Crítica y Cuidado Intensivo

ASESORES

RONNI ANDREA MUÑOZ TOVAR
MD Esp.

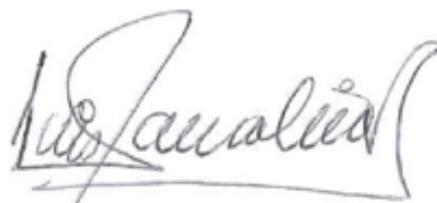
LUIS HARVEY MONCAYO ALVARADO
Esp. Medicina Crítica Y Cuidado Intensivo

JOSE DANIEL CHARRY CUELLAR MD MSc PhD©
Investigación En Ciencias Medico Quirúrgicas

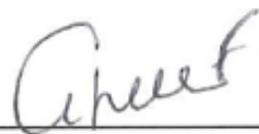
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESPECIALIZACION EN MEDICINA CRITICA Y CUIDADO INTENSIVO
NEIVA
2022

Nota de aceptación:

Aprobado mediante acta de sustentación
No. 003 del 20 de septiembre del 2022



Firma del presidente del jurado



Firma del jurado

OSCAR ENRIQUE ZAMBRANO T.

Firma del jurado

Neiva, 21 de septiembre

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Sofia, María Elena, Miguel Augusto por su incondicional acompañamiento durante este proceso que me conduce a alcanzar hoy esta meta.

Ángela Viviana

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme alcanzar este sueño.

Agradezco a los profesores y compañeros del programa de Medicina Crítica y Cuidado Intensivo, a mi tutor y amigo José Daniel Charry y la Dra. Angelica Luna por su motivación para iniciar este proceso.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. JUSTIFICACION	20
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
3. ANTECEDENTES	24
4. OBJETIVOS	29
4.1. OBJETIVO GENERAL	29
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
5. MARCO TEORICO	30
5.1. EL DIAFRAGMA	31
5.1.1. Tipos De Fibras Musculares Y Diafragmáticas	31
5.1.2. Acciones Del Diafragma	32
5.1.3. Mecanismos De Disfunción Del Diafragma	32
5.1.3.1. <i>Atrofia Muscularués</i>	33
5.1.3.2. <i>Estrés Oxidativon</i>	34
5.1.3.3. <i>Lesión Estructural</i>	34
5.1.3.4. <i>Remodelación de Fibras Musculares</i>	35
5.2. TECNICA ULTRASONOGRAFICA	40
5.2.1. Técnica Ultrasonográfica del diafragma	40
5.3. EXCURSION DEL DIAFRAGMA	41
5.3.1. Desplazamiento	42
5.4. ENGROSAMIENTO DEL DIAFRAGMA	44
5.4.1. Zona De Aposición	44
5.5. FRACCION DE ENGROSAMIENTO	45
6. HIPOTESIS	49
7. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	50
8. DISEÑO METODOLOGICO	53
8.1. TIPO DE ESTUDIO	53

	pag.
8.2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO	54
8.3. PERIODO DE ESTUDIO	54
8.4. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	54
8.5. CRITERIOS DE INCLUSIÓN	55
8.6. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	55
8.7. CONSIDERACIONES ÉTICAS	55
9. ANALISIS DE RESULTADOS	57
10. DISCUSION	65
11. CONCLUSIONES	69
12. RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	71
ANEXOS	76

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los pacientes de acuerdo con el proceso del retiro de la ventilación mecánica.	17
Tabla 2. Fases desde la iniciación de la ventilación mecánica hasta el destete.	22
Tabla 3. Descripción General	57
Tabla 4. Descripción de variables Fallo Retiro de Ventilación mecánica	60
Tabla 5. Comparación de variables Fallo y No Fallo de retiro de Ventilación Mecánica.	62

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Fallo Al Retiro De La Ventilación Mecánica	58
Grafica 2. Excursión Diafragmática (Cm)	63
Grafica 3. Fracción De Engrosamiento Diafragmático (%)	63
Grafica 4. Electrolitos	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Consideraciones Para Evaluar La Preparación Para El Destete	40
Figura 2. Colocación De La Sonda Para Medir Excursión Diafragmática Derecha	42
Figura 3. Modalidades Ecográficas Utilizadas Para Examinar La Excursión Diafragmática	42
Figura 4. Excursión Diafragmática Derecha En Un Paciente Con Ventilación Mecánica	43
Figura 5. Sondas Ecográficas Empleadas Para El Estudio Ecográfico Del Diafragma	44
Figura 6. Estructuras Anatómicas Medición Grosor Diafragmático En Modo B	45
Figura 7. Ultrasonografía Modo M Fracción De Engrosamiento Diafragmático	46

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Carta Aprobación comité de Bioética e Investigación HUN	77
Anexo B. Instrumento	79
Anexo C. Ficha técnica ecógrafo	87
Anexo D. Cronograma	90
Anexo E. Presupuesto	92

RESUMEN

Introducción: La ventilación mecánica es una técnica frecuentemente utilizada como medida de soporte de los pacientes críticamente enfermos, evitando el progreso de estos hacia la muerte, múltiples patologías médicas y quirúrgicas están relacionadas con la indicación de realizar intubación orotraqueal y someter a un paciente a la ventilación mecánica. Estos pacientes pueden desarrollar disfunción del diafragma debido a una variedad de factores, incluida la atrofia por falta de uso, este fenómeno llamado disfunción diafragmática inducida por el ventilador, se puede presentar tempranamente (24 horas) y puede asociarse con ventilación mecánica prolongada, dificultad para el destete, estancia prolongada en uci.

por Investigar: Entre el 13 % y el 26 % de los pacientes que son extubados necesitan ser reintubados dentro de las 48 horas. Las herramientas disponibles para determinar el momento óptimo de la extubación son limitadas y las decisiones subjetivas a menudo son incorrectas. Las mediciones de ultrasonido de la excursión del diafragma y la fracción de engrosamiento pueden ser útiles para monitorear la actividad del diafragma y detectar la atrofia en pacientes con ventilación mecánica. Por lo tanto, nos planteamos como pregunta de investigación: Cual es el comportamiento de la excursión y del engrosamiento diafragmático en los pacientes que ingresan a la unidad de cuidado intensivo y requirieron ventilación mecánica durante su estancia en el hospital Hernando Moncaleano Perdomo durante el 1 de enero 2022 al 31 agosto del 2022.

Objetivo: Describir el comportamiento del ultrasonido entorno a la excursión y el engrosamiento diafragmático de los pacientes con ventilación mecánica en la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano Perdomo a través de mediciones realizadas a la cabecera del paciente.

Metodología: Estudio Descriptivo observacional, descriptivo, de serie de casos, prospectivo y transversal en una unidad de cuidado intensivo.

Resultados: Se incluyeron 55 pacientes que ingresaron a la Unidad de Cuidado Intensivo del Hospital Hernando Moncaleano Perdomo con patologías médicas y quirúrgicas y requirieron ventilación mecánica invasiva, los días de ventilación mecánica en promedio fueron de 7.4 días. Se realizó extubación exitosa en 45 pacientes correspondientes al 81.8%. De los 55 pacientes incluidos en este trabajo de investigación, 10 correspondientes al 18.2% presentaron fallo de la extubación

definido como necesidad de Re-intubación dentro de las 48 horas posteriores. Se encontró que los pacientes que presentaron fallo en la extubación las medidas para la excursión diafragmática derecho fueron de 1.38 cm y para el hemidiafragma izquierdo fueron de 1.16 cm, con una fracción de engrosamiento < del 58%.

Conclusiones: Se puede concluir que la ecografía diafragmática integrada a las herramientas de uso habitual para la predicción del éxito o el fallo de la extubación podría ser útil en la identificación temprana de la disfunción diafragmática asociada a la ventilación mecánica y de esta manera fortalecer la toma de decisiones previo a la extubación buscando dar uso de instrumentos que van a la vanguardia de la tecnología y de la evolución de la medicina a través de los años, en pro de mejorar la calidad en la atención y mejores resultados de los pacientes.

Palabras claves: Diafragma, Extubación, Destete ventilatorio, Ultrasonido, Ventilación Mecánica, Reintubación, Atrofia diafragmática

ABSTRACT

Introduction: Mechanical ventilation is a technique frequently used as a support measure for critically ill patients, preventing their progress towards death, multiple medical and surgical pathologies are related to the indication of performing orotracheal intubation and submitting a patient to mechanical ventilation. These mechanically ventilated patients may develop diaphragm dysfunction due to a variety of factors, including disuse atrophy, a phenomenon called ventilator-induced diaphragmatic dysfunction, which can present early (24 hours) and may be associated with prolonged mechanical ventilation, difficulty in weaning, prolonged stay in the ICU and increased risk of complications.

Problem to Investigate: Between 13% and 26% of patients who are extubated need to be reintubated within 48 hours. The tools available to determine the optimal timing of extubation are limited, and subjective decisions are often incorrect. Ultrasound measurements of diaphragm thickness and thickening fraction may be useful in monitoring diaphragm activity and detecting diaphragm atrophy in mechanically ventilated patients. Therefore, we pose as a research question: What is the behavior of excursion and diaphragmatic thickening in patients admitted to the intensive care unit and required mechanical ventilation during their stay at the Hernando Moncaleano Perdomo hospital on January 1 2022 to August 31, 2022.

Objective: To describe the behavior of ultrasound around the excursion and diaphragmatic thickening of patients with mechanical ventilation in the intensive care unit of the Hernando Moncaleano Perdomo Hospital through measurements made at the patient's bedside.

Methodology: Observational, descriptive, case series, prospective and cross-sectional study in an intensive care unit.

Results: 55 patients who were admitted to the Intensive Care Unit of the Hernando Moncaleano Perdomo Hospital with medical and surgical pathologies and required invasive mechanical ventilation were included, the average days of mechanical ventilation were 7.4 days. Successful extubation was performed in 45 patients corresponding to 81.8%. Of the 55 patients included in this research work, 10 corresponding to 10% presented extubation failure defined as the need for re-intubation within 48 hours. It was found that the patients who presented extubation failure, the measurements for the right diaphragmatic excursion were 1.38 cm and for the left hemidiaphragm they were 1.16 cm, with a thickening fraction <58%.

Conclusions: It can be concluded that diaphragmatic ultrasound integrated with the tools commonly used to predict extubation success or failure could be useful in the early identification of diaphragmatic dysfunction associated with mechanical ventilation and thus strengthen decision-making. prior to extubation, seeking to use instruments that are at the forefront of technology and the evolution of medicine over the years, in order to improve the quality of care and better patient results.

Keywords: Diaphragm, Extubation, Weaning atrophy, Ultrasound, Mechanical Ventilación, Reintubation, Diaphragmatic

INTRODUCCIÓN

La ventilación mecánica es una técnica frecuentemente utilizada como medida de soporte de los pacientes críticamente enfermos, evitando el progreso de estos hacia la muerte. Existen varias indicaciones para el inicio de la ventilación mecánica en la unidad de cuidado intensivo dentro de estas encontramos procesos de llenado alveolar (Neumonitis, edema pulmonar cardiogénico y no cardiogénicos, lesión por inhalación, síndrome de dificultad respiratoria del adulto (SDRA), hemorragia pulmonar), enfermedad vascular pulmonar (Tromboembolismo pulmonar, embolia de líquido amniótico, émbolos tumorales), enfermedades que causan obstrucción de las vías respiratorias (exacerbación aguda de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma aguda y grave), hipoventilación por disfunción del sistema nervioso central o de músculos respiratorios (Esclerosis lateral amiotrófica, cuadriplejia cervical, síndrome de guillan barre, miastenia gravis, tétanos, toxinas, distrofia muscular), hipoventilación por enfermedad de la pared torácica la pleura (trauma, tórax inestable, derrame pleural masivo, neumotórax) y algunos procesos que tienen una mayor demanda ventilatoria (Choque séptico y acidosis metabólica) (1). Durante la ventilación mecánica, se fuerza una mezcla predeterminada de aire (oxígeno y otros gases) hacia las vías respiratorias centrales y luego fluye hacia los alveolos, con el objetivo de apoyar el intercambio de gases pulmonar basado en la ventilación alveolar y oxigenación arterial, reducir el costo metabólico de la respiración, también se busca mejorar la hipoxemia, resolver la acidosis respiratoria, aliviar la dificultad respiratoria, prevenir la fatiga de los músculos respiratorios, disminuir el consumo de oxígeno sistémico al miocardio y proteger las vías respiratorias.

Los pacientes con ventilación mecánica pueden desarrollar disfunción del diafragma debido a una variedad de factores, incluida la atrofia por falta de uso de la ventilación mecánica, este fenómeno llamado disfunción diafragmática inducida por el ventilador “(*ventilator induced diaphragm dysfunction* “ (VIDD), conduce tempranamente (24 horas) un tipo de atrofia por desuso que afecta las fibras musculares diafragmáticas, esta atrofia diafragmática puede asociarse con ventilación mecánica prolongada, dificultad para el destete, estancia prolongada en uci y mayor riesgo de complicaciones(3). Por lo tanto, evaluar y monitorear la actividad contráctil, la fuerza y las dimensiones estructurales del diafragma durante

la ventilación mecánica es una prioridad clínica y de investigación cada vez más importante.

La liberación de la ventilación mecánica comprende cerca del 40 % del tiempo en ventilación mecánica y se ha establecido una estratificación de acuerdo con el proceso. El retiro fácil de la ventilación mecánica según la clasificación del Task Force del 2008, es aproximadamente un 60% de los casos y son aquellos pacientes que pueden ser extubados en la primera prueba de ventilación espontánea y un 30 a 40% de los casos se ha denominado retiro difícil a quienes requieren hasta tres pruebas de ventilación espontánea o 7 días para la extubación después de la primera prueba (4).

Tabla 1. Clasificación de los pacientes de acuerdo con el proceso del retiro de la ventilación mecánica.

CATEGORIA	DEFINICIÓN
Destete simple	Pacientes que avanzan desde el inicio del destete hasta la extubación exitosa en el primer intento sin dificultad.
Destete difícil	Pacientes que fallan en el destete inicial y requieren hasta 3 SBT o hasta 7 días desde el primer SBT hasta lograr un destete exitoso.
Destete prolongado	Pacientes que fallan al menos en 3 intentos de destete o requieren más de 7 días de destete después del primer SBT.

El tiempo es fundamental para determinar si un paciente puede ser extubado con éxito. El retiro prematuro de la ventilación mecánica puede conducir a un aumento del estrés cardiovascular y respiratorio, retención de CO₂ e hipoxemia con hasta un 25% de pacientes que requieren restitución del soporte ventilatorio. Los retrasos innecesarios en el destete de la ventilación mecánica también pueden ser perjudiciales. Las complicaciones como la neumonía asociada a la ventilación y la atrofia del diafragma se pueden ver con períodos cortos, prolongando así la ventilación mecánica. Las herramientas disponibles para determinar el momento óptimo de la extubación son limitadas. Las decisiones subjetivas a menudo son incorrectas, Stroetz y Hubmayr (3) encontraron que la predicción clínica del éxito de la extubación o el fracaso fueron a menudo incorrectas con la decisión de extubar sesgando las decisiones hacia la dependencia del ventilador. Medidas como frecuencia respiratoria, la ventilación minuto y la fuerza inspiratoria negativa, tienen poco aporte para mejorar el momento de la extubación exitosa (3,5). Un parámetro

más reciente, es el índice de respiraciones rápidas y superficiales el cual proporciona una guía para la sincronización de la extubación con respiración espontánea, pero su valor es limitado cuando se utiliza para predecir extubación exitosa durante la presión de soporte (6,7).

El índice de respiraciones rápidas y superficiales "*The rapid shallow breathing index*" RSBI (volumen corriente (TV) en litros/ frecuencia respiratoria (RR) en respiraciones/minuto) y la ventilación minuto, ampliamente utilizados en la práctica clínica, son los parámetros de destete que miden el volumen generado por todos los músculos respiratorios sin valorar especialmente la contribución del diafragma. Bajo las circunstancias de la disfunción del diafragma, el movimiento del diafragma se inhibe y los músculos accesorios asumen un papel más importante en la producción del volumen corriente (VT). Por lo tanto, la disfunción del diafragma puede ocultarse por la acción compensatoria de otros músculos respiratorios durante la prueba de respiración espontánea. Sin embargo, los músculos accesorios son más débiles y fatigables que el diafragma, por lo que el efecto compensatorio no puede mantenerse durante mucho tiempo. Por lo tanto, el fracaso del destete puede ocurrir a pesar de un índice de respiraciones rápidas y superficiales y ventilación minuto inicialmente aceptables. Spadaro y colaboradores (8) informaron que muchos pacientes fracasaron en el intento de destete, aunque RSBI fue mucho más bajo que el umbral que predice el fracaso del destete descrito en el artículo de Yang y Tobin (9). La poca resistencia es una causa importante del destete fallido. La excursión diafragmática y la fracción de engrosamiento diafragmático reflejan la capacidad del diafragma para generar un volumen inspiratorio, por lo tanto, la verdadera contribución del diafragma al volumen tidal. Existen otras formas tradicionales de evaluar la disfunción del diafragma, como la fluoroscopia, la estimulación eléctrica o magnética del nervio frénico y la medición de la presión transdiafragmática. Sin embargo, todos estos métodos poseen serias deficiencias, por ejemplo, radiación ionizante, alto costo, ejecución difícil, invasividad e inconvenientes. Además, el transporte de pacientes críticos al departamento de radiología es difícil y peligroso (10,11).

La ecografía diafragmática se utiliza para evaluar la anatomía y la función de la bomba de los músculos respiratorios. Las mediciones de ultrasonido del grosor del diafragma y la fracción de engrosamiento pueden ser útiles para monitorear la actividad del diafragma y detectar la atrofia del diafragma en pacientes con ventilación mecánica. Es una técnica de cabecera segura, repetible, precisa y no invasiva que se puede aplicar con éxito en diferentes entornos, incluyendo cuidados intensivos generales y el departamento de emergencias. El dominio de esta técnica

permite al intensivista diagnosticar y evaluar rápidamente la disfunción de los músculos respiratorios en pacientes en estado crítico, además se puede utilizar para evaluar la interacción paciente-ventilador y el fracaso del destete en pacientes críticamente enfermos.

El uso del ultrasonido en medicina crítica y cuidado intensivo, también conocido como ultrasonido de cabecera ha crecido en los últimos 15 años a nivel mundial. La ecografía de cuidados intensivos se ha convertido en un valioso complemento del examen clínico (12). Varios informes demuestran la utilidad de la ecografía de cuidado intensivo para realizar diagnósticos clínicos precisos y cambiar el plan de atención del paciente. La opinión cada vez mayor en la comunidad de cuidados intensivos es que los profesionales deben realizar e interpretar de forma rutinaria la ecografía de cuidado intensivo junto a la cama del paciente como una herramienta de exploración física. Una declaración de expertos internacionales ha propuesto que la ecografía de cuidado intensivo general sea obligatoria en el plan de estudios de los médicos de la unidad de cuidado intensivo. Varios estudios sobre la educación médica en ecografía de cuidado intensivo han demostrado que los médicos pueden realizarla e interpretarla con éxito después de un programa de capacitación breve y estructurado. (UCIERTOUI, 2011), (Jang T, 2010). Los residentes del programa de medicina crítica y cuidado intensivo de la Universidad Sur colombiana permanecen en constante entrenamiento en el área de la ultrasonografía.

En este trabajo buscamos describir el comportamiento del ultrasonido entorno a la excursión y el engrosamiento diafragmático de los pacientes con ventilación mecánica en la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano Perdomo a través de mediciones realizadas a la cabecera del paciente, de esta manera aportar conocimiento actual que logre fortalecer las herramientas ya existentes en la toma de decisiones previo a la extubación buscando dar uso de instrumentos que van a la vanguardia de la tecnología y de la evolución de la medicina a través de los años, en pro de mejorar la calidad en la atención y mejores resultados de nuestros pacientes.

1. JUSTIFICACION

En la actualidad en la Unidad de cuidado Intensivo del hospital Hernando Moncaleano Perdomo se realizan las pruebas de preparación basadas en criterios clínicos asociadas a otros predictores de destete, se diligencia un formato que incluye las siguientes variables como determinantes de la función respiratoria: $Pao_2/Fio_2 > 200$ o acorde a la patología de base, estado ácido básico normal o acorde a patología de base con $PH > 7.25$, hallazgos radiológicos en mejoría, mecánica ventilatoria con $PIM > 35\text{cm h}_2\text{o}$, índice de respiración rápida superficial (relación entre la frecuencia respiratoria y el volumen corriente $FR(\text{resp}/\text{mint})/VT(Lt) < 105$, capacidad vital $> 10/\text{ml}/\text{kg}$, volumen minuto espontaneo $> 10\text{lpm}$, Cufleak test o prueba de fuga $> 25\%$.

El uso del ultrasonido en medicina crítica y cuidado intensivo, también conocido como ultrasonido de cabecera ha crecido en los últimos 15 años a nivel mundial. La ecografía de cuidados intensivos se ha convertido en un valioso complemento del examen clínico (5). Varios informes demuestran la utilidad de la ecografía de cuidado intensivo para realizar diagnósticos clínicos precisos y cambiar el plan de atención del paciente. La opinión cada vez mayor en la comunidad de cuidados intensivos es que los profesionales deben realizar e interpretar de forma rutinaria la ecografía de cuidado intensivo junto a la cama del paciente como una herramienta de exploración física. Una declaración de expertos internacionales ha propuesto que la ecografía de cuidado intensivo general sea obligatoria en el plan de estudios de los médicos de la unidad de cuidado intensivo. Varios estudios sobre la educación médica en ecografía de cuidado intensivo han demostrado que los médicos pueden realizarla e interpretarla con éxito después de un programa de capacitación breve y estructurado. (UCIERTOUI, 2011), (Jang T, 2010). Los residentes del programa de medicina crítica y cuidado intensivo de la Universidad Sur colombiana permanecen en constante entrenamiento en el área de la ultrasonografía.

Buscamos describir el comportamiento del ultrasonido entorno a la excursión y el engrosamiento diafragmático de los pacientes en los pacientes que ingresan a la unidad de cuidado intensivo y requirieron ventilación mecánica durante su estancia en el hospital Hernando Moncaleano Perdomo durante el 1 de enero de 2022 al 31 agosto del 2022.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ventilación mecánica es una técnica frecuentemente utilizada como medida de soporte de los pacientes críticamente enfermos, evitando el progreso de estos hacia la muerte. Existen varias indicaciones para el inicio de la ventilación mecánica en la unidad de cuidado intensivo. dentro de estas encontramos procesos de llenado alveolar (Neumonitis, edema pulmonar cardiogénico y no cardiogénicos, lesión por inhalación, síndrome de dificultad respiratoria del adulto (SDRA), hemorragia pulmonar), enfermedad vascular pulmonar (Tromboembolismo pulmonar, embolia de líquido amniótico, émbolos tumorales), enfermedades que causan obstrucción de las vías respiratorias (exacerbación aguda de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma aguda y grave), hipoventilación por disfunción del sistema nervioso central o de músculos respiratorios (Esclerosis lateral amiotrófica, cuadriplejia cervical, síndrome de guillan barre, miastenia gravis, tétanos, toxinas, distrofia muscular), hipoventilación por enfermedad de la pared torácica la pleura (trauma, tórax inestable, derrame pleural masivo, neumotórax) y algunos procesos que tienen una mayor demanda ventilatoria (Choque séptico y acidosis metabólica (1) Durante la ventilación mecánica, se fuerza una mezcla predeterminada de aire (Oxígeno y otros gases) hacia las vías respiratorias centrales y luego fluye hacia los alveolos, con el objetivo de apoyar el intercambio de gases pulmonar basado en la ventilación alveolar y oxigenación arterial, reducir el costo metabólico de la respiración, también se busca mejorar la hipoxemia, resolver la acidosis respiratoria, aliviar la dificultad respiratoria, prevenir la fatiga de los músculos respiratorios, disminuir el consumo de oxígeno sistémico al miocardio y proteger las vías respiratorias.

La ventilación mecánica en si misma causa atrofia del musculo diafragmático, un fenómeno llamado disfunción diafragmática inducida por el ventilador (VIDD), conduciendo tempranamente (24 horas) un tipo de atrofia por desuso que afecta las fibras musculares diafragmáticas, esta atrofia diafragmática puede asociarse con ventilación mecánica prolongada, dificultad para el destete, estancia prolongada en unidad de cuidado intensivo y mayor riesgo de complicaciones.

La liberación de la ventilación mecánica es un proceso de seis fases en el proceso de atención desde la iniciación de la ventilación mecánica hasta el destete (4), estas se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Fases desde la iniciación de la ventilación mecánica hasta el destete.

FASE	DEFINICION
1.Tratamiento de la falla respiratoria	Periodo de manejo y resolución del trastorno que motivo a la IOT.
2.Sospecha	Punto en el que el medico sospecha que el paciente puede estar listo para comenzar el proceso de destete.
3.Evaluacion de la preparación para el destete	Pruebas diarias de medidas fisiológicas de preparación para el destete para determinar la probabilidad de éxito del destete.
4.Prueba de respiración espontanea	Evaluación de la capacidad del paciente para respirar espontáneamente.
5.Extubacion	Retiro del tubo endotraqueal.
6.Reintubacion	Reemplazo del tubo endotraqueal para pacientes que no pueden mantener la ventilación espontanea.

Las tres últimas fases implican la prueba de preparación, la extubación y la reintubacion. En las pruebas de preparación se utilizan criterios clínicos objetivos para determinar si un paciente está listo para comenzar el destete de la ventilación mecánica (La causa de la insuficiencia respiratoria está resuelta, relación $Pao_2/Fio_2 < 150$, $ph < 7.25$, estabilidad hemodinámica dada por el uso de vasopresores o dosis bajas de los mismos, hemoglobina $> 7gr$, temperatura < 38 grados y estado mental despierto o alertable fácilmente calificada con la escala de agitación-sedación de Richmond RASS -2 +1, el destete es el proceso de disminuir el grado de soporte del ventilador y permitir que el paciente asuma una mayor proporción de su propia ventilación (Pruebas de respiración espontanea) y la extubación es la extracción del tubo endotraqueal y es el paso final en la liberación del soporte de ventilación mecánica. La extubación se realiza cuando el paciente tiene éxito en la prueba de respiración espontanea (SBT) y se han implementado tanto permeabilidad de las vías respiratorias como las medidas de protección de las vías aéreas (4).

Las pruebas de preparación son imperfectas y algunos pacientes que se considera que están listos para el destete pueden fallar durante la prueba de ventilación espontanea que se realiza posteriormente. Las pautas actuales para el destete recomiendan la prueba de respiración espontánea (SBT) como una herramienta para predecir el resultado del destete. Sin embargo, entre el 13 % y el 26 % de los pacientes que son extubados después de una SBT exitosa necesitan ser

reintubados dentro de las 48 horas (23). Se han utilizado muchos otros parámetros de destete para predecir el fracaso de la extubación, incluido el índice de respiración superficial rápida (RSBI), la ventilación por minuto (VE) y la presión inspiratoria máxima (PImax), pero ninguno ha mostrado una gran precisión pronóstica (20). No se ha demostrado que el destete fallido sea perjudicial si se controla a tiempo y el paciente vuelve a recibir soporte ventilatorio completo ante la presentación de algún signo de intolerancia (Fatiga). Esto hace necesario que se realicen pruebas diarias y repetidas de preparación y de forma paralela se investigue y se trate el motivo del fracaso, siendo algunas de las causas: La sedación excesiva, desarrollo de isquemia miocárdica, debilidad neuromuscular y alteraciones electrolíticas.

Teniendo en cuenta estas posibles etiologías que podrían llevar al fracaso de la extubación nos planteamos la siguiente pregunta de investigación: Cual es el comportamiento de la excursión y del engrosamiento diafragmático en los pacientes que ingresan a la unidad de cuidado intensivo y requirieron ventilación mecánica durante su estancia en el hospital Hernando Moncaleano Perdomo durante el 1 de enero 2022 al 31 agosto del 2022.

3. ANTECEDENTES

La ventilación mecánica es una técnica frecuentemente utilizada como medida de soporte de los pacientes críticamente enfermos, evitando el progreso de estos hacia la muerte, mejorando la hipoxemia y aliviando la dificultad respiratoria. Se utiliza con mayor frecuencia para reemplazar total o parcialmente las funciones de la respiración espontánea al realizar el trabajo de respiración en pacientes con insuficiencia respiratoria. Sin embargo, la ventilación mecánica se ha asociado con potenciales complicaciones que incluyen infecciones, alteraciones hemodinámicas, lesión pulmonar y más recientemente se ha venido estudiando el impacto de la ventilación mecánica sobre el diafragma al generar debilidad muscular y atrofia.

El RSBI y el volumen minuto (VE), ampliamente utilizados en la práctica clínica, son los parámetros de destete que miden el volumen generado por todos los músculos respiratorios sin valorar especialmente la contribución del diafragma. Bajo las circunstancias de la disfunción del diafragma, el movimiento del diafragma se inhibe y los músculos accesorios asumen un papel más importante en la producción del volumen corriente (VT). Por lo tanto, la disfunción del diafragma puede ocultarse por la acción compensatoria de otros músculos respiratorios durante la respiración espontánea. Sin embargo, los músculos accesorios son más débiles y fatigables que el diafragma, por lo que el efecto compensatorio no puede mantenerse durante mucho tiempo. El fracaso del destete puede ocurrir a pesar de una RSBI y VT inicialmente aceptables. Spadaro y colaboradores informaron que muchos pacientes fracasaron en el intento de destete, aunque el RSBI fue mucho más bajo que el umbral que predice el fracaso del destete descrito en el artículo de Yang y Tobin. La excursión diafragmática y el engrosamiento diafragmático reflejan la capacidad del diafragma para generar volumen inspiratorio, por lo tanto, la verdadera contribución diafragmática al VT(8).

La ecografía del diafragma se describió por primera vez a finales de la década de 1960 como un medio para determinar la posición y el tamaño de las lesiones tumorales supra y subfrénicas y para evaluar el movimiento y contorno del diafragma (13). Dos décadas después, Wait y colaboradores desarrollaron una técnica para medir el espesor del diafragma basada en la ecográfica (14).

Recientemente, la ecografía ha surgido como una herramienta para evaluar el diafragma en pacientes ventilados mecánicamente. Esta técnica es atractiva porque no es invasiva, el equipo está disponible en la mayoría de las unidades de cuidado

intensivo y las evaluaciones en serie se pueden realizar fácilmente en comparación con otros métodos (15).

El enfoque habitual de la ecografía de diafragma implica colocar al paciente en decúbito supino, ya que esto ofrece facilidad de uso en pacientes críticamente enfermos, menor variabilidad general de lado a lado y mayor reproducibilidad. La medición diafragmática se realiza a través de dos ventanas acústicas: Zona de aposición y ventana subcostal. En general, existen dos formas principales de evaluación ecográfica del diafragma: determinación de la excursión del diafragma y medición del engrosamiento diafragmático (13).

El primer y más grande estudio sobre la confiabilidad del grosor del diafragma y las mediciones de la fracción de engrosamiento diafragmático en pacientes con ventilación mecánica (n=66) fue realizado en el 2015 por Goligher y colaboradores (16). Las mediciones se realizaron después de marcar la ubicación de la sonda. El coeficiente de reproducibilidad intraobservador e interobservador para el final de la espiración del espesor del diafragma fue de 0,2 mm y 0,4 mm, respectivamente, lo que significa que se espera que la diferencia absoluta entre dos mediciones realizadas por el mismo observador no difiera en más de 0,2 mm en el 95 % de las ocasiones o 0,4 mm en caso de dos observadores diferentes. Mientras que, en general, la ecografía del diafragma parece ser una técnica confiable para evaluar los cambios en el grosor del diafragma a lo largo del tiempo, comparando los resultados de pacientes individuales debe hacerse con un grado de precaución y sólo después de un entrenamiento adecuado. Cinco observadores midieron el grosor del diafragma y la fracción de engrosamiento diafragmático en 96 pacientes con ventilación mecánica. El sitio de colocación de la sonda se marcó en 66 de los 96 pacientes. La fracción de engrosamiento diafragmático se midió en el pico y al final de la inspiración (vía aérea ocluida y diafragma relajado) en nueve voluntarios sanos que inhalaban a diferentes volúmenes pulmonares. Se cuantificó la asociación con la actividad eléctrica del diafragma. El grosor del hemidiafragma derecho se obtuvo en el 95 % de los intentos; las mediciones del hemidiafragma izquierdo no se pudieron obtener de manera consistente. Las mediciones del espesor del hemidiafragma derecho fueron altamente reproducibles (media \pm SD 2,4 \pm 0,8 mm, coeficiente de repetibilidad 0,2 mm, coeficiente de reproducibilidad 0,4 mm), particularmente después de marcar la ubicación de la sonda. Las mediciones de engrosamiento diafragmático fueron solo moderadamente reproducibles (mediana 11 %, IQR 3–17 %, coeficiente de repetibilidad 17 %, coeficiente de reproducibilidad 16 %). La fracción de engrosamiento y la actividad eléctrica del diafragma se correlacionaron positivamente, ($p < 0,01$). La fracción de

engrosamiento fue considerablemente menor en pacientes con ventilación asistida o controlada en comparación con sujetos sanos (mediana 11 frente a 35 %, $p < 0,001$). Se pudo concluir que las mediciones de ultrasonido del grosor del hemidiafragma derecho son factibles y altamente reproducibles en pacientes ventilados. Esta técnica se puede emplear de manera confiable para monitorear el grosor, la actividad y la función del diafragma durante la ventilación mecánica (16).

Ernest DiNino (17), en diciembre de 2013 publicó un estudio prospectivo donde evaluaron si las medidas de engrosamiento del diafragma mediante ultrasonido podrían predecir el éxito o el fracaso de la extubación. Sesenta y tres pacientes ventilados mecánicamente fueron reclutados prospectivamente. El grosor del diafragma se midió en la zona de aposición del diafragma a la caja torácica usando un transductor de ultrasonido de 7 a 10 MHz. El cambio porcentual del grosor del diafragma entre el final de la espiración y el final de la inspiración se calculó durante respiración espontánea o durante presión soporte. Una extubación exitosa se definió como respiración espontánea 48 horas después de la extracción del tubo endotraqueal. De los 63 sujetos estudiados, 27 pacientes fueron destetados con respiración espontánea y 36 fueron destetados con presión soporte. La sensibilidad y especificidad combinadas para una fracción de engrosamiento $\geq 30\%$ para el éxito de la extubación fue del 88% y 71%, respectivamente. El valor predictivo positivo y valor predictivo negativo fueron 91% y 63%, respectivamente y el área bajo la curva fue de 0,79 (17).

Llamas A en 2017 en una revisión sistemática y metaanálisis busco evaluar la precisión de la ecografía de pulmón y diafragma para predecir los resultados del destete en adultos en estado crítico. Incluyeron diecinueve estudios en los que participaron 1071 personas. Para la fracción de engrosamiento del diafragma, el área bajo la curva fue de 0,87. Con respecto a la excursión diafragmática, la sensibilidad combinada fue del 75 % (IC del 95 %, 65-85); especificidad agrupada, 75 % (IC 95 %, 60-85); Según el análisis de metarregresión bivariado, se detectó una especificidad significativamente mayor para la fracción de engrosamiento del diafragma y una mayor sensibilidad para la excursión diafragmática en estudios con problemas de aplicabilidad. Concluyendo que la ecografía del diafragma puede ayudar a predecir el resultado del destete, pero su precisión puede variar según la subpoblación de pacientes (18).

Massimo Zambon y colaboradores, revisaron sistemáticamente la literatura hasta el 2018 evaluando la utilidad y precisión de la ecografía diafragmática en la unidad de cuidados intensivos, incluyeron veinte estudios con 875 pacientes. La

ultrasonografía diafragmática se realizó con diferentes técnicas para medir la excursión inspiratoria diafragmática, el grosor del diafragma y la fracción de engrosamiento de los pacientes en la unidad de cuidado intensivo. Los puntos de corte óptimos oscilaron entre 10 y 14 mm para la excursión y entre 30 y 36 % para la fracción de engrosamiento. Concluyeron que la ultrasonografía diafragmática podría ser una herramienta útil y precisa para detectar la disfunción diafragmática en pacientes en estado crítico, para predecir el éxito o el fracaso de la extubación, para monitorear la carga de trabajo respiratorio y para evaluar atrofia en pacientes ventilados mecánicamente (19).

Caifeng Li, en el 2018, realizó un metaanálisis donde evaluó la precisión de la ecografía diafragmática para predecir la reintubación dentro de las 48 horas posteriores a la extubación, incluyó trece estudios con 742 sujetos. Las sensibilidades agrupadas para la excursión del diafragma y la fracción de engrosamiento diafragmático fueron 0,786 y 0,893, y las especificidades agrupadas fueron 0,711 y 0,796, respectivamente. El área bajo la curva (AUC) para la excursión diafragmática y fracción de engrosamiento fue de 0,8590 y 0,8381. Los resultados sugieren una menor sensibilidad y especificidad en la excursión diafragmática en comparación con la fracción de engrosamiento para predecir el resultado del destete. La fracción de engrosamiento refleja la contracción activa del diafragma durante la ventilación mecánica, mientras que la excursión diafragmática se relaciona principalmente con el volumen inspirado, independientemente de que dependa del esfuerzo muscular o del soporte ventilatorio. Por lo tanto, la fracción de engrosamiento debe medirse para estimar la función del diafragma en pacientes sometidos a ventilación mecánica, mientras que la excursión diafragmática es significativa en ausencia de soporte ventilatorio. Además, la disfunción diafragmática es la principal causa del fracaso del destete, pero no la única, por lo que es fundamental contextualizar la información derivada de la ecografía diafragmática con los datos clínicos y de laboratorio, así como la información obtenida de otras tecnologías de imagen como la tomografía computarizada y ecocardiografía. Este metaanálisis concluye que la ecografía diafragmática puede ser una forma confiable, no invasiva y conveniente de predecir la reintubación dentro de las 48 horas posteriores a la extubación (20).

Para el 2020 García Aldara y colaboradores, en un metaanálisis que incluyó un total de 18 estudios prospectivos que reclutaron 1.229 pacientes intubados sometidos a ventilación mecánica encontraron que el destete fracasó en 254 de los 490 (52%) pacientes con disfunción diafragmática, comparado con 117 de los 739 (16%) pacientes sin disfunción diafragmática. La presencia de disfunción diafragmática

evaluada por ecografía se asoció significativamente con el fracaso del destete en los siete primeros días después de la extubación (OR 8,2; IC 95%, 4,7-14,2; $p < 0,0001$; $I^2 = 66\%$). Los resultados fueron consistentes para los estudios que evaluaron el diafragma de forma uni o bilateral. Concluyeron que la disfunción diafragmática evaluada por ecografía se asocia al fracaso del destete en los siete primeros días después de la extubación (21).

En una Unidad de Cuidado Intensivo Médico de un hospital académico de la ciudad de Bogotá (Colombia) para el año 2021 realizaron un estudio de exactitud diagnóstica para evaluar la ecografía diafragmática como predictor de éxito en la extubación. Incluyeron pacientes mayores de 18 años que recibieron ventilación mecánica invasiva durante más de 48 horas y aplicaron la ecografía diafragmática al finalizar la prueba de ventilación espontánea evaluando la excursión diafragmática (ED, cm), el tiempo de inspiración (TPIAdia, s), la velocidad de contracción del diafragma (ED/TPIAdia, cm/s), el tiempo total (Ttot, s) y la fracción de engrosamiento (TFdi, %). De los 84 pacientes incluidos, el 79,8% ($n = 67$) con extubación exitosa y el 20,2% ($n = 17$) con extubación fallida. La variable con mejor capacidad discriminatoria para predecir éxito en la extubación fue la velocidad de contracción, con un AUC-ROC de 0,70 ($p = 0,008$). Concluyeron que la velocidad de contracción diafragmática mostró una capacidad discriminatoria aceptable y que la ultrasonografía podría formar parte de un abordaje multifactorial en el proceso de extubación (22).

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Describir el comportamiento de la excursión y del engrosamiento diafragmático en los pacientes que ingresan a la unidad de cuidado intensivo del hospital Hernando Moncaleano Perdomo y requieren ventilación mecánica entre el 1 de enero de 2022 hasta el 31 de agosto de 2022.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización sociodemográfica de los pacientes que ingresan a la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano Perdomo y requieren ventilación mecánica entre el 1 de enero de 2022 hasta el 31 de agosto de 2022.
- Describir las condiciones clínicas y paraclínicas en los pacientes que ingresaron a la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano Perdomo y requirieron ventilación mecánica entre el 1 de enero de 2022 al 31 de agosto de 2022.
- Identificar los principales diagnósticos de los pacientes que ingresaron a la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano Perdomo y requirieron ventilación mecánica entre el 1 de enero de 2022 hasta el 31 de agosto de 2022.
- Describir la medida del desplazamiento diafragmático y la fracción de engrosamiento diafragmático de los pacientes que ingresan a la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano Perdomo y requieren ventilación mecánica entre el 1 de enero de 2022 hasta el 31 de agosto de 2022.
- Establecer si existe relación entre el diagnóstico de ingreso a la unidad de cuidado intensivo y lesión diafragmática entre el 1 de enero de 2022 hasta el 31 de agosto de 2022.

5. MARCO TEORICO

La ventilación mecánica es una técnica frecuentemente utilizada como medida de soporte de los pacientes críticamente enfermos, evitando el progreso de estos hacia la muerte. Existen varias indicaciones para el inicio de la ventilación mecánica en la unidad de cuidado intensivo dentro de estas encontramos procesos de llenado alveolar (Neumonitis, edema pulmonar cardiogénico y no cardiogénicos, lesión por inhalación, síndrome de dificultad respiratoria del adulto (SDRA), hemorragia pulmonar), enfermedad vascular pulmonar (Tromboembolismo pulmonar, embolia de líquido amniótico, émbolos tumorales), enfermedades que causan obstrucción de las vías respiratorias (exacerbación aguda de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma aguda y grave), hipoventilación por disfunción del sistema nervioso central o de músculos respiratorios (Esclerosis lateral amiotrófica, cuadriplejia cervical, síndrome de guillan barre, miastenia gravis, tétanos, toxinas, distrofia muscular), hipoventilación por enfermedad de la pared torácica la pleura (trauma, tórax inestable, derrame pleural masivo, neumotórax) y algunos procesos que tienen una mayor demanda ventilatoria (Choque séptico y acidosis metabólica (1) Durante la ventilación mecánica, se fuerza una mezcla predeterminada de aire (Oxígeno y otros gases) hacia las vías respiratorias centrales y luego fluye hacia los alveolos, con el objetivo de apoyar el intercambio de gases pulmonar basado en la ventilación alveolar y oxigenación arterial, reducir el costo metabólico de la respiración, también se busca mejorar la hipoxemia, resolver la acidosis respiratoria, aliviar la dificultad respiratoria, prevenir la fatiga de los músculos respiratorios, disminuir el consumo de oxígeno sistémico al miocardio y proteger las vías respiratorias.

La ventilación mecánica en si misma causa atrofia del musculo diafragmático, un fenómeno llamado disfunción diafragmática inducida por el ventilador (VIDD), conduciendo tempranamente (24 horas) un tipo de atrofia por desuso que afecta las fibras musculares diafragmáticas, esta atrofia diafragmática puede asociarse con ventilación mecánica prolongada, dificultad para el destete, estancia prolongada en unidad de cuidado intensivo y mayor riesgo de complicaciones.

A continuación, se realiza una aproximación a las características anatómicas y fisiológicas del diafragma, así como los mecanismos fisiopatológicos relacionados con la lesión diafragmática asociada a la ventilación mecánica.

5.1. EL DIAFRAGMA

5.1.1. Tipos De Fibras Musculares Y Diafragmáticas. Los músculos respiratorios son los generadores de fuerza que impulsan el sistema respiratorio. Se considera que el diafragma es el musculo respiratorio inspiratorio primario, puesto que moviliza alrededor del 70% del volumen corriente que se intercambia en circunstancias normales. En personas adultas, el diafragma se compone de tres tipos de fibras musculares esqueléticas clásicas: tipo 1 (60%), tipo 2A (20%) y tipo 2B (20%) (24,25,26). Las fibras musculares esqueléticas se diferencian según las siguientes características:

- Velocidad de acortamiento: Es decir fibras rápidas y lentas
- Vía principal de formación de ATP: Según sean fibras oxidativas o glucolíticas.

Las fibras musculares se componen de dos filamentos proteínicos contráctiles: Miosina (Filamento grueso) y actina (Filamento delgado). Las fibras que contienen miosina con elevada actividad de ATPasa (enzima que cataliza la hidrólisis del ATP para formar ADP, lo que libera la energía química almacenada en el ATP), se clasifican como fibras rápidas, mientras que las que contienen miosina con menos actividad de ATPasa son fibras lentas. En general, mientras más energía esté disponible para la contracción, mayor será la velocidad de acortamiento de la fibra muscular. La segunda manera de clasificar las fibras musculares diafragmáticas es según el tipo de maquinaria celular de la que disponga para sintetizar ATP. Las fibras con altas concentraciones de mitocondrias y enzimas oxidativas tienen alta capacidad de fosforilación oxidativa, y por ende se clasifican como fibras oxidativas.

Estas fibras también tienen numerosos capilares y alto contenido de mioglobina. En contraste las fibras glicolíticas tienen pocas mitocondrias, pero poseen altas concentraciones de enzimas glicolíticas con grandes depósitos de glucógeno. Estas fibras tienen pocos vasos sanguíneos y poca cantidad de mioglobina. Según estas características, los tres tipos de fibras musculares esqueléticas diafragmáticas se identifican así:

- Tipo 1: Fibras de oxidación lenta
- Tipo 2A: Fibras de oxidación rápida
- Tipo 2B: Fibras de glicolisis rápida

Las fibras musculares difieren en tamaño y capacidad de desarrollar fuerza. Las fibras glicolíticas son de mayor diámetro que las oxidativas. Mientras mayor sea el diámetro de la fibra muscular, más fuerza o tensión podrá desarrollar. En consecuencia, las fibras de tipo 2B (orientadas a la fuerza) generan más fuerza que las fibras de tipo 1 durante la contracción. Adicionalmente las fibras musculares difieren en su capacidad de resistir a la fatiga (pérdida de la capacidad de generar fuerza del músculo). Las fibras de tipo 2B se fatigan rápidamente, mientras que las fibras de tipo 1 son muy resistentes a la fatiga (orientadas a la resistencia), lo que les permite mantener su actividad contráctil por periodos prolongados. Las fibras de tipo 2A tienen una capacidad intermedia de resistir a la fatiga. En general el diafragma está más orientado a la resistencia (Actividad de baja tensión y alta repetición) que a la fuerza (actividad de alta tensión y baja repetición, ya que la mayor parte de su masa muscular se compone de fibras de oxidación lenta de tipo 1(24, 25, 26).

5.1.2. Acciones Del Diafragma. El diafragma puede considerarse como un pistón con dos partes o como dos músculos. La sección costal del diafragma forma los lados del “pistón”, con una zona de yuxtaposición a las costillas; la sección crural o cúpula del diafragma forma la parte superior. Al ser estimulado el nervio frénico, las fibras diafragmáticas costales se acortan en la zona de yuxtaposición; el diafragma se contrae y desciende, la cavidad torácica se expande y las vísceras abdominales se desplazan en sentido caudal. Así, el principal cambio en la forma del diafragma es el desplazamiento axial semejante al de un pistón de la cúpula diafragmática como resultado del acortamiento de las fibras musculares yuxtapuestas. Simultáneamente, la presión intrapleural disminuye y la presión abdominal aumenta (27).

5.1.3. Mecanismos De Disfunción Del Diafragma. El primer estudio que reporta evidencia de atrofia del diafragma en adultos fue publicado por Levine y colaboradores (29). Este grupo estableció, en 14 donantes de órganos en muerte cerebral, que la atrofia por desuso se produjo poco después del inicio de la ventilación mecánica controlada. Además, la atrofia de las fibras musculares se asoció con signos de aumento del estrés oxidativo y con un aumento de la proteólisis muscular guiada por biomarcadores. El estrés oxidativo, la síntesis baja de proteínas y la activación de vías proteolíticas representan los cambios bioquímicos de la disfunción del diafragma. A continuación, se ampliarán los cambios que ocurren en la fibra de músculo diafragmático durante disfunción diafragmática asociada con la ventilación mecánica.

5.1.3.1. *Atrofia muscular.* Aunque la reducción en la capacidad generadora de fuerza diafragmática encontrada después de la ventilación mecánica controlada no puede atribuirse únicamente a la atrofia del músculo, el desgaste diafragmático deteriora aún más la generación de presión inspiratoria máxima. Además, debido a que la susceptibilidad a la fatiga diafragmática in vivo está inversamente relacionada con la máxima fuerza, la atrofia del diafragma también aumentará el riesgo de fatiga diafragmática una vez que se reanuda la respiración espontánea, por ejemplo, durante los intentos de destete de la ventilación mecánica. En la mayoría de los estudios experimentales se ha observado reducción de la masa muscular del diafragma y/o atrofia de las fibras musculares después de la ventilación mecánica controlada. Un estudio en ratas (30) mostro que la atrofia se desarrolla más rápidamente (18 horas) y a una extensión significativamente mayor en el diafragma durante la ventilación mecánica que en los músculos esqueléticos periféricos, a pesar de que estos últimos también estuvieron inactivos. En términos generales, la atrofia por desuso puede resultar de la disminución de la síntesis de proteínas, aumento de la proteólisis, o ambos. La disminución de la síntesis de proteínas en el diafragma no ha sido documentada, pero se puede anticipar sobre la base de modelos previos de desuso muscular. La proteólisis aumentada ha sido documentada en diafragmas de rata después de 18 horas de ventilación mecánica controlada (30). Entre los tres sistemas proteolíticos primarios empleados por células de mamíferos se encuentran: proteasas lisosomales, calpaínas y la proteasoma, tanto las calpaínas como la proteasoma se activan en el diafragma durante la ventilación mecánica controlada. Las calpaínas no se degradan por completo, pero si escinden parcialmente las proteínas, lo que las convierte en susceptibles a la proteasoma. La proteasoma existe en dos grandes formas: La proteasoma 26S degrada las proteínas en un proceso mediado por ubiquitina, dependiente de energía, y es el principal responsable de la atrofia muscular en varios estados patológicos (Ejemplo: cáncer, síndrome de inmunodeficiencia adquirida, trauma). La proteasoma 20S está especializado en degradar proteínas oxidadas por reactivos de especies de oxígeno (Radicales libres), sin necesidad de conjugación de ubiquitina o hidrólisis de ATP. En los modelos animales se encontró un 500% de aumento en la actividad del proteosoma 20S. Este aumento en la actividad del proteosoma 20S, junto con la evidencia de modificación de proteínas inducida por estrés oxidativo en los diafragmas de animales expuestos a CMV, sugiere que el estrés oxidativo tiene un papel central en la patogenia de la atrofia diafragmática durante la ventilación mecánica controlada (31).

5.1.3.2. *Estrés oxidativo.* La ventilación mecánica controlada se asocia con un aumento del estrés oxidativo en el diafragma, como lo indica el aumento de la oxidación de proteínas y de lípidos, subproductos de peroxidación (31). El inicio de las modificaciones oxidativas es rápido y ocurre dentro de las 6 horas posteriores a la instauración de la ventilación mecánica. La actividad de la enzima antioxidante superóxido dismutasa también se ha encontrado aumentada (31), lo que sugiere que las defensas antioxidantes son inducidas en un intento de limitar el estrés oxidativo celular mediado por lesión. Curiosamente, también se ha observado un aumento del estrés oxidativo después del desuso de los músculos de las extremidades, aunque el período de inmovilización requerido para mostrar este cambio fue significativamente más largo (31). El aumento del estrés oxidativo se ha relacionado fuertemente con la disfunción diafragmática y la debilidad en otras condiciones. Esto es consistente con el hecho de que una serie de proteínas involucradas en la energía, el acoplamiento excitación-contracción y la generación de fuerza demuestran una propensión a la modificación oxidativa. En un estudio la oxidación de proteínas diafragmáticas inducida por ventilación mecánica fue evidente en proteínas insolubles, con masas moleculares de aproximadamente 200, 128, 85 y 40 Kd. Estos hallazgos plantean la posibilidad de que la actina (40 kD) y/o la miosina (200 kD) experimentan modificación oxidativa durante la ventilación mecánica controlada (31).

5.1.3.3. *Lesión estructural.* Las anomalías estructurales de diferentes componentes subcelulares se han encontrado en las fibras musculares del diafragma después de 2-3 días de ventilación mecánica controlada en modelos animales. Los cambios consistieron en ruptura de miofibrillas, aumento del número de vacuolas lipídicas en el sarcoplasma y mitocondrias anormalmente pequeñas que contienen disrupciones en su membrana (32). El mecanismo preciso de lesión estructural no ha sido claramente identificado, pero hay al menos tres explicaciones plausibles:

- Activación de calpaínas: Estas tienen la capacidad de degradar varias proteínas de la sarcomera
- Lesión celular directa secundaria a aumento estrés oxidativo
- Episodios de los llamados “Breakthrough” o actividad diafragmática durante la ventilación mecánica.

Después de un período sostenido de descarga muscular, la reanudación de la actividad muscular está asociada con una mayor vulnerabilidad a la contracción muscular que induce lesión de fibras. Por lo tanto, estos hallazgos sugieren que hay

un aumento en la susceptibilidad del diafragma a la lesión inducida por la contracción cuando se reanudan los esfuerzos respiratorios, como durante los intentos en el destete del ventilador (28, 34).

5.1.3.4. *Remodelación de Fibras Musculares.* A nivel molecular, el componente de la cadena pesada de miosina constituye la base principal para la tradicional clasificación de las fibras musculares como de contracción lenta (Tipo I) o de contracción rápida (Tipo II). Los músculos pueden modificar su perfil de cadena pesada de miosina por fibras de atrofia/hipertrofia, fibras que contienen una isoforma específica de cadena pesada de miosina y transformación real de un tipo de fibra a otro. Tanto a corto plazo (< 48 horas) como a largo plazo la ventilación mecánica controlada puede resultar en modificaciones significativas de las cadenas pesadas de miosina dentro el diafragma. Por lo tanto, después de 18 horas de ventilación mecánica controlada en modelos animales, tanto las fibras de Tipo I como las de tipo II presentan reducción en su tamaño, pero con la fibra Tipo II la cual se caracteriza por presentar un mayor grado de atrofia (28). De acuerdo con lo anterior, con 24 horas de ventilación mecánica se redujeron los niveles de transcripción de las isoformas de miosina tipo IIa y IIb en alrededor del 20% (28,35).

Vassilakopoulos T y colaboradores en 2003 realizaron una revisión de la evidencia y resumieron los cambios celulares que se presentan en el diafragma asociados con el fenómeno de disfunción diafragmática asociada con el ventilador (28). Basados en estudios realizados en animales, se ha encontrado consistentemente que la ventilación mecánica controlada conduce a disminución de la capacidad de generación de fuerza del diafragma. En el diafragma intacto de varias especies animales estudiadas se encontró que la generación de presión transdiafragmática in vivo durante la estimulación nerviosa (fase frénica) se reduce significativamente a pesar de frecuencias de estimulación máximas y submáximas. La disminución de la fuerza se hace evidente bastante temprano, por lo tanto, se ha considerado que se encuentra directamente relacionado con el tiempo. Por ejemplo, en un estudio encontraron disminución de la fuerza en 1 día en conejos, 3 días en lechones y además empeoramiento a medida que se prolonga la ventilación mecánica (33).

Dentro de unos pocos días de instituir ventilación mecánica controlada (3 días en conejos, 5 días en lechones, 11 días en bovinos), la capacidad de generar presión del diafragma se disminuyó en un 40-50%. La resistencia del diafragma también se ve afectada negativamente, como lo indica una capacidad reducida para sostener la fuerza diafragmática frente a una carga resistiva inspiratoria.

Se ha encontrado también que la disminución de la capacidad del diafragma de generar fuerza no se debe a cambios en el volumen pulmonar o distensibilidad abdominal (32) y que la transmisión del impulso nervioso a nivel del nervio frénico y la unión neuromuscular también permanece intacta (33). De acuerdo con los estudios del diafragma intacto in vivo, las mediciones de contractilidad realizadas en tiras de diafragma aisladas también indican una rápida (12 horas), progresiva y severa disminución de la función contráctil durante la ventilación mecánica controlada. La reducción en la producción de fuerza isométrica máxima está en el orden de 30-50% después de 1-3 días de ventilación mecánica controlada (28).

Existe poca información sobre la proporción de pacientes tratados con ventilación mecánica en las unidades de cuidado intensivo, sus enfermedades subyacentes, los modos de ventilación utilizados, la duración del soporte del ventilador, los métodos y el tiempo requerido para el destete y la mortalidad en estos pacientes.

Esteban A y colaboradores realizaron un estudio transversal multicéntrico en 47 unidades de cuidado intensivo médico-quirúrgicas de España para investigar los aspectos mencionados en 290 pacientes que requirieron ventilación mecánica durante al menos 24 horas. La frecuencia relativa de los diferentes modos fue la siguiente: ventilación asistida-controlada (AC)55%; ventilación mandatoria intermitente sincronizada (SIMV)26%; ventilación con soporte de presión (PSV)8%; SIMV más PSV 8%; ventilación controlada por presión (PCV), 1%; y presión positiva continua en las vías respiratorias (CPAP)2% (36). Se utilizaron como técnicas para el destete: tubo en T 24 %; SIMV18%; PSV15%; SIMV más PSV 9% (36). El tiempo requerido para el destete utilizando una combinación de SIMV y PSV fue mayor (17,8 días) que con otras técnicas (alrededor de 5 días, $p < 0,01$). El tiempo entre el inicio del destete y la eliminación de la ventilación mecánica representó el 41 % del tiempo total del ventilador y fue particularmente alto (59 %) en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. La tasa de mortalidad general fue del 34 % y fue mayor en los pacientes que recibieron ventilación durante 1 a 10 días que en los que recibieron ventilación durante más tiempo (36). A pesar de la disponibilidad de varios modos nuevos de asistencia respiratoria, los modos más antiguos, como AC y SIMV, se usaban con más frecuencia (36).

Durante la aplicación de la ventilación mecánica los factores al inicio como las complicaciones de la enfermedad crítica a lo largo del tiempo influyen en el resultado de los pacientes durante el proceso de liberación de la ventilación mecánica, en el 2002 un estudio de cohorte prospectivo en pacientes adultos ingresados en 361 unidades de cuidado intensivo en 20 países evaluó el resultado de los pacientes

que reciben ventilación mecánica durante más de 12 horas. Se incluyeron 15.757 pacientes durante el periodo de estudio, encontrando a los 28 días que el género masculino representa más de la mitad de los pacientes (61% varones) que reciben ventilación mecánica en la unidad de cuidado intensivo, sin embargo la tasa de mortalidad hospitalaria fue mayor para las pacientes femeninas en comparación con los pacientes masculinos a pesar de la similar gravedad de la enfermedad y el número de trastornos del sistema orgánico al inicio de la ventilación mecánica (28).

El 77 % de las 361 unidades de cuidado intensivo incluidas eran medico/quirúrgicas. Realizaron un total de 5.199 intentos de destete en 3.640 pacientes, utilizando ensayos de destete una vez al día en 2833 intentos (77.8%), múltiples ensayos de destete en 510 intentos (14%), reducción gradual de la presión soporte en 752 intentos (20.7%), reducción progresiva de la ventilación mandatoria intermitente sincronizada en 311 (8,5%) intentos y reducción progresiva del uso simultáneo de ventilación mandatoria intermitente sincronizada y presión de soporte en 793 (21,8%) intentos. Las pruebas de destete se realizaron con un tubo en T en 1725 (51,6%) intentos, presión positiva continua en las vías respiratorias en 643 (19,2 %) intentos, presión de soporte de aproximadamente 7 cm H₂O en 943 (28,2 %) intentos y flujo -por en 32 (1,0%) intentos (23). Realizaron extubación deliberada en 2858 (55,1%) pacientes; de estos pacientes, 350 (12,2%) requirieron reintubación dentro de las 48 horas (23). Entre los 5183 pacientes estudiados, 1590 fallecieron en la unidad de cuidado intensivo (mortalidad global de la unidad: 30,7%) (23). De 4718 pacientes con estado vital conocido al alta hospitalaria, 1876 estaban vivos (mortalidad hospitalaria: 39,2%) (23). La mortalidad en unidad de cuidado intensivo asociada a la reintubación fue del 32,4% en pacientes con extubación no planificada y del 22,6% en pacientes con extubación planificada (23).

El destete de la ventilación mecánica puede representar hasta el 50% de la duración total de la ventilación mecánica de un paciente en cuidado intensivo (23). El fracaso de la extubación, definido como la necesidad de reintubación dentro de las 48 horas de la extubación programada, es una complicación frecuente que ocurre en 13% a 22% de las extubaciones (23). El fracaso de la extubación se reconoce como un factor de riesgo independiente de mortalidad y de neumonía infecciosa. Sí se detectan pacientes con riesgo de fracaso en la extubación, se recomienda realizar una prueba de retiro la cual se debe realizar antes de la extubación programada.

Durante estas pruebas se recogen parámetros de carácter clínico (frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, presión arterial, saturación), ventilatorio (FiO₂, volumen corriente) y ultrasónicas (ecografía cardíaca, respiratoria, y diafragmática).

Aunque son numerosos y relativamente eficaces, todos estos determinantes tienen limitaciones en términos de especificidad y sensibilidad, lo que explica el desafío de encontrar nuevos, criterios más fiables. La prueba de destete corresponde a una prueba de ventilación espontánea ya sea en PEEP (Presión Espiratoria Final Cero, es decir, nivel de presión soporte de 7 cmH₂O y presión espiratoria positiva de 0 cmH₂O) o con tubo en T. La prueba del tubo en T tiene la ventaja de realizarse sin ningún soporte ventilatorio y de probar la capacidad del paciente para hacer frente solo a las limitaciones de cambiar de ventilación de presión positiva (ventilador) a presión negativa ventilación (espontánea)(23).

La disfunción diafragmática es un problema particularmente frecuente en cuidados intensivos. Esta disfunción puede ser preexistente al ingreso o adquirida durante la estancia en la unidad. Actualmente se reconoce que desde las primeras horas de ventilación mecánica hay una lesión del músculo diafragmático. Esta disfunción se evalúa fácilmente utilizando ultrasonografía pulmonar. Sin embargo, múltiples causas parecen estar asociadas y potenciadas en la aparición de este trastorno, como la sepsis, el uso de relajantes neuromusculares o corticoesteroides, o la presencia de lesiones anatómicas durante cirugía abdominal y torácica. Demoule A y colaboradores en un estudio prospectivo encontraron que la sepsis fue un importante factor de riesgo independiente para la disfunción del diafragma en pacientes ingresados a la unidad de cuidado intensivo (37). Estudios previos han sugerido la posibilidad de disfunción del diafragma inducida por sepsis en humanos (38), estos hallazgos basados en una asociación entre sepsis y dificultades en el destete del ventilador. Estudios electromiográficos e histopatológicos realizados muy temprano durante las estancias en la UCI han demostrado que más del 50% de los pacientes con sepsis grave presentan signos de daño neuromuscular (39).

En la población de la unidad de cuidados intensivos, aproximadamente el 40% de los pacientes requieren ventilación mecánica y 20-25% de estos pacientes encontrará dificultades en el destete de la ventilación mecánica. La disfunción del diafragma, como resultado de la ventilación mecánica, puede contribuir significativamente a estas dificultades. La disfunción diafragmática inducida por el ventilador (VIDD) se define como una reducción de la capacidad de generación de fuerza del diafragma. Estudios han demostrado que la inactividad diafragmática está asociada con la ventilación mecánica y contribuye a la disfunción (40). La debilidad diafragmática que ocurre con la ventilación mecánica también se asocia con un aumento significativo de la mortalidad y la duración de la ventilación mecánica, por lo que es importante para identificar y manejar esta disfunción de manera temprana (40). Este estudio de 55 pacientes concluye que existe una correlación moderada

entre el espesor del diafragma y la fuerza del diafragma en individuos sanos. Sin embargo, el IMC y el género son importantes variables para considerar al interpretar el espesor y la fuerza del diafragma. La fatiga del diafragma no se correlacionó con el grosor o la fuerza del diafragma, pero puede verse afectado por la línea de base del nivel de actividad. La resistencia de los músculos respiratorios se asoció con medidas del grosor y la fuerza del diafragma en un subgrupo de participantes. Por lo tanto, la ecografía puede ayudar a los médicos con la identificación temprana de pacientes con riesgo de comprometer la fuerza y la resistencia diafragmática y permiten una intervención más temprana y específica (40).

A pesar de ser una intervención eficaz para el mantenimiento de la vida de los pacientes críticos, la ventilación mecánica (VM) produce complicaciones entre el 18 y el 80% de los pacientes, por lo que es deseable su suspensión (destete) tan pronto como el enfermo sea capaz de mantener una respiración espontánea (41).

Actualmente las guías de práctica clínica recomiendan la realización de una prueba de respiración espontánea (PRE) como herramienta para predecir un destete exitoso en pacientes intubados sometidos a ventilación mecánica (42). Se trata de una prueba en la que se evalúa la capacidad del paciente para respirar espontáneamente con el mínimo soporte respiratorio posible. Habitualmente se realiza utilizando un modo de ventilación de presión soporte (PSV) o una prueba de pieza en T. Se puede proceder al destete si el paciente puede mantener el intercambio gaseoso a mínimos niveles de presión de soporte (generalmente de 5-10 cm H₂O) o con la pieza en T. Sin embargo, esta prueba no está convenientemente estandarizada y la decisión sobre el momento de realizarla varía de unas unidades a otras. Además, entre un 13 y un 26% de los pacientes que son extubados por una prueba de respiración espontánea positiva necesitan ser reintubados en las primeras 48 horas tras el destete (40). El uso de la ecografía se está extendiendo progresivamente en las Unidades de Cuidado Intensivo debido a su portabilidad, velocidad y seguridad para el manejo de distintos procesos. Como la disfunción del diafragma predispone a complicaciones respiratorias que pueden prolongar la duración de la ventilación mecánica y como la ecografía proporciona información morfológica y funcional en tiempo real, esta técnica podría ser útil para evaluar la función del diafragma y para decidir el momento preciso de la extubación (43).

Debido a la falta de consenso sobre el procedimiento de la técnica y a la falta de estandarización de los puntos de corte para definir la disfunción diafragmática, los estudios individuales han proporcionado resultados contradictorios (42).

Durante la última década, muchos parámetros clínicos y paraclínicos han sido estudiados para evaluar el destete de la ventilación mecánica (Figura 1).

Figura 1. Consideraciones Para Evaluar La Preparación Para El Destete

CONSIDERACIONES PARA EVALUAR LA PREPARACION PARA EL DESTETE	
Evaluación Clínica	Tos adecuada
	Ausencia de secreciones traqueobronquiales abundantes
	Resolución de la enfermedad aguda por la cual el paciente fue intubado
Medidas objetivas	Estabilidad clínica
	Estado cardiovascular estable: Fc < 140 lpm, PAS 90 - 160 mm hg, No o mínimo vasopresor
	Estado metabólico estable
	Decuada oxigenación: Sato ₂ > 90%, Fio ₂ > 40% o Pafi > 150 mm hg, Peep < 8 cm H ₂ O
	Adecuada función pulmonar:
	Fr < 35 pm
	Pmax > -20 a -25
	Vt: > 5 ml/kg
	Vc > 10 ml /kg (Capacidad vital)
	Fr/Vt < 106 respiraciones/mint
	Acidosis respiratoria no significativa
	Estado mental adecuado
	Sin sedación o adecuado estado mental en sedación

Han surgido muchos criterios ecográficos, centrándose en primer lugar en la función cardíaca y pleuropulmonar y, más recientemente, sobre la función diafragmática. Hasta la fecha, dos parámetros de evaluación diafragmática parecen ser de interés para predecir el riesgo de reintubación: estos son la evaluación por ultrasonografía del cambio en el grosor del diafragma y la fracción de engrosamiento a lo largo del tiempo.

Estos dos parámetros evalúan la deformación y la velocidad de deformación del diafragma entre dos momentos puntuales que son el final de espiración en la posición de reposo y el final de la inspiración máxima (44).

5.2. TÉCNICA ULTRASONOGRAFICA

5.2.1. Técnica Ultrasonográfica del diafragma.

La ecografía del diafragma se describió por primera vez a finales de la década de 1960 como un medio para determinar la posición y el tamaño de las lesiones tumorales supra y subfrénicas y para evaluar el movimiento y contorno del diafragma (13). Dos décadas después, Wait y colaboradores, desarrollaron una

técnica para medir el espesor del diafragma basada en la ecográfica (14). Recientemente, la ecografía ha surgido como una herramienta para evaluar el diafragma en pacientes ventilados mecánicamente. Esta técnica es atractiva porque no es invasiva, el equipo está disponible en la mayoría de las unidades de cuidado intensivo y las evaluaciones en serie se pueden realizar fácilmente en comparación con otros métodos (15).

El enfoque habitual de la ecografía de diafragma implica colocar al paciente en decúbito supino, ya que esto ofrece facilidad de uso en pacientes críticamente enfermos, menor variabilidad general de lado a lado y mayor reproducibilidad.

La medición diafragmática se realiza a través de dos ventanas acústicas: Zona de aposición y ventana subcostal. En general, existen dos formas principales de evaluación ecográfica del diafragma: determinación de la excursión del diafragma y medición del engrosamiento del diafragma (14).

5.3. EXCURSION DEL DIAFRAGMA

El movimiento craneocaudal de la cúpula del diafragma durante la respiración tranquila y durante los esfuerzos inspiratorios fuertes como las maniobras de olfateo o las inspiraciones máximas se pueden evaluar utilizando sondas de ultrasonido curvas. Estas sondas utilizan ondas de ultrasonido de baja frecuencia (2 – 6 Hz) que penetran profundamente en el cuerpo dando una amplia profundidad de campo (Figura 5). A la derecha el operador se coloca la sonda longitudinalmente en el área subcostal entre las líneas axilar anterior y media clavicular utilizando el hígado como ventana acústica. La sonda se dirige medial, cefálica y dorsalmente de modo que el haz de ultrasonido alcance la cúpula derecha del diafragma perpendicularmente (Figura 2). En el lado izquierdo el operador utiliza el bazo como ventana acústica (15). Con menos frecuencia se utilizan las vistas laterales derecha o izquierda. Una vez que se obtiene una imagen en modo B de buena calidad, el operador ajusta el modo M perpendicular al hemidiafragma. Con la ecografía en modo M, el diafragma aparece como una única línea ecogénica gruesa. Durante la inhalación, el diafragma contraído se mueve hacia la sonda de ultrasonido. La excursión del diafragma es mayor en hombres que en mujeres. Los valores normales informados del movimiento del diafragma durante la respiración tranquila y la respiración profunda oscilan entre 26 y 30 mm y 16.7 a 110mm respectivamente (48, 49).

5.3.1. Desplazamiento: Sonda Convexa: Exploración diafragmática en movimiento: Inspiración tranquila, Inspiración profunda, realizar mediciones en modo B y modo M (Figura 3 y 4).

Figura 2. Colocación De La Sonda Para Medir Excursión Diafragmática Derecha



Imagen de la autoría del investigador. Colocación de la sonda de baja frecuencia. A la derecha el operador, sonda longitudinal en el área subcostal, dirigida medial y cefálica entre las líneas axilar anterior y media claviclar utilizando el hígado como ventana acústica

Figura 3. Modalidades Ecográficas Utilizadas Para Examinar La Excursión Diafragmática



A la derecha imagen obtenida usando la ventana acústica hepática, con sonda convexa utilizando modo B; a la izquierda se observa el diafragma como una línea hiperecoica con movimiento sinusoidal, en modo M, con ascenso durante la inspiración y descenso en espiración. (50).

Figura 4. Excursión Diafragmática Derecha En Un Paciente Con Ventilación Mecánica

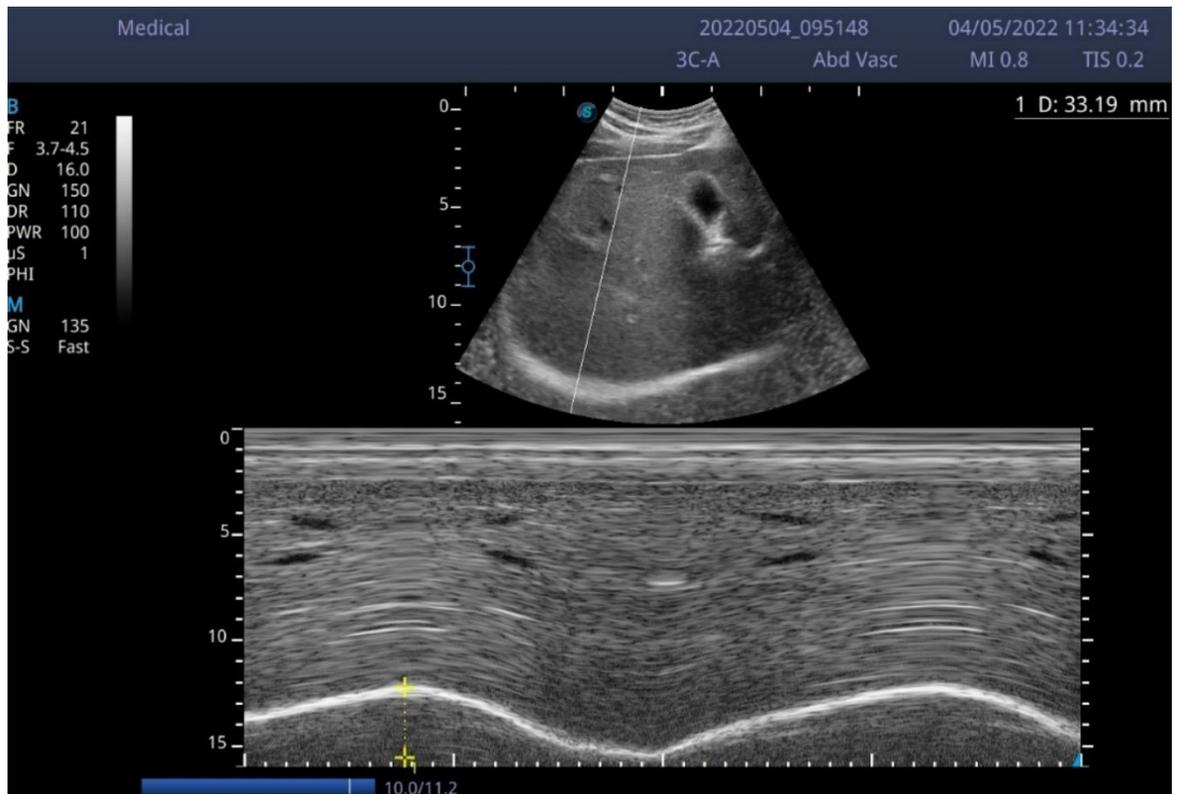


Imagen de la autoría del Investigador donde se evidencia en modo B (Arriba) y modo M (Abajo) la excursión diafragmática derecha en un paciente con ventilación mecánica

Figura 5. Sondas Ecográficas Empleadas Para El Estudio Ecográfico Del Diafragma

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

Tomado de: Cecilia m. Acosta. Estudio sonográfico del diafragma. Una nueva herramienta diagnostica para el anestesiólogo. Rev Chil Anest 2018; 47: 110-124

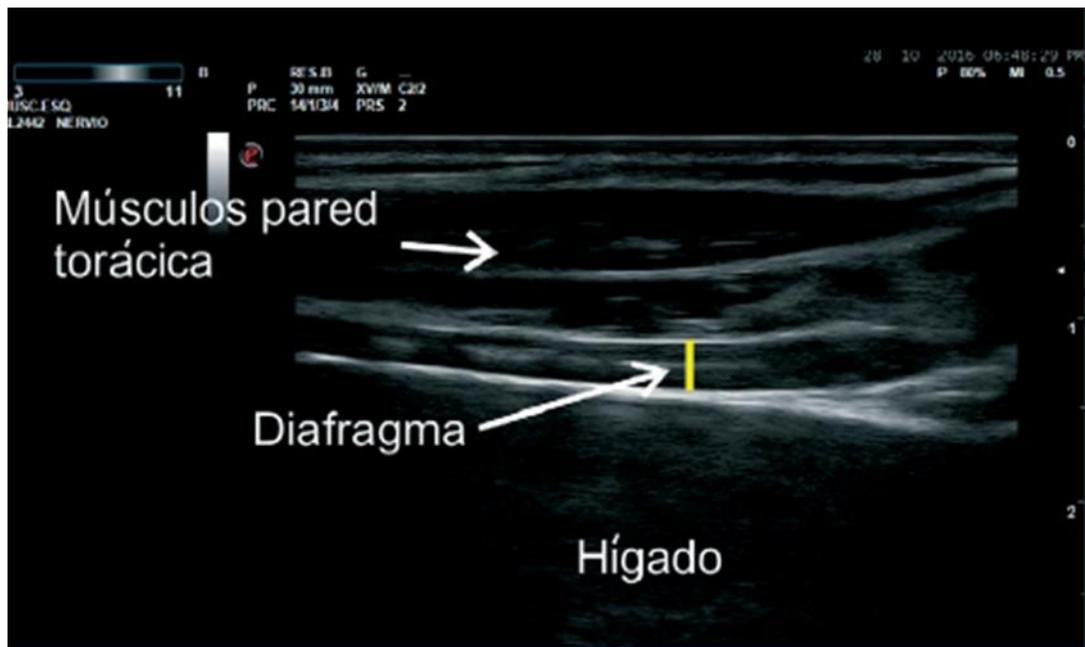
5.4. ENGROSAMIENTO DEL DIAFRAGMA

5.4.1. Zona De Aposición. El operador utiliza sondas de ultrasonido lineales para medir el espesor diafragmático. Estas sondas utilizan ondas de ultrasonido de alta frecuencia (7 a 17Hz) para crear imágenes de alta resolución de estructuras cercanas a la superficie del cuerpo. Para medir el grosor del diafragma, el operador coloca la sonda de ultrasonido longitudinalmente paralela al eje largo del cuerpo, generalmente entre el octavo y el décimo espacio intercostal, en la línea axilar anterior o entre la línea axilar anterior y axilar media (15) El seno costofrenico se identifica como la transición entre el pulmón e hígado a la derecha o entre el pulmón y bazo a la izquierda. La zona de aposicion, donde el diafragma se opone a la caja torácica, se encuentra caudal al seno costofrenico (45). Para identificar el diafragma, se debería obtener una inspiración profunda y seleccionar la imagen en modo B.

Cuando el pulmón se interpone entre el transductor y el diafragma, crea un artefacto brillante hiperecoico (Signo de la cortina pulmonar (46) que borra la imagen del musculo. El musculo se identifica como una estructura de tres capas (dos capas ecogénicas de peritoneo y pleura intercalando con una capa más hipoecoica del

propio musculo debajo de los músculos intercostales, que reaparecen cuando el artefacto pulmonar retrocede (Figura 6). Ocasionalmente, se puede ver una capa brillante adicional debido al tejido conectivo y los vasos centro de la propia capa muscular. Este hallazgo es más fácil de visualizar en el hemidiafragma derecho (47) y por este motivo se ha elegido la ventana anatómica para la medición del engrosamiento diafragmático de este estudio.

Figura 6. Estructuras Anatómicas Medición Grosor Diafragmático En Modo B



Tomado de: Cecilia m. Acosta. Estudio sonográfico del diafragma. Una nueva herramienta diagnostica para el anestesiólogo. Rev Chil Anest 2018; 47: 110-124

En personas que respiran normalmente, el espesor del diafragma en la zona de aposición es de 1.7cm +/- 0.2cm en reposo y se incrementa a 4.5cm +/- 0.9cm cuando mantenemos la respiración ya alcanzada la capacidad funcional total (13). El cambio en el espesor del musculo diafragmático o engrosamiento diafragmático puede expresarse de la siguiente manera:

5.5. FRACCION DE ENGROSAMIENTO

$$Fe = \frac{Efi - Efe}{Efe}$$

Fe: Fracción de engrosamiento

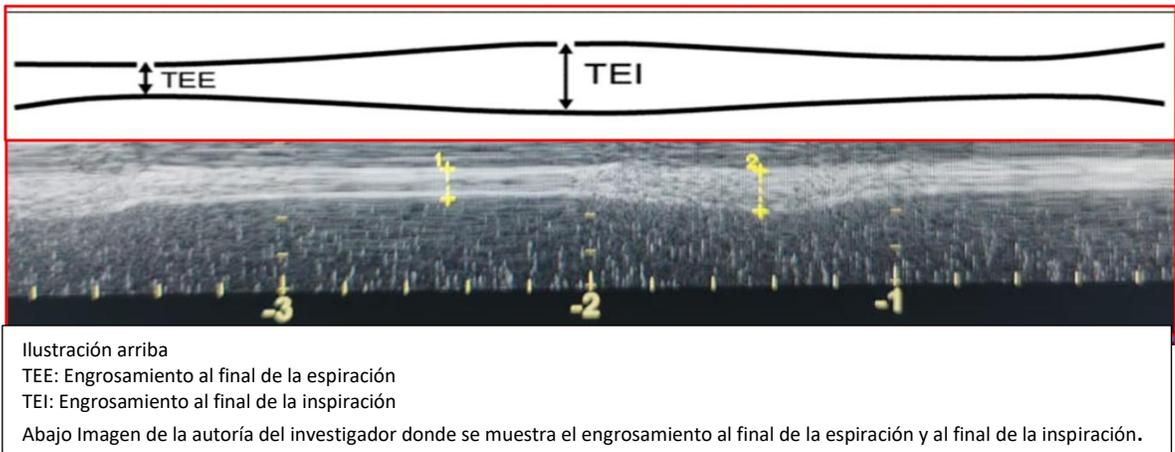
Efi: Espesor de musculo diafragmático al final de la inspiración.

Efe: Espesor de musculo diafragmático al final de la espiración.

El grosor al final de la inspiración representa el máximo espesor o engrosamiento muscular al final de la inspiración (Efi) y el engrosamiento al final de la espiración (Efe) es el espesor al final de la espiración justo antes de que comience el engrosamiento (Figura 7).

La fracción de engrosamiento (Fe) tiene una correlación lineal con el volumen corriente en pacientes con respiración espontanea, mientras que los pacientes ventilados esta relación es menos confiable y es influenciada por el grado de soporte ventilatorio (47).

Figura 7. Ultrasonografía Modo M Fracción De Engrosamiento Diafragmático



Si bien las áreas de implementación se comprenden bien, las pautas para la metodología, como la configuración del transductor, la adquisición de imágenes y el impacto del ventilador en las mediciones, no existen, o solo existen parcialmente, y se derivan principalmente de revisiones narrativas. La variabilidad significativa en la metodología de la ecografía del diafragma dificulta la calidad y la comparación de los estudios en este campo y, en consecuencia, la implementación en la práctica clínica diaria. Por este motivo en 2022 se realizó el Consenso de expertos sobre ultrasonografía diafragmática en pacientes críticos (EXODUS) (51): una declaración de consenso sobre la medición de los parámetros derivados de la ecografía diafragmática en un entorno de cuidados intensivos. Establecieron recomendaciones sobre siete categorías que incluyeron la anatomía del diafragma, la configuración de los transductores, la técnica de adquisición de imágenes, las limitaciones de la ventilación mecánica del desplazamiento pasivo del diafragma, la

orientación para el aprendizaje y la obtención de experiencia y la aplicación en la práctica clínica. En primer lugar, con respecto a la anatomía ultrasonografía del diafragma, se estableció consenso sobre una disminución $> 10\%$ como punto de corte relevante para la atrofia. Esto es muy relevante ya que se ha demostrado que la atrofia del diafragma afecta los resultados clínicos, como la duración de la ventilación mecánica. Otro punto de importancia fue la continuidad del grosor muscular en toda la zona de aposición. Resolver este debate es pertinente, ya que en caso de que existan diferencias en el espesor, la ubicación de la medición podría afectar el grosor obtenido y los parámetros derivados como la fracción de engrosamiento, en este campo no se logró consenso. En segundo lugar, con respecto a la fisiología de la contracción diafragmática, no se llegó a consenso sobre qué momentos del ciclo respiratorio son mejores para tomar medidas, entonces un enfoque pragmático sería tomar medidas del estado más grueso y más delgado del diafragma. El valor de corte para disfunción diafragmática mediante fracción de engrosamiento no se estableció dado que varían mucho en términos de su definición y resultados en diferentes poblaciones. Incluso en individuos sanos, se ha demostrado que los valores normales son muy variables. En tercer lugar, se estableció un protocolo de medición para la excursión y el engrosamiento diafragmático. Se acordó para la medición de la *excursión diafragmática* el uso de un transductor con un rango ideal entre 2 y 5 MHz (transductor cardíaco o abdominal), el modo ideal es el modo M, la profundidad máxima debe ajustarse para capturar la excursión máxima y la ganancia debe ajustarse para crear un contraste ideal con las estructuras circundantes, en cuanto a la técnica el transductor debe apuntar a la cúpula del diafragma, no se logró consenso sobre la colocación del transductor en el abdomen, las mediciones se realizan mejor en modo M y durante la respiración no forzada. Para la medición del engrosamiento diafragmático el rango ideal es entre 2 y 5 MHz (transductor cardíaco o abdominal), el modo ideal es el modo M, la profundidad máxima debe ajustarse para capturar la excursión máxima, la ganancia debe ajustarse para crear un contraste ideal con las estructuras circundantes, el rango ideal está entre 7 y 12 MHz (transductor lineal), no se logró consenso para preferir el modo B o el modo M, la ganancia debe ajustarse para crear un contraste ideal con las estructuras circundantes. El transductor debe colocarse en la línea axilar media o ligeramente más ventral, aproximadamente entre la octava y la undécima costilla, con el pulmón ligeramente o sin moverse en la imagen. El transductor debe colocarse perpendicular a la pared torácica, de modo que las tres capas (pleura, peritoneo y capa fibrosa) sean visibles.

No se logró un consenso sobre la orientación del transductor para estar en línea o perpendicular al espacio intercostal. La colocación del calibrador debe estar lo más

cerca posible de la línea pleural y peritoneal sin incluir estas líneas en la medición. No se logró un consenso sobre el patrón de respiración óptimo para realizar las mediciones.

La medición unilateral del diafragma en el lado derecho del paciente es un sustituto aceptable para todo el diafragma, a menos que exista alguna sospecha de patología unilateral (p. ej., cirugía torácica, lesión del nervio frénico o de la médula espinal), en cuyo caso esto debe excluirse o hay que tomar medidas en ambos lados.

En relación con el aprendizaje y la experiencia la medición de la excursión del diafragma es una habilidad fácil y con una curva de aprendizaje creciente. La medición del grosor del diafragma no es una habilidad fácil y tiene una curva de aprendizaje lenta. Un programa de enseñanza para aprender la ecografía del diafragma debe incluir la anatomía del diafragma, puntos de referencia anatómicos para la medición, práctica supervisada y un examen de habilidades prácticas. Se necesita un mínimo de 40 exámenes (idealmente bilaterales), de los cuales al menos 20 deben realizarse bajo la supervisión (indirecta) de un profesor experimentado, para el uso independiente en la práctica diaria.

El monitoreo de la función del diafragma y determinación de la disfunción puede predecir el pronóstico del destete difícil, el resultado de la extubación y la duración de la estancia en la unidad de cuidado intensivo. Es importante realizar futuras investigaciones para garantizar mediciones homogéneas y de alta calidad en la práctica clínica diaria y en la investigación.

6. HIPOTESIS

La excursión diafragmática y el engrosamiento puede ayudar a predecir el éxito o el fallo de la extubación en los pacientes que requieren ventilación mecánica como parte del manejo de entidades que conducen a la insuficiencia respiratoria aguda.

7. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICION OPERATIVA	NATURALEZA	NIVEL DE MEDICIÓN
Edad	El número de años registrados en el ingreso a la institución	Cuantitativa Continua	Número de años
Genero	Diferencia fenotípica que diferencia hombre de mujer y que este registrado en la HC.	Cualitativa Nominal	1.Femenino 2.Masculino
Diagnóstico	Diagnostico por el cual ingresa a la Unidad de Cuidado Intensivo	Cualitativa Nominal	Diagnóstico – CIE10
Modo ventilatorio	Es la forma en que el ventilador es configurado para interactuar con el paciente.	Cualitativa Nominal	1.Controlado por volumen 2.Controlado por presión
Días de ventilación mecánica	Número de días desde el inicio de la ventilación mecánica	Cuantitativa Discreta	Numero en días
Traqueostomía	Realización de traqueostomía durante la estancia en UCI	Cualitativa Nominal	Si No
Días de traqueostomía	Días de Intubación hasta la realización de traqueostomía	Cuantitativa Discreta	Numero en días
Uso de relajantes neuromusculares	Fármacos bloqueadores neuromusculares utilizados para la relajación de los músculos esqueléticos con el fin de mejorar la ventilación	Cualitativa Nominal	Si No

	mecánica en condiciones óptimas.		
Peso	Peso en kg registrado al ingreso a la institución	Cuantitativa Discreta	Número de Kg
Nivel nutricional	Se clasifica acorde al Índice de Masa corporal – IMC	Cualitativa Nominal	Bajo peso: IMC: <18.5 Normal: Sobrepeso IMC Obesidad IMC
Fallo a la extubación	Necesidad de Re intubación a las 48 horas.	Cualitativa Nominal	Si No
Índice de tobin	Es el cociente entre la frecuencia respiratoria en un minuto y el volumen corriente en Litros (Aire respirado en cada respiración).	Cuantitativa Discreta	Numero Registrado según el Índice de Tobin
Índice de excursión diafragmática derecho.	Medida que evalúa la movilidad del diafragma	Cuantitativa Discreta	Medida en milímetros
Índice de excursión diafragmática izquierda	Medida que evalúa la movilidad del diafragma	Cuantitativa Discreta	Medida en milímetros
Engrosamiento En inspiración	Medida por ultrasonido del espesor diafragmático en inspiración.	Cuantitativa Discreta	Medida en milímetros
Engrosamiento en expiración	Medida por ultrasonido del espesor diafragmático en expiración.	Cuantitativa Discreta	Medida en milímetros
% engrosamiento	Medida por ultrasonido que determina el	Cuantitativa Discreta	Medida en Porcentaje

	porcentaje de engrosamiento		
RASS	Nivel de Conciencia del paciente en el momento de la extubación	Cualitativa Nominal	2 1 0 -1 -2
Gases arteriales previo a la extubación.	Ph,	Cuantitativa Continua	Valor en g/dl
	Pco2	Cuantitativa Continua	Valor mmHg
	Po2	Cuantitativa Continua	Valor mmHg
	HCO3	Cuantitativa Continua	Valor meq/L
	FIO2	Cuantitativa Continua	Valor %
APACHE II	Sistema de clasificación de severidad o gravedad de enfermedades agudas.	Cuantitativa Discreta	Puntuación en número de 0 a 100 puntos
Electrolitos	Fosforo	Cuantitativa Continua	Valor en mg/dl
	Sodio	Cuantitativa Continua	Valor en mEq/L
	Potasio	Cuantitativa Continua	Valor en mEq/L
	Calcio	Cuantitativa Continua	Valor en mg/dl

8. DISEÑO METODOLOGICO

8.1. TIPO DE ESTUDIO

Estudio Descriptivo observacional, descriptivo, de serie de casos, prospectivo y transversal en la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano Perdomo de la Ciudad de Neiva donde se evaluó el grosor y la excursión diafragmática de pacientes mayores de 18 años que ingresaron y requirieron ventilación mecánica durante el curso de patologías médicas y quirúrgicas. Es observacional porque solo busca obtener información de la población, sin la intervención directa sobre la misma; es descriptivo debido a que busca describir la distribución de diferentes variables sin considerar hipótesis, y son aquellos que estudian situaciones que ocurren en condiciones naturales, más que en situaciones experimentales, es de serie de casos porque se limita a la simple identificación y descripción de un conjunto de casos clínicos que han aparecido en un intervalo de tiempo, es prospectivo por que se realiza la recolección de datos a partir de un momento presente y futuro; es transversal por que se miden las variables en un momento determinado del tiempo específico sin realizar un seguimiento específico.

Previa autorización del comité de Bioética e Investigación del Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo de Neiva, la recolección de la información fue observacional directa. La información de los pacientes se tomó de manera prospectiva por un investigador, a partir de los registros de las historias clínicas de los pacientes y los hallazgos ultrasonográficos encontrados de acuerdo con el instrumento diseñado para este fin. Teniendo en cuenta las variables definidas se diligencio el instrumento utilizando un formulario electrónico que luego permitió exportar los datos al software estadístico en línea R commander.

La revisión de las historias clínicas y la exploración ultrasonográfica para la recolección de la información se realizó de la siguiente forma:

- Paciente quien cumplía con los criterios de inclusión.
- Revisión de las historias clínicas de donde se tomaron los siguientes datos (información de variables sociodemográficas, datos clínicos y paraclínicos que incluyeron diagnóstico, gases arteriales, electrolitos y escalas de severidad de la enfermedad del paciente).

- Se utilizó ecógrafo Sono Scape E3 para realizar la medición del grosor y la excursión diafragmática por parte de los investigadores del estudio, se realizaron 3 medidas para cada una y se tomó un promedio de estas, se contó con entrenamiento previo y bajo el acompañamiento de un intensivista experto en ultrasonografía y un experto adscrito del departamento de radiología e imágenes diagnósticas del Hospital Universitario de Neiva.
- Vigilancia y seguimiento a los pacientes incluidos en el estudio.
- Cumpliendo los anteriores pasos se ingresó toda la información correspondiente al instrumento de la investigación.

8.2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se realizó en la Unidad de Cuidado Intensivo del Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo, de la ciudad de Neiva, que es un centro de atención hospitalaria de alto nivel de complejidad y centro de referencia para la zona sur de Colombia, comprendido por los departamentos de Caquetá, Putumayo, Amazonas y parte sur del departamento del Tolima y Cauca.

8.3. PERIODO DE ESTUDIO

1 de enero de 2022 hasta el 31 de agosto de 2022

8.4. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

La población fueron todos los pacientes que durante su estancia en UCI requirieron ventilación mecánica, la muestra fue no probabilística y no se aplicó técnica de muestreo. Es un muestreo no probabilístico, porque se recogen bajo un proceso que no garantiza que todos los individuos tengan la misma oportunidad de ser elegidos, es decir no es una selección aleatoria. Para la selección de la muestra se utilizó el tipo de muestreo no probabilístico por criterios, que es un muestreo intencional, donde es el propio investigador quien selecciona a aquellos sujetos que cumplan con una serie de condiciones y exclusiones que los hacen más apropiados para formar parte de la muestra.

8.5. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Pacientes mayores de 18 años que ingresaron a la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano Perdomo.
- Pacientes que requirieron ventilación mecánica por más de 24 horas.
- Pacientes con resolución de la enfermedad que generó el ingreso a la unidad de cuidado intensivo y requerimiento de ventilación mecánica.
- Pacientes a quienes ya se les había realizado el proceso de disminuir el grado de soporte del ventilador y se encuentran con modos ventilatorios espontáneos.
- Pacientes con retiro de la sedación por más de 12 horas o que tenían medicamentos para sedación consciente (Escala de agitación-sedación de Richmond RASS entre -2 a +1).
- Pacientes que contaban con gases arteriales y electrolitos del mismo día de la medición ultrasonográfica.
- Pacientes con estancia dentro de la Unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano las siguientes 48 horas posterior a la extubación

8.6. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Pacientes con diagnóstico de ingreso asociados a postoperatorio de cirugía de tórax.
- Pacientes que no cumplan con los criterios de inclusión

8.7. CONSIDERACIONES ÉTICAS

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se tuvo en cuenta la declaración de Helsinki, la teoría del principalísimo respetando la autonomía, no maleficencia, beneficencia, justicia y equidad.

Esta investigación se realizó acogiéndose a la república de Colombia, el ministerio de salud y protección social que mediante la resolución número 8430 del 4 de

octubre de 1993, que establece las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud y la cual según el artículo 11 de la misma, clasifica esta investigación como sin riesgo, dado que representa estudios que emplean técnicas y métodos de investigación documental y aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio, entre los que se consideran: revisión de historias clínicas, entrevistas, cuestionarios y otros en los que no se le identifique ni se traten aspectos sensitivos de su conducta. De igual manera esta investigación estuvo adherida a lo establecido en la normatividad de seguridad del paciente y las normas de buena práctica clínica, y cumpliendo con la resolución 0314 de 2018 por la cual el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias, adopta la Política de Ética de la Investigación, Bioética e Integridad científica

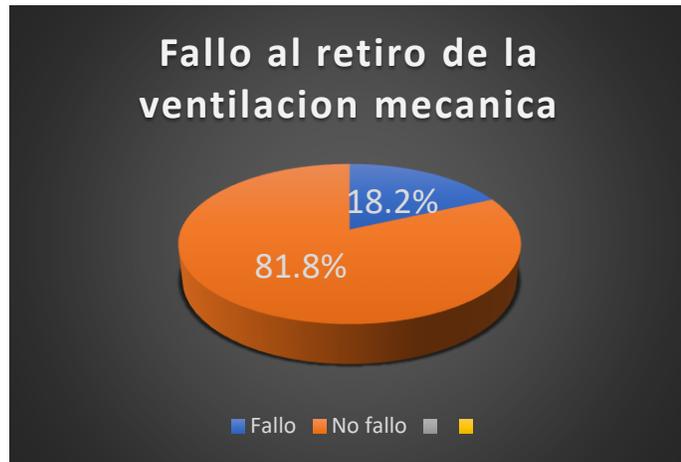
9. ANALISIS DE RESULTADOS

En el presente trabajo de investigación realizado en un periodo de tiempo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de agosto de 2022 se incluyeron 55 pacientes que ingresaron a la Unidad de Cuidado Intensivo del Hospital Hernando Moncaleano Perdomo con patologías médicas y quirúrgicas y requirieron ventilación mecánica invasiva, el 45.46% fueron hombres, la media de edad fue de 59.2 años, el modo ventilatorio inicial fue ventilación asistida controlada por volumen en la totalidad de los pacientes, los días de ventilación mecánica en promedio fueron de 7.4 días. 18% de los pacientes se les realizó traqueotomía con una duración promedio de 4.73 días adicionales con ventilación mecánica, el peso promedio de los pacientes fue de 59.1 Kilogramos. Se realizó extubación exitosa en 45 pacientes correspondientes al 81.8%.

Tabla 3. Descripción General

Variable		n(55)	p<0.05
Sexo	Masculino	25(45.46%)	n.a
	Femenino	30(54.54%)	n.a
Edad (años)		59.2(16-85)	n.a
Modo ventilatorio	ACV	55(100%)	n.a
Días VM		7.40(2-32)	n.a
Traqueostomía	Si	18(32.7%)	n.a
	No	37(67.3%)	n.a
Días Traqueostomía		4.73(1-13)	n.a
Peso (Kg)		59.15(43-82)	n.a
Fallo al retiro de la VM	Si	10(18.2%)	n.a
	No	45(81.8%)	n.a

Grafica 1. Fallo Al Retiro De La Ventilación Mecánica



De los 55 pacientes incluidos en este trabajo de investigación, 10 correspondientes al 18.2% presentaron fallo de la extubación definido como la necesidad de Re-intubación dentro de las 48 horas posteriores. De este grupo de pacientes, 8 (80%) fueron del sexo femenino, la edad promedio fue de 67.3 años, el diagnóstico principal relacionado al fallo de la extubación fue la sepsis de diferentes focos anatómicos (Infecciones en piel, neumonía, Covid 19 e infección abdominal) seguido de síndrome de dificultad respiratoria del adulto SDRA y choque cardiogénico. El score de predicción de mortalidad APACHE II tuvo un valor promedio de 25 puntos.

En la evaluación gasométrica de los pacientes no se encontraron datos relevantes para las variables de ph, Po₂, pco₂ y bicarbonato que se relacionaran con el fallo de la extubación. Los datos metabólicos en donde se tomaron en cuenta los electrolitos se encontraron valores promedio de 134meq/l para el sodio, 3.8mmol/l para el potasio y 3.5 mg/dl para fosforo.

El modo ventilatorio en el 100% de estos pacientes que presentaron extubación fallida fue asistido controlado por volumen, los días promedio de ventilación mecánica fueron 15.3, con traqueostomía en el 70% y uso de ventilación mecánica en los siguientes 5.5 días.

Se realizaron medidas con ecografía a la cabecera del paciente con el ecógrafo SonoScape E3 a aquellos pacientes cuyo medico intensivista tratante considero se encontraban preparados para el retiro de la ventilación mecánica y cumplían con los siguientes criterios: Resolución de la patología por la cual el paciente fue intubado,

estabilidad hemodinámica dada por ausencia o dosis bajas de vasopresores e inotrópicos, hemoglobina > 7gr, temperatura <38 grados, retiro de la sedación al menos 12 horas antes o con sedación consciente que le permitiera un estado mental despierto o fácilmente alertable calificada con la escala de agitación-sedación de Richmond RASS -2 +1. Posterior a la verificación de estos criterios clínicos iniciales y a aquellos quienes su médico tratante considero iniciar la prueba de respiración espontanea, se realizó la medida ecográfica 20 minutos después de encontrarse en un modo ventilatorio espontaneo y con niveles de presión soporte < 10cm H₂o y Peep< 5cmH₂o. Las mediciones diafragmáticas se realizaron con un transductor de 1-5 MHz para la evaluación en modo B y modo M de la excursión diafragmática y con un transductor de 6-13MHz para la evaluación de el grosor inspiratorio y espiratorio. Se encontró que los pacientes que presentaron fallo en la extubación las medidas para la excursión diafragmática derecha fueron de 1.38 cm y para el hemidiafragma izquierdo fueron de 1.16 cm, con una fracción de engrosamiento < del 58%.

Tabla 4. Descripción de variables Fallo Retiro de Ventilación mecánica

Tabla 4. Descripción Fallo Retiro de Ventilación Mecánica			
Variable		n(10)	p<0.05
Sexo	Masculino	2(20%)	n.a
	Femenino	8(80%)	n.a
Edad (años)		67.3(51-79)	n.a
Modo ventilatorio	ACV	10(100%)	n.a
Días VM		15.3(6-32)	n.a
Traqueostomía	Si	7(70%)	n.a
	No	3(30%)	n.a
Días Traqueostomía		5.5(2-13)	n.a
Peso (Kg)		55(43-68)	n.a
Excursión diafragmática Derecha		1,38	n.a
Excursión diafragmática Izquierda		1,16	n.a
Fel		2,66	n.a
FeE		18,94	n.a
% Engrosamiento		58	n.a
RASS		0/-3	n.a
Índice de TOBIN		<105(100%)	n.a
Gases Arteriales	Ph	7,34	n.a
	PO2	78	n.a
	PCO2	48,2	n.a
	HCO3	25,37	n.a
	FiO2	0,39	n.a
Electrolitos	Na	136,8	n.a
	K	3,8	n.a
	Fósforo	3,58	n.a
	Ca	3,24	n.a
APACHE		25,4	n.a
Diagnóstico	SEPSIS	4(40%)	n.a
	SDRA/COVID-19	3(30%)	n.a
	Choque cardiogenico	3(30%)	n.a

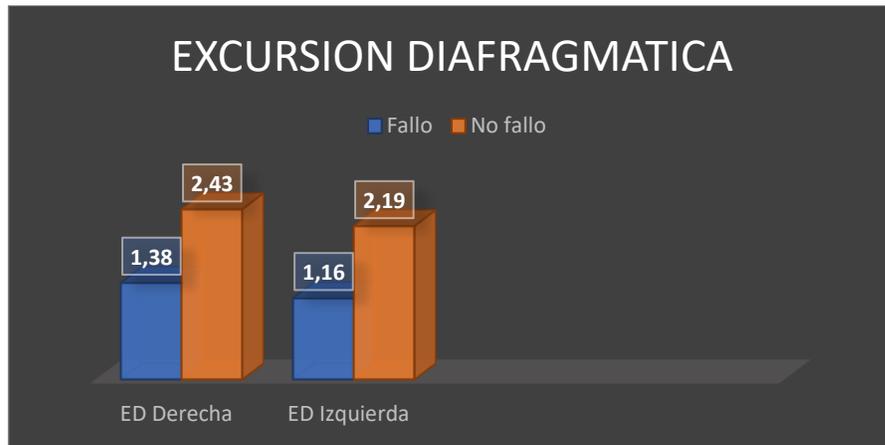
Cuando se realizó el análisis y se compararon las variables ente los pacientes que presentaron extubación exitosa con los que presentaron fallo en la extubación se encontró que 8 mujeres (80%) fallaron luego de la extubación en comparación con 2 hombres (20%) que no fallaron p: 0.001. El peso real evaluado en kilogramos al

ingreso y registrado en el triage de urgencias no mostro diferencias. Aquellos con más días de ventilación mecánica 15.3 Vs 5.61 días requirieron reintubación dentro de las siguientes 48 horas luego de la extubación, 11 pacientes (70%) de los que fallaron a la extubación requirieron traqueostomía. En el análisis de las mediciones ecográficas a la cabecera del paciente se encontró que la excursión diafragmática derecha de los pacientes que se extubaron exitosamente fue de 2.43cm vs 1.38cm para los que fallaron luego de la extubación P: 0.028 y 2,19cm Vs 1.16cm para el hemidiafragma izquierdo respectivamente. La fracción de engrosamiento diafragmático fue de 81% para aquellos con extubación exitosa Vs 58% para los que fallaron. La medición de los electrolitos fue realizada previo a la extubación y se encontraron valores para el fosforo sérico de 3.58 mg/l para los que fallaron Vs 8,34 mg/dl para los que no fallaron con un valor de P:0.001, en los valores de sodio y potasio no hubo diferencias.

Tabla 5. Comparación de variables Fallo y No Fallo de retiro de Ventilación Mecánica.

Tabla 5. Comparación Fallo y No Fallo de Retiro de Ventilación Mecánica				
Variable		n(10)	n(45)	p<0.05
Sexo	Masculino	2(20%)	23(51.1%)	
	Femenino	8(80%)	22(48.8%)	<i>0,001</i>
Edad (años)		67,3	57	n.a
Modo ventilatorio	ACV	10(100%)	45(100%)	n.a
Días VM		15,3	5,61	<i>0,001</i>
Traqueostomía	Si	7(70%)	11(24.4%)	<i>0,025</i>
	No	3(30%)	34(75.6%)	
Días Traqueostomía		5,5	4,2	n.a
Peso (Kg)		55	60	n.a
Excursión diafragmática Derecha		1,38	2,43	<i>0,028</i>
Excursión diafragmática Izquierda		1,16	2,19	<i>0,032</i>
FeI		2,66	7,26	<i>0,001</i>
FeE		1,89	4	<i>0,001</i>
% Engrosamiento		58	81	<i>0,045</i>
Gases Arteriales	Ph	7,34	7,28	n.a
	PO2	78	98	n.a
	PCO2	48,2	35	n.a
	HCO3	25,37	16	n.a
	FiO2	0,39	0,3	n.a
Electrolitos	Na	136,8	139	n.a
	K	3,8	4,9	n.a
	Fósforo	3,58	8,34	<i>0,001</i>
	Ca	3,24	1,01	<i>0,001</i>
APACHE		25,4	22	n.a

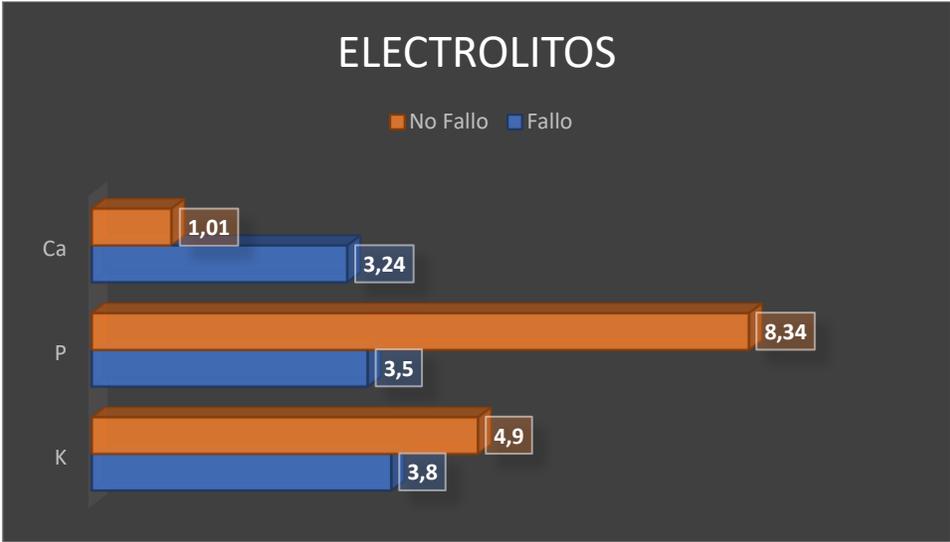
Grafica 2. Excursión Diafragmática (Cm)



Grafica 3. Fracción De Engrosamiento Diafragmático (%)



Grafica 4. Electrolitos



10.DISCUSION

En nuestro estudio el objetivo principal fue describir el comportamiento de la excursión y la fracción de engrosamiento diafragmático de los pacientes que ingresaron a la unidad de cuidado intensivo del hospital Hernando Moncaleano Perdomo de la Ciudad de Neiva con patologías médicas y quirúrgicas y que requirieron ventilación mecánica. Durante el proceso para el retiro de la ventilación mecánica de los pacientes ingresados en la unidad de cuidado intensivo se realiza evaluación de las variables clínicas, paraclínicas y de los parámetros ventilatorios previo a la extubación mediante una lista de chequeo y la consideración del intensivista tratante. De los 55 pacientes incluidos en este estudio el 22% presentaron fallo luego de la extubación. En 2002 en el estudio de Esteban A (23) el fracaso de la extubación, definido como la necesidad de reintubación dentro de las 48 h siguientes a la extubación programada, es una complicación frecuente que ocurre en 13% a 22% de las extubaciones, otras publicaciones del mismo autor estiman hasta un 30% de los pacientes a quienes se les realizó la prueba de respiración espontánea con una presión de soporte de 7cmH₂o (45). En una Unidad de Cuidado Intensivo Médico de un hospital académico de la ciudad de Bogotá (Colombia) para el año 2021 de los 84 pacientes incluidos, el 79,8% (n = 67) con extubación exitosa y el 20,2% (n = 17) con extubación fallida (22).

La disfunción diafragmática es un problema frecuente en cuidado intensivo, esta disfunción puede ser preexistente o adquirida durante la estancia en la unidad. Actualmente se reconoce que desde las primeras horas de ventilación mecánica hay una lesión del musculo diafragmático. Múltiples causas parecen estar asociadas y potenciadas en la aparición de este trastorno como la sepsis, el uso de relajantes neuromusculares, uso de corticoesteroides o la presencia de lesiones anatómicas durante la cirugía abdominal y torácica. Nosotros encontramos que el 40 % de los pacientes que fallaron en la extubación el diagnóstico de ingreso a la unidad fue la Sepsis y el choque séptico. Demoule A y colaboradores en un estudio prospectivo encontraron que la sepsis fue un importante factor de riesgo independiente para la disfunción del diafragma en pacientes ingresados a la unidad de cuidado intensivo. Estudios previos han sugerido la posibilidad de disfunción del diafragma inducida por sepsis en humanos (39), estos hallazgos basados en una asociación entre sepsis y dificultades en el destete del ventilador. Estudios electromiográficos e histopatológicos realizados muy temprano durante las estancias en la UCI han demostrado que más del 50% de los pacientes con sepsis grave presentan signos

de daño neuromuscular (39). Dentro de la evaluación de otras variables como el peso de los pacientes no se presentó relación con el desenlace de fallo en la extubación, en un estudio de 55 pacientes el índice de masa corporal y el género fueron importantes variables para considerar al interpretar el espesor y la fuerza del diafragma en un subgrupo de participantes (23).

El índice de respiraciones rápidas y superficiales RSBI, ampliamente utilizado en la práctica clínica, son los parámetros de destete que miden el volumen generado por todos los músculos respiratorios sin valorar especialmente la contribución del diafragma. Bajo las circunstancias de la disfunción del diafragma, el movimiento del diafragma se inhibe y los músculos accesorios asumen un papel más importante en la producción del volumen corriente (VT). Por lo tanto, la disfunción del diafragma puede ocultarse por la acción compensatoria de otros músculos respiratorios durante la prueba de respiración espontánea. Sin embargo, los músculos accesorios son más débiles y fatigables que el diafragma, por lo que el efecto compensatorio no puede mantenerse durante mucho tiempo. Por lo tanto, el fracaso del destete puede ocurrir a pesar de un índice de respiraciones rápidas y superficiales y ventilación minuto inicialmente aceptables. En nuestro estudio se realizó RSBI posterior a confirmar una condición clínica, hemodinámica y metabólica adecuadas, y una presión soporte y cpap bajas, se encontraron valores <105 resp/L/mint en el 100% de los pacientes que presentaron fallo en la extubación, por lo tanto este índice podría encontrarse normal aun en pacientes que posteriormente requerirán reintubación, según informe también Stroetz y Hubmayr (3) que las herramientas disponibles para determinar el momento óptimo de la extubación son a menudo incorrectas.

Múltiples variables ecográficas han sido estudiadas en el proceso de retiro de la ventilación mecánica, de las cuales se encuentran más frecuentes la excursión del hemidiafragma derecho, el grosor en inspiración y en espiración y la fracción de engrosamiento diafragmático. Dinino en 2013 publicó un estudio prospectivo de sesenta y tres pacientes con ventilación mecánica, en quienes la sensibilidad y especificidad combinadas para una fracción de engrosamiento $> 30\%$ para el éxito de la extubación fue de 88% y 71% respectivamente y el área bajo la curva fue de 0.79 (17). Dentro de las más recientes publicaciones que evalúan estos parámetros ecográficos entorno a el fallo o el éxito de la extubación se encuentra un metaanálisis que incluye 19 estudios observacionales con 1.071 pacientes encontrando valores de excursión diafragmática de 1 a 2.7 cm y una fracción de engrosamiento entre el 20 al 36% con un valor de AUC de 0.87(46). Otro metaanálisis, publicado en 2018, evaluó veinte estudios con 875 pacientes y

documentaron como puntos de corte 1.4 cm en la excursión y entre 30 a 36% para la fracción de engrosamiento como herramientas para detectar la disfunción diafragmática en pacientes en estado crítico y para predecir el éxito o el fracaso de la extubación (14). En nuestro estudio de los 10 pacientes que requirieron reintubación se encontraron medidas de 1.38 cm para el hemidiafragma derecho y 1.16cm para el izquierdo con una fracción de engrosamiento de <58%. Según el consenso de expertos EXODUS publicado en 2022 el valor de corte para disfunción diafragmática mediante fracción de engrosamiento no se estableció dado que varían mucho en términos de su definición y resultados en diferentes poblaciones. Incluso en individuos sanos, se ha demostrado que los valores normales son muy variables (51). En Colombia en una Unidad de Cuidado Intensivo Médico de un hospital académico de la ciudad de Bogotá ni la excursión diafragmática (ED) ni la fracción de engrosamiento (TFdi) mostraron diferencias entre los grupos de éxito y fracaso. La única variable con diferencia estadísticamente significativa fue la velocidad de contracción diafragmática (ED/ tiempo de inspiración TPIAdia, cm/s), con un AUC-ROC de 0,70, en nuestro estudio esta variable no se midió.

En el 2002 un estudio de cohorte prospectivo en pacientes adultos ingresados en 361 unidades de cuidado intensivo en 20 países evaluó el resultado de los pacientes que reciben ventilación mecánica durante más de 12 horas. Se incluyeron 15.757 pacientes durante el periodo de estudio, encontrando a los 28 días que el género masculino representa más de la mitad de los pacientes (61% varones) que reciben ventilación mecánica en la unidad de cuidado intensivo, sin embargo la tasa de mortalidad hospitalaria fue mayor para las pacientes femeninas en comparación con los pacientes masculinos a pesar de la similar gravedad de la enfermedad y el número de trastornos del sistema orgánico al inicio de la ventilación mecánica (23). En nuestro estudio el 46.6% pacientes fueron del sexo masculino, sin embargo, hubo mayor porcentaje para fallo en la extubación en las mujeres (80%) P:0,001.

El primer y más grande estudio sobre la confiabilidad del grosor del diafragma y las mediciones de la fracción de engrosamiento diafragmático en pacientes con ventilación mecánica (n = 66) fue realizado en el 2015 por Goligher y colaboradores (16). Las mediciones se realizaron después de marcar la ubicación de la sonda. El coeficiente de reproducibilidad intraobservador e interobservador para el final de la espiración del espesor del diafragma fue de 0,2 mm y 0,4 mm, respectivamente, lo que significa que se espera que la diferencia absoluta entre dos mediciones realizadas por el mismo observador no difiera en más de 0,2 mm en el 95 % de las ocasiones o 0,4 mm en caso de dos observadores diferentes. Mientras que, en general, la ecografía del diafragma parece ser una técnica confiable para evaluar

los cambios en el grosor del diafragma a lo largo del tiempo, comparando los resultados de pacientes individuales debe hacerse con un grado de precaución y sólo después de un entrenamiento adecuado. En estudio de Goliegher el grosor del hemidiafragma derecho se obtuvo en el 95 % de los intentos; las mediciones del hemidiafragma izquierdo no se pudieron obtener de manera consistente. Las mediciones del espesor del hemidiafragma derecho fueron altamente reproducibles (media \pm SD 2,4 \pm 0,8 mm, coeficiente de repetibilidad 0,2 mm, coeficiente de reproducibilidad 0,4 mm), particularmente después de marcar la ubicación de la sonda. Las mediciones de engrosamiento diafragmático fueron solo moderadamente reproducibles (mediana 11 %, IQR 3–17 %, coeficiente de repetibilidad 17 %, coeficiente de reproducibilidad 16 %) (11). Los residentes de Medicina Crítica y Cuidado intensivo estamos en continuo entrenamiento en ultrasonografía del paciente crítico y dentro del programa de estudios se cuenta con rotaciones específicas de este tópico particular contando con intensivistas previamente entrenados y con la realización de cursos adicionales, además con especialidades previas como base que también incluyen la ultrasonografía crítica. En relación con el aprendizaje y la experiencia la medición de la excursión del diafragma es una habilidad fácil y con una curva de aprendizaje creciente. La medición del grosor del diafragma no es una habilidad fácil y tiene una curva de aprendizaje lenta. Un programa de enseñanza para aprender la ecografía del diafragma debe incluir la anatomía del diafragma, puntos de referencia anatómicos para la medición, práctica supervisada y un examen de habilidades prácticas. Según el consenso de expertos EXODUS se necesita un mínimo de 40 exámenes (idealmente bilaterales), de los cuales al menos 20 deben realizarse bajo la supervisión (indirecta) de un profesor experimentado, para el uso independiente en la práctica diaria (51).

11. CONCLUSIONES

Para el equipo médico de la unidad de cuidado intensivo continúa siendo un desafío establecer el momento óptimo para iniciar el proceso de retiro de la ventilación mecánica y las herramientas hasta ahora disponibles no son suficientes para poder determinar este momento conduciendo a un riesgo de requerir reintubación, los pacientes de la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano ingresado en este estudio presentaron fallo en la extubación en un 22.2%, de estos fue predominante el diagnóstico de sepsis y choque séptico como patología que motiva la falla respiratoria aguda y además aquella que genera más complicaciones en pacientes que tienen ventilación mecánica. Durante la evaluación ecográfica realizada durante el retiro de la ventilación mecánica se encontró una menor excursión diafragmática, y más bajo porcentaje de fracción de engrosamiento diafragmático. La evaluación metabólica es importante durante este proceso debido a que encontraron niveles mas bajos de fosforo en aquellos pacientes que requirieron reintubacion.

Se puede concluir que la ecografía diafragmática integrada a las herramientas de uso habitual para la predicción del éxito o el fallo de la extubación podría ser útil en la identificación temprana de la disfunción diafragmática asociada a la ventilación mecánica y de esta manera fortalecer la toma de decisiones previo a la extubación buscando dar uso de instrumentos que van a la vanguardia de la tecnología y de la evolución de la medicina a través de los años, en pro de mejorar la calidad en la atención y mejores resultados de los pacientes.

12.RECOMENDACIONES

- Se recomienda considera reconocer el papel que desempeña el uso de los modos ventilatorios controlados en la disfunción diafragmática asociada al ventilador desde las primeras 6 horas del uso de la ventilación mecánica.
- Se recomienda en uso de la ultrasonografía a la cabecera del paciente para realizar el enfoque general del paciente críticamente enfermo, resaltando las mediciones diarias del musculo diafragmático para identificar tempranamente el desarrollo de la disfunción diafragmática inducida por el ventilador y así implementar medidas de acción más precozmente.
- Se recomienda el entrenamiento continuo de los especialistas en medicina critica y cuidado intensivo en ultrasonografía del paciente críticamente enfermo.
- Se recomienda asociar a las herramientas actualmente disponibles la evaluación del diafragma y de forma integrativa definir el mejor momento para la extubación.
- Se recomienda evaluar los factores metabólicos que podrían desencadenar en fallo de la extubación dentro de estos consideramos relevante la medición del fosforo sérico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Slutsky AS. Mechanical ventilation. American College of Chest Physicians' Consensus Conference. *Chest*. 1993 Dec;104(6):1833-59.
2. Schepens T, et al. Diaphragm protective mechanical ventilation. *Current Opinion Critical Care*. 2019;25:77-85.
3. Stroetz RW, Hubmayr RD. Tidal volume maintenance during weaning with pressure support. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:1034-40.
4. Boles JM et al. Weaning from mechanical ventilation. Statement of the Sixth International Consensus Conference on Intensive Care Medicine. Task Force. European Respiratory Society, American Thoracic Society, European Society of intensive Care Medicine. *Eur Respir J* 2007; 29: 1033 - 1056
5. Krieger BP, Ershowsky P, Becker DA, Gazeroglu. Evaluation of conventional criteria for predicting successful weaning from mechanical ventilatory support in elderly patients. *Critical Care Med* 1989;17:858-61.
6. Nemer SN et al. Evaluation of maximal inspiratory pressure, tracheal airway occlusion pressure, and its ratio in the weaning outcome. *J Crit Care* 2009;24:441-6.
7. Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med* 1991;324:1445-50.
8. Spadaro S, Grasso S, Mauri T. Can diaphragmatic ultrasonography performed during the T-tube trial predict weaning failure? The role of diaphragmatic rapid shallow breathing index. *Crit Care* 2016;20:305.
9. Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med* 1991;324:1445-50.
10. Goligher E et al. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. 19 February 2015.

11. Lee K, Hui K, Chan T, Tan W, Lim T. Rapid shallow breathing (frequency-tidal volume ratio) did not predict extubation outcome. *Chest* 1994;105:540–3.
12. García A, et al. Disfunción diafragmática evaluada por ecografía como predictora del fracaso de la extubación: Revisión sistemática y metanálisis. *Open Respiratory Archives*. 2020; 2(4): 267-277.
13. Franco A. Laghi, J, Saad A, Shaikh H. Evaluation of the diaphragm by a subcostal B-scan technique. *Proceeding of the First World Congress on Ultrasound Diagnostics in Medicine and SIDUO III*.
14. Wait JL, Nahormek P, Yost W, Rochester D. Diaphragmatic thickness-lung volume relationship in vivo. *J Appl Physiol*. 1989;67(4):1560-8.
15. Supinski G, Morris PE, Morris P, Dhar S, Callahan L. Diaphragm Dysfunction in Critical Illness. *Chest*. 2018;153(4):1040-1051.
16. Goligher E, et al. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. 19 February 2015
17. DiNino E, Gartman E, Sethi J, Dennis F. *Critical Care*. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. 2013-204920.
18. Llamas Á, Lozano T, Latour J. Diaphragm and lung ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and metaanalysis. *Chest*. 2017;152:1140-50.
19. Zambon M, et al. *Intensive Care Medicine*. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patient with ultrasound: a systematic review (2017) 43:29–38.
20. Li C, et al. Diaphragmatic ultrasonography for predicting ventilator weaning: A metaanalysis. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97:e10968.
21. García A, et al. *Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR)*. Disfunción diafragmática evaluada por ecografía como predictor del fracaso de la extubación: Revisión sistemática y metanálisis., *Open Respiratory Archives* 2 (2020) 267–277 2020

22. Varón F, et al. Utilidad de la ecografía diafragmática para predecir el éxito en la extubación. *Medicina intensiva* (2021) 226-233.
23. Esteban A, Anzueto A, Frutos F. Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation a 28 day international study. *Caring for the critical ill patient*. 2002. *JAMA* January 16, 2002 - Vol 287, No. 3.
24. Braun N, Faulkner J. When should respiratory muscles be exercised? *Chest* 84: 76-84, 1983.
25. Vander A, Sherman J. *Human physiology* (ed 5). New York, NY, McGraw-Hill Co, 1992.
26. McKenzie D, Gandevia SC. Skeletal muscle properties: Diaphragm and chest wall, in Crystal RG, West JB (eds): *The Lung: Scientific Foundations*. New York, NY, Raven Press Ltd, 1991, pp 649-659.
27. Roussos C, Macklem P. The respiratory muscles. *New Engl J Med* 307: 786-797, 1982.
28. Vassilakopoulos Theodoros. *Critical Care Perspective. Ventilator-induced Diaphragmatic Dysfunction*. *Am J Respir Crit Care Med* Vol 169. pp 336–341, 2004.
29. Levine S, Nguyen T, Taylor N. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med*. 2008;358:1327–35.
30. Bourdelles L, Viires Ñ, Boczkowski J, Seta N, Pavlovic D, Aubier G. Effects of mechanical ventilation on diaphragmatic contractile properties in rats. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;149:1539–1544.
31. Shanely R, et al. Mechanical ventilation-induced diaphragmatic atrophy is associated with oxidative injury and increased proteolytic activity. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:1369–1374.
32. Anzueto A, et al. Effects of prolonged controlled mechanical ventilation on diaphragmatic function in healthy adult baboons. *Crit Care Med* 1997;25:1187–1190.

33. Radell P, Remahl S, Nichols D, Eriksson L. Effects of prolonged mechanical ventilation and inactivity on piglet diaphragm function. *Intensive Care Med* 2002;28:358–364.
34. Sassoon C, Sassoon H, Caiozzo V, Manka A, Sieck G. Altered diaphragm contractile properties with controlled mechanical ventilation. *J Appl Physiol* 2002;92:2585–2595.
35. Racz G, et al. Early changes in rat diaphragm biology with mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;168:297–304.
36. Esteban A, Alía I, Ibañez J, Benito S, Tobin M. Modes of Mechanical Ventilation and Weaning. *Clinical investigations in critical care*. Volume 106 Issue 4, P1188 – 1193, October 01 1994.
37. Demoule A, et al. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, risk factors, and prognostic impact—a prospective study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013 Jul 15;188(2):213-9
38. De Jonghe B, et al. Respiratory weakness is associated with limb weakness and delayed weaning in critical illness. *Crit Care Med* 2007;35:2007–2015.
39. Khan J, Harrison T, Rich M, Moss M. Early development of critical illness myopathy and neuropathy in patients with severe sepsis. *Neurology* 2006;67:1421–1425
40. Holtzhausen S, Marianne M, Lupton A, Hanekom S. An investigation into the use of ultrasound as a surrogate measure of diaphragm function. *Division of Physiotherapy, Stellenbosch University, PO Box 241, Cape Town, 8000, South Africa*, Available online 18 May 2018.
41. Ouellette DR, et al. Liberation From Mechanical Ventilation in Critically Ill Adults: An Official American College of Chest Physicians/American Thoracic Society Clinical Practice Guide-line: Inspiratory Pressure Augmentation During Spontaneous Breathing Trials, Protocols Minimizing Sedation, and Noninvasive Ventilation Immediately After Extubation. *Chest*. 2017;151:166–80.2

42. García A, et al. Disfunción diafragmática evaluada por ecografía como predictora del fracaso de la extubación: Revisión sistemática y metanálisis Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR). *Open Respiratory Archives* 2 (2020) 267–277, 2020.
43. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultra-sound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014;69:423–7.6
44. Boon A. Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm: quantitative values in normal subjects. *Muscle and Nerve*. October 16 2012.
45. Zambon M, Beccaria P, Matsuno J, Gemma M, Frati E, Colombo S, et al. Mechanical Ventilation and Diaphragmatic Atrophy in Critically Ill Patients: An Ultrasound Study. *Crit Care Med*. 2016;44(7):1347-52
46. Orde SR, Boon AJ, Firth DG, Villarraga HR, Sekiguchi H. Diaphragm assessment by two dimensional speckle tracking imaging in normal subjects. *BMC Anesthesiol*. 2016;16(1):43
47. Laghi FA Jr, Saad M, Shaikh H. Ultrasound and non-ultrasound imaging techniques in the assessment of diaphragmatic dysfunction. *BMC* 2021 Mar 15;21(1):85.
48. Scarlata S, Mancini D, Laudisio A, Benigni A, Antonelli Incalzi R. Reproducibility and Clinical Correlates of Supine Diaphragmatic Motion Measured by M-Mode Ultrasonography in Healthy Volunteers. *Respiration*. 2018;96(3):259-266.
49. Boussuges A, et al. Characteristics of the paralysed diaphragm studied by M-mode ultrasonography. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2019;39(2):143-149.
50. Acosta C, Urbano M, Tusman G. Estudio sonográfico del diafragma. Una nueva herramienta diagnóstica para el anestesiólogo. *Rev Chil Anest* 2018; 47: 110-124
51. Mark E, et al. EXpert consensus On Diaphragm UltraSonography in the critically ill (EXODUS): a Delphi consensus statement on the measurement of diaphragm ultrasound-derived parameters in a critical care setting. Haaksma et al. *Critical Care* (2022) 26:99.

ANEXOS

Anexo A. Carta Aprobación comité de Bioética e Investigación HUN

	FORMATO	
		FECHA DE EMISIÓN: MARZO 2020
	ACTA DE APROBACIÓN COMITÉ DE ÉTICA, BIOÉTICA E INVESTIGACIÓN	VERSIÓN: 02
		CÓDIGO: GDI-INV-F-001A
		PÁGINA: 5 de 11

ACTA DE APROBACIÓN N° 012-003

Fecha en que fue sometido a consideración del Comité: 21 diciembre de 2021.

Nombre completo del Proyecto:

“Evaluación de la excursión y el engrosamiento diafragmático en los pacientes con ventilación mecánica ingresados a la unidad de cuidado intensivo del Hospital Hernando Moncaleano.”

Enmienda revisada: Ninguna.

Sometido por: Investigador Angela Viviana Vanegas Pira y Co-investigadores Harvey Moncayo, José Daniel Charry Cuellar y Rony Andrea Muñoz.

El Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo constituyó mediante la Resolución N° 0784 del 07 de Junio de 2019 el Comité de Ética, Bioética e Investigación dando cumplimiento a la Resoluciones 8430 de 1993 y 2378 del 2008, actos administrativos expedidos por el Ministerio de la Protección Social, lo mismo que para obedecer lo dispuesto por la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos de la UNESCO.

El Comité de Ética, Bioética e Investigación certifica que:

1. Sus miembros revisaron los siguientes documentos del presente proyecto.
 - a. Resumen del proyecto.
 - b. Protocolo de Investigación.
 - c. Formato de Consentimiento Informado.
 - d. Protocolo de Evento Adverso.
 - e. Formato de recolección de datos.
 - f. Folleto del Investigador (si aplica).
 - g. Resultado de evaluación por otros comités (si aplica).
 - h. Acuerdo de Confidencialidad para Investigadores.
2. El Comité consideró que el presente estudio: es válido desde el punto de vista ético, la investigación se considera riesgo mínimo para las personas que participan. La investigación se ajusta a los estándares de buenas prácticas clínicas.
3. El Comité considera que las medidas que están siendo tomadas para proteger a los sujetos del estudio son las adecuadas.

	FORMATO	
		FECHA DE EMISIÓN: MARZO 2020
	ACTA DE APROBACIÓN COMITÉ DE ÉTICA, BIOÉTICA E INVESTIGACIÓN	VERSIÓN: 02
		CÓDIGO: GDI-INV-F-001A
		PÁGINA: 6 de 11

4. El comité puede ser convocado por solicitud de alguno de los miembros que lo conforman o de las directivas institucionales para revisar cualquier asunto relacionado con los derechos y el bienestar de los sujetos involucrados en este estudio.
5. El investigador principal deberá:
 - a. Informar cualquier cambio que se proponga introducir en el proyecto, estos cambios no podrán ejecutarse sin la aprobación previa del comité de ética bioética e investigación de la Institución excepto cuando sea necesario que comprometa la vida del participante del estudio.
 - b. Avisar cualquier situación imprevista que considere que implica riesgo para los sujetos o la comunidad o el medio en el cual se lleva a cabo el estudio.
 - c. Poner en conocimiento al Comité de toda información nueva, importante respecto al estudio, que pueda afectar la relación riesgo / beneficio de los sujetos participantes.
 - d. Informar de la terminación prematura o suspensión del proyecto explicando las causas o razones.
 - e. Comprometerse a realizar una retroalimentación en el servicio donde se efectuó la investigación para presentar los resultados del estudio una vez finalizado el proyecto.
 - f. Realizar el informe final de la investigación el cual se debe entregar al Comité en un plazo máximo de un mes después de terminada la investigación.
 - g. Presentar un informe anual del proyecto si el tiempo para su desarrollo es superior a un año.
 - h. Comprometerse con hacer entrega de un artículo publicado en una revista indexada, refiriendo al Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo como entidad participante y patrocinadora de la investigación.
 - i. Informar de manera escrita al Comité de Ética, Bioética e Investigación del Hospital Universitario H.M.P si el proyecto avalado va a participar en un evento académico.

Entiendo y acepto las condiciones anteriormente mencionadas por el Comité de Ética, Bioética e Investigación.

Nombre del Investigador: Angela Viviana Vanegas Pira.

Nohoru Montero Garcia

**Firma Presidente Comité de Ética,
Bioética e Investigación.**

Ultrasonido en Diafragma - UCI HUN

 vanegas810@gmail.com(no compartidos) [Cambiar de cuenta](#)



Identificación

Tu respuesta

Nombres y Apellidos

Tu respuesta

Edad

Tu respuesta

Genero

Mujer

Hombre

[Siguiente](#)

[Borrar formulario](#)

14/9/22, 22:32

Ultrasonido en Diafragma - UCI HUN

Ultrasonido en Diafragma - UCI HUN

 vanegas810@gmail.com (no compartidos) [Cambiar de cuenta](#) a



Datos Clínicos

Diagnostico de ingreso

Tu respuesta

Modo ventilatorio

- CVC
- VCP
- Otro

Numero de días de ventilación mecánica

Tu respuesta

Uso de relajantes neuromusculares

- Sí
- No



Peso (kg)

Tu respuesta

Talla

Tu respuesta

Fallo a la extubación

Sí

No

Índice de Tobin

Tu respuesta

[Atrás](#)

[Siguiete](#)

[Borrar formulario](#)

Ultrasonido en Diafragma - UCI HUN

 vanegas810@gmail.com (no compartidos) [Cambiar de cuenta](#) a



Parámetros Ultrasonográficos

Desplazamiento diafragmático Derecho (cm)

Tu respuesta

Desplazamiento diafragmático Izquierdo (cm)

Tu respuesta

FI

Tu respuesta

FE

Tu respuesta

Fracción de engrosamiento (%)

Tu respuesta



Ultrasonido en Diafragma - UCI HUN

 vanegas810@gmail.com (no compartidos) [Cambiar de cuenta](#)



Gases Arteriales Pre Extubación

ph

Tu respuesta

Pco2

Tu respuesta

Po2

Tu respuesta

Hco3

Tu respuesta

FIO2

Tu respuesta



Ultrasonido en Diafragma - UCI HUN

 **vanegas810@gmail.com** (no compartidos) [Cambiar de cuenta](#) a



Escalas y Electrolitos

RASS

Elige



APACHE

Tu respuesta

Fosforo

Tu respuesta

Sodio

Tu respuesta

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdpRe5YCp7-TyBxgKiLacQofi4Qh__KxelqiodupqPDoVopfww/formResponse
1/2 15/9/22, 20:08 Ultrasonido en Diafragma - UCI HUN

Potasio

Tu respuesta

Calcio

Tu respuesta

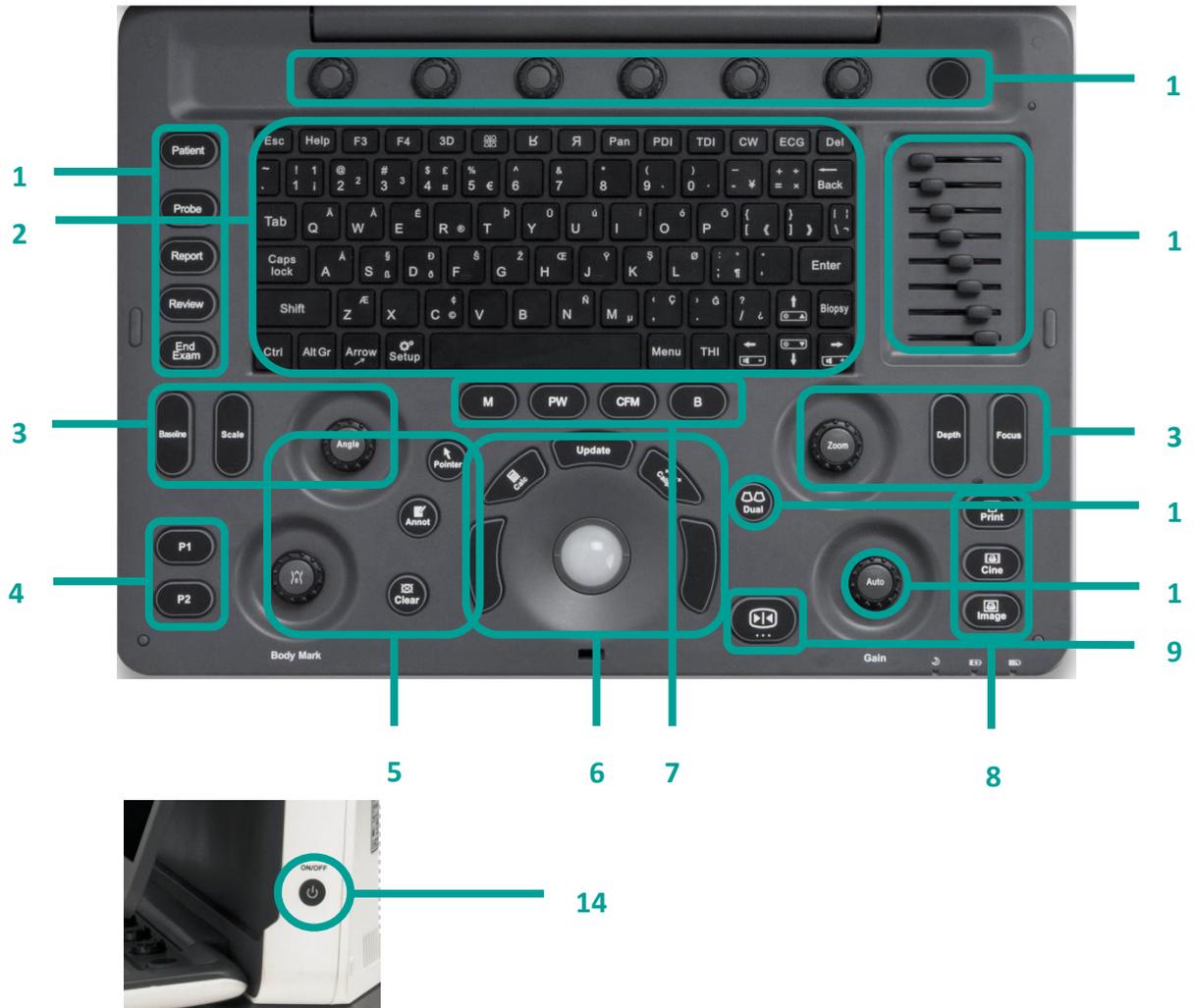
[Atrás](#)

Enviar

[Borrar formulario](#)

SonoScape

E3 Quick Manual



SonoScape

A brand new portable ultrasound system E3, brings you a distinct experience with SonoScape's traditional imaging technologies.

E3's accurate B mode and sensitive color signal give crisp, detailed images to improve your scanning experience while increasing your diagnostic confidence.

Excellent Image Quality as Always

C-Field Beam

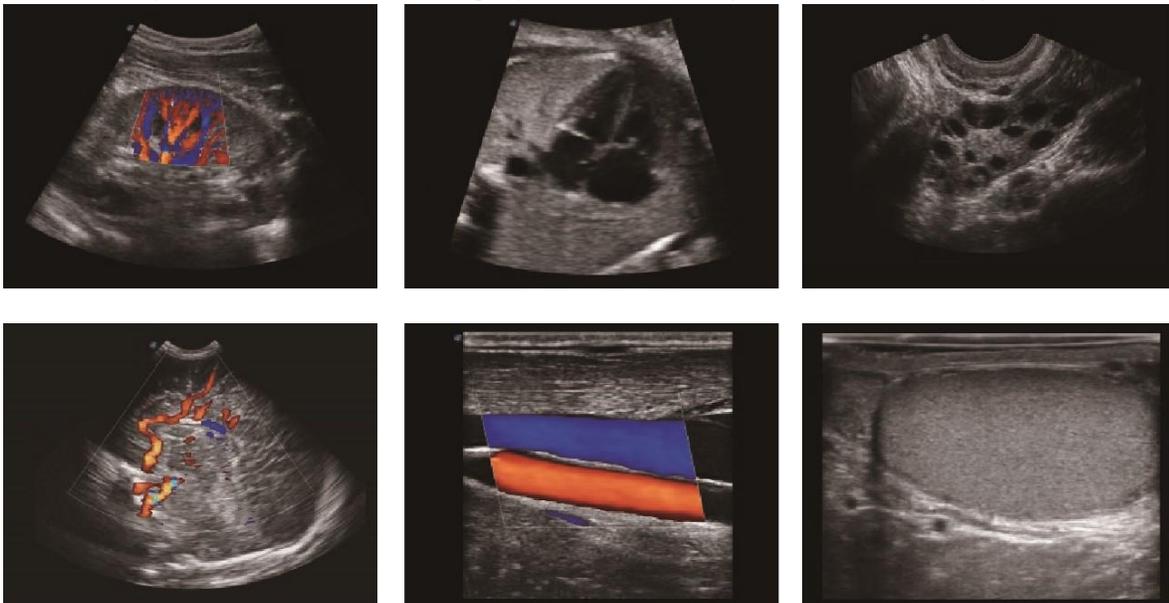
The continuously dynamic focus provides more energy which contributes to higher contrast resolution, signal-noise ratio and uniformity in the image.

P-Scan

The latest generation of II-Scan imaging greatly enhances the image by reducing noise, improving signal strength and improving visualization.

Dynamic Color

With Dynamic Color the sonographers can easily see in detail very small veins and



slower velocities for detailed blood flow information of the patient. Tissue Specification Imaging

The system detects different tissues automatically by matching different acoustic ranges, from which the user can then acquire images with more uniformity and higher spatial resolution.

Wide Range of Probes and Applications

Anexo D. Cronograma

	FORMATO	
		FECHA DE EMISIÓN: AGOSTO 2019
	RESUMEN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	VERSIÓN: 03
		CÓDIGO: GDI-INV-F- 001E
		PÁGINA: 90 de 92

CRONOGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN (FASES DE INVESTIGACIÓN)

Actividades	Agosto 2021- Diciembre 2021	Diciembre 2021	Enero 2022 - agosto 2022	Septiembre 2022 – Octubre 2022	Octubre 2022
Formulación, diseño y elaboración del proyecto de investigación.					
Presentación y aprobación del proyecto de investigación por parte del comité de bioética e investigación del Hospital Hernando Moncaleano.					
Recolección de la información.					
Análisis estadístico de la información.					
Elaboración del informe, artículo y productos del					

proyecto de investigación.					
Entrega del producto.					
	FORMATO				
				FECHA DE EMISIÓN: AGOSTO 2019	
	RESUMEN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN			VERSIÓN: 03	
				CÓDIGO: GDI-INV-F-001E	
				PÁGINA: 91 de 92	

RECURSOS

Humanos

Tres (4) investigadores para el desarrollo de la investigación.

Financieros

Trece millones ochocientos noventa y seis mil ciento setenta y seis pesos MCTE
\$13.896.176

Fuentes de financiación

La financiación de la presente investigación se desarrollará con recursos propios de los investigadores, sin requerimiento por parte de las entidades participantes.

Anexo E. Presupuesto

Rubros	RECURSOS DE LOS INVESTIGADORES	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA	HOSPITAL HERNANDO MONCALEANO	TOTAL
PERSONAL	\$ 3.496.176	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 3.496.176
EQUIPOS	\$ 6.900.000	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 6.900.000
SOFTWARE	\$ 2.000.000	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 2.000.000
MATERIALES	\$ 500.000	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 500.000
SALIDA DE CAMPO	\$ 1.000.000	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 1.000.000
MATERIAL BIBLIOGRAFICO	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
PUBLICACIONES Y PATENTES	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
SERVICIOS TECNICOS	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
ADMINISTRACION	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
OTROS	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
TOTAL				\$ 13.896.176