



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
UNIDAD MÉDICA DE ALTA ESPECIALIDAD HOSPITAL DE PEDIATRÍA
CENTRO MÉDICO NACIONAL DE OCCIDENTE
SERVICIO DE NEUMOLOGÍA PEDIÁTRICA

EXCURSIÓN DIAFRAGMÁTICA Y FRACCIÓN DE ACORTAMIENTO
DIAFRAGMÁTICO COMO ÍNDICES ULTRASONOGRÁFICOS
PREDICTORES DE EXTUBACIÓN EXITOSA EN PACIENTES
HOSPITALIZADOS CON VENTILACIÓN MECÁNICA INVASIVA EN EL
HOSPITAL DE PEDIATRÍA DEL CENTRO MÉDICO NACIONAL DE
OCCIDENTE

Número de Registro R-2022-1302-050

TESIS

QUE PARA OBTENER EL
GRADO DE ESPECIALISTA

EN:
NEUMOLOGÍA PEDIÁTRICA

PRESENTA:
DRA. LAURA GRACIELA MEJÍA NAVARRO

DIRECTOR DE TESIS:
M. en C. ROBERTO HERNANDEZ RAYGOZA

GUADALAJARA, JALISCO, SEPTIEMBRE, 2022





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

IDENTIFICACION DE INVESTIGADORES

INVESTIGADOR PRINCIPAL:

Maestro en Ciencias Médicas Roberto Hernández Raygoza
Médico especialista en Neumología Pediátrica
Matrícula: 11863331
Servicio: Neumología pediátrica
Adscripción: UMAE, Hospital de Pediatría, CMNO
Dirección: UMAE, Hospital de Pediatría, CMNO. Avenida Belisario Domínguez No. 735, Colonia Independencia, CP 44340, Guadalajara, Jalisco
Teléfono: 3314424587
Correo: robertodr25@hotmail.com

INVESTIGADORES ASOCIADOS

Dr. Oscar Armando González Hernández
Médico especialista en Terapia Intensiva Pediátrica
Matrícula 991431821
Servicio: Unidad de Terapia Intensiva Pediátrica
Adscripción: MNF Pediatra, Subespecialista en Medicina del Enfermo pediátrico en Estado Crítico
Dirección: UMAE, Hospital de Pediatría, CMNO. Avenida Belisario Domínguez No. 735, Colonia Independencia, CP 44340, Guadalajara, Jalisco
Teléfono: 6561332794
Correo: dr.gonzalez.oscar@gmail.com

TESISTA

Dra. Laura Graciela Mejía Navarro
Matrícula: 97161763
Servicio: Neumología pediátrica
Adscripción: Residente del 2º año de neumología pediátrica del HP de CMNO.
Dirección: UMAE, Hospital de Pediatría, CMNO. Avenida Belisario Domínguez No. 735, Colonia Independencia, CP 44340, Guadalajara, Jalisco
Teléfono: 722 549 4710
Correo: laugracemed@gmail.com

**INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
UNIDAD MÉDICA DE ALTA ESPECIALIDAD HOSPITAL DE PEDIATRÍA
CENTRO MÉDICO NACIONAL DE OCCIDENTE**

HOJA DE FIRMAS

DR. JUAN CARLOS BARRERA DE LEÓN
DIRECTOR DE EDUCACION E INVESTIGACION EN SALUD
DE LA U.M.A.E. H.P. DEL CENTRO MÉDICO NACIONAL DE OCCIDENTE

DRA ROSA ORTEGA CORTÉS
JEFA DE DIVISIÓN DE EDUCACIÓN EN SALUD
DE LA U.M.A.E. H.P. DEL CENTRO MÉDICO NACIONAL DE OCCIDENTE

DR HÉCTOR HERNÁN RUIZ GUTIERREZ
PROFESOR TITULAR DEL CURSO DE NEUMOLOGÍA PEDIÁTRICA
DE LA U.M.A.E. H.P. DEL CENTRO MÉDICO NACIONAL DE OCCIDENTE

DR ROBERTO HERNÁNDEZ RAYGOZA
MÉDICO ADSCRITO AL SERVICIO DE NEUMOLOGÍA PEDIÁTRICA
DE LA U.M.A.E. H.P. DEL CENTRO MÉDICO NACIONAL DE OCCIDENTE

DR. OSCAR ARMANDO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ
MÉDICO ADSCRITO A LA UNIDAD DE TERAPIA INTENSIVA PEDIÁTRICA
DE LA U.M.A.E. H.P. DEL CENTRO MÉDICO NACIONAL DE OCCIDENTE

DRA LAURA GRACIELA MEJIA NAVARRO
MEDICO RESIDENTE DEL 2° AÑO DE NEUMOLOGÍA PEDIÁTRICA
DE LA U.M.A.E. H.P. DEL CENTRO MÉDICO NACIONAL DE OCCIDENTE

SIRELCIS



INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS



Dictamen de Aprobado

Comité Local de Investigación en Salud **1302**.

HOSPITAL DE PEDIATRÍA, CENTRO MEDICO NACIONAL DE OCCIDENTE LIC IGNACIO GARCIA TELLEZ, GUADALAJARA JALISCO

Registro COFEPRIS **17 CI 14 039 045**

Registro CONBIOÉTICA **CONBIOETICA 14 CEI 001 2018022**

FECHA **Lunes, 05 de septiembre de 2022**

M.C. Roberto Hernández Raygoza

PRESENTE

Tengo el agrado de notificarle, que el protocolo de investigación con título **EXCURSIÓN DIAFRAGMÁTICA Y FRACCIÓN DE ACORTAMIENTO DIAFRAGMÁTICO COMO ÍNDICES ULTRASONOGRÁFICOS PREDICTORES DE EXTUBACIÓN EXITOSA EN PACIENTES HOSPITALIZADOS CON VENTILACIÓN MECÁNICA INVASIVA EN EL HOSPITAL DE PEDIATRÍA DEL CENTRO MÉDICO NACIONAL DE OCCIDENTE** que sometió a consideración para evaluación de este Comité, de acuerdo con las recomendaciones de sus integrantes y de los revisores, cumple con la calidad metodológica y los requerimientos de ética y de investigación, por lo que el dictamen es **APROBADO**:

Número de Registro Institucional

R-2022-1302-050

De acuerdo a la normativa vigente, deberá presentar en junio de cada año un informe de seguimiento técnico acerca del desarrollo del protocolo a su cargo. Este dictamen tiene vigencia de un año, por lo que en caso de ser necesario, requerirá solicitar la reaprobación del Comité de Ética en Investigación, al término de la vigencia del mismo.

ATENTAMENTE

M.E. Ruth Alejandrina Castillo Sánchez
Presidente del Comité Local de Investigación en Salud No. 1302

Imprimir

IMSS

SEGURO Y SALUD PARA TODOS

ÍNDICE

Índice	5
Glosario de abreviaturas	6
Resumen	7
Antecedentes	10
Planteamiento del problema	25
Pregunta de investigación	26
Justificación	27
Objetivo general	28
Objetivos específicos	28
Hipótesis	28
Material y métodos	29
Criterios de selección	30
Variables de estudio	31
Desarrollo del estudio y procedimientos	35
Análisis Estadístico	35
Aspectos Éticos	36
Recursos financiamiento y factibilidad	40
Resultados	41
Discusión	46
Conclusión	48
Referencias Bibliográficas	48
Anexo 1. Hoja de recolección de datos	50
Anexo 2. Carta de Consentimiento Informado	51
Anexo 3. Carta de confidencialidad	52

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

BNM, Bloqueadores Neuro-Musculares	PaO ₂ , Presión arterial de oxígeno
CIOMS, Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas	pH, potencial de hidrógeno
cm, centímetros	PC, Percentil
ED, excursión diafragmática	PC-AC, Ventilación Asistida Controlada por Presión
ESP, Especificidad	PEEP, Presión Positiva al final de la espiración
EPOC, Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica	PSV, Presión Soporte Vital
FAD, Fracción de Acortamiento Diafragmático	PS, Presión Soporte
FIO ₂ , Fracción Inspirada de Oxígeno	SARS-COV2, síndrome respiratorio agudo severo por coronavirus tipo 2
IMC, Índice de Masa Corporal	SE, Sensibilidad
IMSS, Instituto Mexicano del Seguro Social	SIMV, Ventilación Mandatoria Intermittente Sincronizada
CMNO, Centro Médico Nacional de Occidente	TI, Espesor diafragmático al final de la inspiración
K, potasio	TE, Espesor diafragmático al final de la espiración
Hgb, Hemoglobina	UCI, Unidad de Cuidados Intensivos
Hto, Hematocrito	UMAE, Unidad Médica de Alta Especialidad
MHz, Megahertz	USG, Ultrasonido
mm, milímetros	VMI, Ventilación Mecánica Invasiva
M-US, ultrasonido en modo M	VPP, Valor Predictivo Positivo
Na, sodio	VPN, Valor Predictivo Negativo
OMS, Organización Mundial de la Salud	
PaCO ₂ , Presión arterial de dióxido de carbono	

RESUMEN

Excursión Diafrágica Y Fracción De Acortamiento Diafrágico Como Índices Ultrasonográficos Predictores De Extubación Exitosa En Pacientes Hospitalizados Con Ventilación Mecánica Invasiva En El Hospital De Pediatría Del Centro Médico Nacional De Occidente.

Autores: Hernández-Raygoza Roberto, González-Hernández Oscar, Mejía-Navarro Laura Graciela.

Introducción:

El fracaso del destete ventilatorio tiene una prevalencia del 26-42% y se asocia a un aumento del 30% de la tasa de mortalidad, ya sea por la selección desacertada de pacientes con alto riesgo o por complicaciones como aspiración, atelectasias y neumonía.

Dado que la estimación del momento apropiado para el retiro de la VMI suele estar basado en decisiones relativas y subjetivas, existen diversas variables que se han implementado con el objetivo de predecir objetivamente el retiro de la VMI entre ellas se encuentra el uso de la ecografía la cual mediante la evaluación de la atrofia del diafragma puede proporcionar índices predictores del éxito del destete ventilatorio.

Objetivo general:

Evaluar la Excursión diafrágica y la Fracción de Acortamiento Diafrágico como índices ultrasonográficos predictivos para el éxito de extubación en pacientes hospitalizados con ventilación mecánica invasiva en el hospital de pediatría del centro médico nacional de occidente.

Objetivos específicos:

Evaluar la excursión diafrágica y la fracción de acortamiento diafrágico en niños con ventilación mecánica que se relacionan con el éxito y/o fracaso del destete ventilatorio.

Analizar los factores de riesgo relacionados con la atrofia diafrágica presentes en los pacientes con fallo en el destete ventilatorio.

Identificar la utilidad de la ultrasonografía diafrágica como índice predictivo de extubación exitosa dentro del perfil de variables de las Pruebas de Ventilación Espontánea (pre-extubación).

Material y métodos:

Tipo de diseño: Estudio prospectivo, transversal, observacional, analítico, prueba diagnóstica.

Universo de estudio: pacientes hospitalizados en la UMAE Hospital de Pediatría del CMNO.

Población de estudio: pacientes en ventilación mecánica invasiva en el servicio de terapia intensiva pediátrica de la UMAE Hospital de Pediatría del CMNO IMSS.

Criterios de inclusión; Todos los pacientes hospitalizados entre 1 mes y 17 años 11 meses de edad en ventilación mecánica invasiva que hayan sido candidatos a destete ventilatorio y contaran con reporte de las mediciones de USG diafragmático dentro de las 24h previas a la extubación.

Criterios de NO inclusión; pacientes con condiciones primarias que influyan directamente sobre la movilidad y estructura diafragmática, como trastorno neuromuscular crónico, enfermedad pulmonar o pleural congénita, lesión o patología diafragmática.

Criterios de eliminación: pacientes que hayan cursado con infección por SARS-COV2, extubación no programada o que no contaron con reporte del ultrasonido diafragmático como parte del protocolo de ventilación espontánea pre-extubación.

Variable Dependiente: éxito de la extubación

Variable Independiente: Excursión diafragmática (ED), fracción de acortamiento diafragmático (FAD), espesor de acortamiento diafragmático.

Variabes intervinientes: Edad, sexo, peso, talla, IMC, estado nutricional, motivo de intubación, tiempo de ventilación mecánica invasiva, uso de bloqueador neuromuscular, complicaciones pleuropulmonares sobreagregadas, causas de fracaso de la extubación.

Desarrollo del estudio y procedimientos

Previa autorización del comité de ética e investigación con folio R-2022-1302-050 se seleccionaron pacientes que se encontraban con ventilación mecánica invasiva de acuerdo al censo de hospitalización de la Unidad de Terapia Intensiva Pediátrica de la UMAE Hospital de Pediatría CMNO IMSS y que fueron candidatos a extubación electiva en las siguientes 24 horas. Previa autorización y firma de consentimiento informado por parte de los padres o tutor de los pacientes, se llevó a cabo una revisión de expedientes físicos y/o electrónicos para verificar que contaban con los criterios de inclusión; se realizó el ultrasonido diafragmático por el médico de base que cuenta con adiestramiento en ultrasonido en el paciente crítico en la unidad de cuidados intensivos pediátricos previo a la extubación, y se procedió al llenado de la hoja recolectora de datos asignando un número secuencial para

identificación de cada paciente. En el sistema SPSS versión 22, se creó una base de datos para su posterior análisis estadístico y reporte de resultados el cual se plasmó en un manuscrito final con su respectiva discusión y conclusión.

Aspectos estadísticos: Inicialmente se realizó estadística descriptiva. Para las variables cualitativas se utilizó frecuencia y porcentajes, para las variables numéricas mediana y rangos de acuerdo con las características de la distribución de las variables numéricas para lo cual se utilizó la prueba shapiro wilk.

Para comparar las variables numéricas entre los que tuvieron éxito o fracaso a la extubación se utilizó de U de mann whitney (según correspondió la distribución de los datos e igualdad de varianzas como prerrequisito o supuesto para elegir una prueba no paramétrica), y en el caso de las variables cualitativas prueba de χ^2 y exacta de Fisher según correspondió el porcentaje de esperados en la tabla 2x2.

En base a los reportes numéricos de la ED y la FAD se calculó la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo para las variables ultrasonográficas respecto al éxito o fracaso de la extubación. Posteriormente se realizó un análisis en una curva roc para calcular al área bajo la curva y encontrar un nivel corte para cada una de las dos variables con la mejor sensibilidad y especificidad, para lo cual se utilizó el índice de youden. Finalmente, a través del nanograma de fagar, se analizó la razón de verosimilitud positiva y negativa para los puntos de corte que se eligieron respecto al éxito de la extubación.

Se utilizó un valor de significancia estadística ≤ 0.05 . Utilizamos el programa estadístico SPSS® versión 26 para crear la base de datos y para su análisis, así como el programa en línea: www.araw.mere.

Recursos e Infraestructura:

La unidad de cuidados intensivos pediátricos cuenta con un USG y transductores para la realización del estudio. El investigador principal cuenta con el programa estadístico SPSS® versión 26. Los gastos de copias, plumas/lápices corrieron a cuenta del tesista.

Experiencia del grupo

Se tiene la experiencia por parte del investigador principal quien es subespecialista en Neumología Pediátrica y Maestro en Ciencias, quién realizó el análisis estadístico al completarse la recolección de datos. Por su parte del Investigador asociado con subespecialidad en Medicina del Enfermo Pediátrico en Estado Crítico cuenta con un adiestramiento para la realización de ultrasonido en el paciente crítico y es quién realizó los ultrasonidos y mediciones de los índices diafragmáticos durante las pruebas de ventilación espontánea pre-extubación en los pacientes bajo ventilación mecánica en la unidad de cuidados intensivos. Finalmente, la tesista con especialidad en Pediatría revisó los censos para la selección de pacientes y realizó la recolección de datos.

Tiempo a desarrollarse: 1° noviembre de 2021 al 10 septiembre de 2022

ANTECEDENTES

Definiciones

La ventilación mecánica invasiva (VMI) es una terapia de soporte vital que mediante la sustitución temporal de la función ventilatoria busca mantener una adecuada ventilación alveolar y un intercambio gaseoso efectivo en pacientes críticamente enfermos.^{1,2}

Si bien la VMI mejora la sobrevida, puede producir complicaciones como: daño pulmonar, lesión a la vía aérea, neumonía asociada a VMI, disfunción del ventrículo derecho, atrofia de la musculatura respiratoria y la dependencia a sedantes.^{1,3} Todo lo cual incrementa la estancia hospitalaria, los costos sanitarios y la mortalidad por lo que su desconexión debe realizarse tan pronto como el paciente sea capaz de sostener la respiración espontánea. ^{1,4}

La desconexión del respirador mecánico puede definirse como el proceso a través del cual ocurre la transferencia gradual del trabajo respiratorio realizado por el ventilador mecánico al paciente y consta de dos procesos^{1,4,5}:

- ♣ **Destete (weaning):** descenso progresivo del soporte respiratorio, asignando al paciente un tiempo de respiración espontánea que le permita asumir el trabajo respiratorio manteniendo un intercambio gaseoso aceptable.* Este proceso, se lleva a cabo en pacientes que han estado por más de 48 horas en VMI y representa hasta el 40-50% de la duración total del soporte ventilatorio.¹⁻⁶
- ♣ **Extubación:** consiste en la remoción del tubo endotraqueal. Generalmente coincide con la determinación de que el paciente es capaz de mantener un intercambio gaseoso efectivo sin soporte del respirador o con un soporte adicional mínimo. ^{1,6}
- ♣ **Destete exitoso:** se define como 72h de respiración espontánea sin soporte ventilatorio con presión positiva.⁶

Fracaso del destete o de la progresión ventilatoria: conjunto de condiciones que determinan la necesidad de restablecimiento de la VMI, la instauración de ventilación mecánica no invasiva o muerte dentro de las primeras 24-72 h posteriores a la progresión ventilatoria. Tiene una prevalencia del 26-42% y se caracteriza por la presencia de insuficiencia respiratoria aguda secundaria a hipoventilación, incremento de cortocircuitos, alteraciones de la ventilación/perfusión y de la difusión. ^{1-3,6}

Clínicamente se evidencia por incremento del trabajo respiratorio, taquipnea, taquicardia, hipertensión o hipotensión, arritmias, agitación/ansiedad, diaforesis,

disnea, apnea y/o disminución del estado de alerta con alteración de los índices de oxigenación (hipoxemia o acidosis respiratoria).^{2,3,6}

La falla en la extubación está asociada con un aumento en la tasa de mortalidad, ya sea por la selección desacertada de pacientes con alto riesgo o por inducir efectos deletéreos durante el proceso de destete como aspiración, atelectasias y neumonía.³

Condiciones fisiopatológicas vinculadas al fracaso en la extubación

Fracaso de extubación: conjunto de condiciones que determinan la necesidad de reintubación y restablecimiento de la VMI dentro de las primeras 24-72h posteriores al retiro del tubo endotraqueal. Se presenta en el 20% de los pacientes que son extubados y se asocia a un incremento en la mortalidad >30%.^{1,2,5}

Se clasifica como Temprano cuando se presenta a menos de 6 horas post-extubación, Intermedia cuando se presenta entre las 6-24h y Tardía cuando es posterior a 24-72h.⁶

Las condiciones vinculadas al éxito y/o fracaso específicos de este momento están relacionados con la habilidad de protección de la vía aérea y la permeabilidad de la vía aérea superior. Siendo el edema laríngeo la principal causa de obstrucción de la vía aérea en pacientes recién extubados, condicionando la necesidad de reintubación en un 10-100% de los casos, según las series.^{1,5,7} Otros mecanismos condicionantes de obstrucción incluyen: laringoespasma, colapso de la vía aérea por efectos residuales de la sedación o relajante muscular, alteración en la deglución y mal manejo de secreciones.^{1,5}

Condiciones fisiopatológicas vinculadas al fracaso en el destete ventilatorio:

Sobrecarga ventilatoria.

- Incremento del trabajo respiratorio
- Disfunción hemodinámica.
- Trastornos metabólicos

Incompetencia neuromuscular

- Depresión de los centros respiratorios
- Disfunción periférica (neuropatía y miopatía)¹

Clínicamente asocia a un mal pronóstico pues se ha demostrado que es un factor de riesgo independiente de mortalidad y estancia prolongada en la UCI.⁸

Sobrecarga ventilatoria

Refiere al desequilibrio entre las necesidades ventilatorias y la capacidad neuromuscular, referido a la resistencia y complianza, que tienen los músculos

respiratorios para sostener la respiración espontánea, lo que conduce a hipoventilación y finalmente al fracaso en el destete ventilatorio.^{3,5,9} Lo anterior puede ocurrir cuando:

1. Aumentan las demandas de energía y el consumo de oxígeno, como ocurre por incremento del trabajo respiratorio ante la obstrucción de la vía aérea, el síndrome de supresión, la inestabilidad hemodinámica, sepsis, etc.⁵
2. Disminuye la energía y el oxígeno disponible, lo que conduce a la activación del metabolismo anaerobio y de las vías alternas para la producción de glucosa (glucogenólisis-gluconeogénesis) como sucede en estados de inestabilidad hemodinámica, hipoglucemia, desequilibrio hidroelectrolítico o ácido-base, anemia, etc.^{5,10}
3. Disminuye la competencia neuromuscular por disociación neuroventilatoria lo cual significa que cuando la relación entre el esfuerzo y la respuesta ventilatoria está alterada se generan respuestas neurohumorales como el delirium, la ansiedad y la depresión; que generan una respiración asincrónica con aumento del tono muscular y de la rigidez torácica, que conducen a una inspiración y espiración alteradas y a una menor eficiencia de los músculos respiratorios, aumentando la carga respiratoria.⁵
4. Hay reducción de la complianza pulmonar. La capacidad vital pulmonar de los pacientes con patología pulmonar está disminuida por una reducción en el volumen de reserva inspiratorio y espiratorio. Esta puede ser secundaria a neumonía, sobrecarga hídrica con edema pulmonar y edema de los músculos respiratorios, fibrosis pulmonar, hemorragia pulmonar, neumopatía crónica con hiperinflación pulmonar subyacente, obesidad u otras enfermedades que causan ocupación alveolar o restricción pulmonar.^{3,6}
5. Aumentan las resistencias de la vía aérea: como sucede en caso de broncoconstricción, con la presencia del tubo endotraqueal durante la prueba de ventilación espontánea, obstrucción de la vía aérea por secreciones o edema laríngeo.³

Inestabilidad hemodinámica

La insuficiencia cardíaca y la hipotensión condicionan una disminución en el flujo sanguíneo a los músculos respiratorios, disminuyendo la energía y el oxígeno disponible, incrementando en efecto el trabajo respiratorio. A ello se suma el aumento del trabajo respiratorio necesario para compensar la hipoxia y el déficit energético del resto del organismo, inducido por incremento de la concentración de catecolaminas circulantes.⁵

En lo que respecta a la carga de trabajo cardiaco, el traslado de un paciente desde la ventilación con presión positiva a la ventilación espontánea se asocia con un aumento del retorno venoso (precarga) y la presión intratorácica negativa que causan aumento de la carga del ventrículo izquierdo (poscarga) y aumento del consumo de oxígeno. Conduciendo a la manifestación de la disfunción miocárdica latente o no reconocida, durante el destete ventilatorio, que puede resultar en una reducción de la complianza del ventrículo izquierdo, edema pulmonar y aumento del trabajo respiratorio.^{3,5}

Del mismo modo, la hipertensión pulmonar secundaria a patología respiratoria o cardiológica, suponen un incremento en la carga de trabajo cardiaco, dificultando el destete ventilatorio.⁶

Anemia

Existe controversia sobre el nivel óptimo de hemoglobina (Hgb) y hematocrito (Hto) que deben tener los pacientes para ser extubados con mayor éxito. La anemia es un problema común en pacientes con enfermedad crítica o VMI y su impacto sobre el resultado de la enfermedad varía según el paciente y el estado de la enfermedad.^{5,11}

Fisiológicamente, la anemia disminuye el contenido de oxígeno arterial, comprometiendo el suministro de oxígeno a los tejidos y aumentando la carga de trabajo cardiaco y de los músculos respiratorios.¹¹ En efecto, se ha supuesto que la transfusión de sangre alogénica como tratamiento de la anemia, aumentará el transporte de oxígeno y, por tanto, disminuirá el débito cardiorrespiratorio, aliviando la hipoxia tisular, sin embargo, este beneficio no está del todo probado y en cambio se ha asociado a un aumento de la morbimortalidad en pacientes críticos; atribuido al efecto inmunosupresor de la sangre almacenada sobre el receptor, conocido como efecto TRIM (transfusion-related immunomodulation) el cual puede favorecer la adquisición de infecciones nosocomiales e isquemia tisular.¹²

Dados los antecedentes, en la actualidad las guías internacionales sugieren que niveles de Hgb de 8 a 10 g/dL son aceptables en pacientes críticamente enfermos. Esta estrategia de transfusión restrictiva establece niveles de Hgb <7g/dl como el umbral tolerable de anemia meritorio de transfusión. La razón fundamental en contra de una estrategia de transfusión liberal (umbral de Hgb <10g/dl, Hgb objetivo 10-12g/dl) es que las complicaciones relacionadas con la transfusión superan las ventajas de corregir los efectos fisiológicos desfavorables de la anemia.^{5,11,12}

En lo que respecta al destete ventilatorio, actualmente, no hay recomendaciones concluyentes con respecto a un umbral de transfusión adecuado para el destete ventilatorio. Algunos señalan que el valor del hematocrito no es un buen predictor de éxito para la extubación mientras que otros postulan a favor de niveles Hgb > 10 g/dL.^{5,11}

En el caso de pacientes con destete difícil, se ha postulado que tienen más probabilidades de beneficiarse de niveles más altos de hemoglobina en comparación con los que se encuentran en una etapa temprana de insuficiencia respiratoria, ya que el suministro de oxígeno adecuado mediado por la hemoglobina es crucial durante el proceso de destete. Siendo los pacientes con reserva cardiopulmonar deficiente los que más se beneficiarían de la transfusión eritrocitaria.

11

Alteraciones metabólicas

El desequilibrio hidroelectrolítico como la hipofosfatemia, hipomagnesemia y la hipokalemia son causa de debilidad muscular. Mientras que las alteraciones del sodio pueden condicionar compromiso neurológico que impida la progresión ventilatoria.³

Alteraciones hormonales como el hipotiroidismo e hipoadrenalismo también pueden contribuir a un destete ventilatorio difícil, aunque aún no se han hecho estudios suficientes que sustenten el mecanismo causal. No obstante, se ha comprobado que dosis superiores a la terapia de sustitución esteroidea están asociadas con miopatía severa, ya sea por efecto directo en la fibra muscular o indirectamente por el descontrol glucémico.^{1,3}

Respecto al estado de nutrición, la obesidad y el sobrepeso (IMC >25kgm²) se asocian con disminución de la complianza respiratoria y alto volumen de cierre/capacidad funcional residual lo cual interfiere en el manejo ventilatorio. Por su parte la desnutrición (IMC<20kgm²), la cual se reporta en 40% de los pacientes críticamente enfermos, se asocia en un 5% a la falla ventilatoria como resultado de disminución de la masa muscular y disminución del esfuerzo respiratorio.³

Incompetencia neuromuscular

La progresión de la ventilación mecánica requiere de una adecuada función neuromuscular; desde la generación de señales en el sistema nervioso central, pasando por la transmisión intacta a neuronas motoras respiratorias espinales hasta las uniones neuromusculares y la acción por los músculos respiratorios. La interrupción de cualquier parte de esta transmisión puede contribuir a la falla en el destete.^{3,5}

- a. **Disfunción neuromuscular central**, corresponde a la depresión de los centros respiratorios y manifiesta por la ausencia de actividad respiratoria al discontinuar la ventilación mecánica, la cual persiste a pesar del estímulo inducido por la hipercapnia y la hipoxemia. Puede ser secundario a desequilibrios metabólicos (hiponatremia, hipernatremia, hipoglucemia,

hiperglucemia, alcalosis metabólica), fármacos hipnótico/sedantes o daño neurológico secundario a la patología de base (por ejemplo: encefalitis, hemorragia o isquemia cerebral, complicaciones neuroquirúrgicas), etc. que condicionan fracaso a la progresión ventilatoria al inhibir el esfuerzo respiratorio, suprimir los reflejos de protección de la vía aérea, condicionar un mal manejo de secreciones (sialorrea, deglución deficiente, inhibición del reflejo tusígeno) y la disfunción neurológica. ^{1,3,9}

Como ya ha sido expuesto, los pacientes con disfunción neurológica (incluyendo delirium, ansiedad y depresión) suelen presentar una disociación neuroventilatoria al condicionar una respiración asincrónica con aumento del tono muscular y de la rigidez torácica, que conducen a una inspiración y espiración alteradas y a una menor eficiencia de los músculos respiratorios con el subsecuente aumento del trabajo respiratorio que conduce al fracaso en el proceso de destete ventilatorio. ⁵

b. **Disfunción neuromuscular periférica**, constituye la tercera causa de destete ventilatorio difícil o prolongado después de la sobrecarga de trabajo respiratorio y cardiaco y ha sido reportado hasta en 62% de los pacientes con fracaso a la extubación. ³ Se clasifica en:

- **Debilidad neuromuscular primaria**, corresponde a la presencia de alteraciones neuromusculares previas al ingreso a la UCI, ya sean por padecimientos intrínsecos (por ejemplo: distrofias musculares, parálisis diafragmática, parálisis cerebral infantil) o secundarios a la enfermedad que los condujo a someterse a la VMI (por ejemplo, síndrome de Guillain-Barre).^{3,5}
- **Debilidad neuromuscular secundaria o polineuropatía y miopatía del paciente crítico**; es una enfermedad neuromuscular adquirida en los pacientes en cuidados intensivos caracterizada por debilidad o cuadriparesia flácida y simétrica, de predominio en los músculos proximales, con disminución o abolición de los reflejos osteotendinosos; en cuyo defecto, la afectación de los nervios frénicos, músculos intercostales y respiratorios, así como la atrofia y disfunción contráctil del diafragma pueden retrasar el destete ventilatorio.^{3,13}

Es un problema relativamente frecuente en los pacientes críticamente enfermos; con una prevalencia del 50-100% en pacientes con sepsis severa, falla multiorgánica y/o AMV prolongada. Siendo particularmente frecuente en este grupo de pacientes, con un promedio de hasta el 25% en pacientes que han requerido VMI por más de 7 días. En 77% de los casos no se puede precisar si la etiología es muscular (miopatía) o neurológica (polineuropatía) ya que en general tienden a coexistir ambas alteraciones. ^{3,5,13}

Etiológicamente, el daño neuromuscular se atribuye a la respuesta inflamatoria sistémica (elevación de citosinas e hiperglucemia), los efectos farmacológicos del uso de corticoesteroides sistémicos y bloqueadores neuromusculares y a la atrofia inducida por la ventilación mecánica y la inmovilidad prolongada.^{3,13,14}

Fisiológicamente, se presentan alteraciones en la micro-circulación debido a la elevación de citosinas pro-inflamatorias e hiperglucemia durante la respuesta inflamatoria sistémica; como ocurre en los estados de sepsis, uso de nutrición parenteral total y glucocorticoides, que promueve un aumento en la permeabilidad endotelial y edema endoneural; con extravasación de leucocitos activados y factores neurotóxicos. Además, produce hipoxemia y depleción de energía con una disminución de la síntesis de proteínas y/o un aumento en la proteólisis por activación de los tres sistemas de degradación intracelular de proteínas (proteasas lisosomales, calpaínas y sistema de ubiquitin-proteasoma) que conducen a la apoptosis de fibras musculares.^{13,14}

Por otro lado, el uso prolongado de bloqueadores neuromusculares (BNM) con/sin la presencia de entidades que disminuyen su depuración (insuficiencia renal, uso de nefrotóxicos –aminoglucósidos y furosemida-) conduce al desarrollo de debilidad prolongada por 2 mecanismos: ¹⁰

- 1) Polineuropatía, secundaria a la persistencia del bloqueo neuromuscular por acumulación de metabolitos activos de ciertos relajantes (principalmente aminoesteroides como el vecuronio) por su inadecuada metabolización, eliminación o asociado a alteraciones hidroelectrolíticas. ¹⁵
- 2) Miopatía aguda, secundario a las alteraciones tróficas de los músculos respiratorios por la inmovilización prolongada.

Ambas entidades pueden aparecer precozmente, desde 24-28h después del inicio de BNM, y generalmente afecta al 10-15% de los pacientes en quienes son empleados; motivo por el cual su uso debe restringirse tras garantizar una adecuada sedoanalgesia, a la mínima dosis efectiva y durante el mínimo tiempo necesario. ¹⁵

El diagnóstico de esta entidad es clínico y se confirma mediante pruebas electrofisiológicas donde se evidencia una axonopatía sensitivo-motora con preservación de las velocidades de conducción y disminución de la amplitud de los potenciales de acción; y/o la biopsia muscular, en la que se demuestra una pérdida de las fibras musculares tipo II (filamentos gruesos de miosina) en un 80% de los pacientes con VMI y BNM. ^{3,13,15}

Y si bien la recuperación de la polineuropatía y la miopatía es espontánea, 66% de los pacientes pueden persistir con debilidad hasta por 3 meses, donde la afectación del diafragma, principal músculo de la respiración, puede condicionar una falla persistente al destete ventilatorio.¹³

Debilidad muscular diafragmática

El diafragma es el principal músculo de la respiración, siendo responsable del 80% del trabajo respiratorio. Se ha demostrado que en pacientes con VMI la fuerza muscular respiratoria se reduce a un 30% de su valor normal y se ha documentado una atrofia de los músculos respiratorios desde las 6-18 horas del inicio de la VMI. En el caso específico del diafragma, se ha visto que el 50% de los pacientes en VMI presentan atrofia, estimándose que su espesor se reduce en un 6-7% por día en adultos (3.4% por día en niños) y empeora con el uso de BNM.^{5,14,16}

El estrés oxidativo inducido por la VMI induce edema mitocondrial, daño de la miofibrilla e incremento de las vacuolas lipídicas intracelulares lo que conduce a atrofia muscular, lesión estructural, transformación del tipo de fibra muscular y remodelación del diafragma.³ En efecto, el adelgazamiento del diafragma es un indicador de debilidad, calculándose que la disminución de >30% de su grosor comparado con el ingreso tiene SE 88% y ESP 71% y AUC-ROC 0.79 para falla del destete ventilatorio, incremento del riesgo de neumonía, de la estancia en la UCI y de la morbi-mortalidad.^{5,14, 16}

Criterios de progresión ventilatoria:

Históricamente, el momento de retiro de la VMI ha sido determinado con base al juicio clínico, sin embargo, se ha observado que una extubación precoz en un paciente que aún no está preparado para asumir el trabajo respiratorio total habrá de inquirir en una falla ventilatoria que requerirá reintubación; hecho asociado a un riesgo de mortalidad 5 veces mayor en los pacientes bajo VMI.⁵

En pediatría, la tasa de fallas a la extubación programada oscila entre el 5 y el 30%. Sin embargo, contradictoriamente más del 50% de las extubaciones no planificadas son exitosas, lo que sugiere que un gran porcentaje de pacientes son mantenidos en VMI por más tiempo del necesario, incrementando la mortalidad del 12% al 27%. De este modo, la decisión tanto de iniciar el proceso de destete así como de extubación debe estar basados en el cumplimiento de criterios objetivos y reproducibles para permitir el retiro de la VMI a la mayor brevedad posible y evitar la mayor tasa de fracaso.^{1,3,5}

Criterios de progresión ventilatoria: Se definen como las condiciones del estado general del paciente que permitirán el inicio y progresión del destete puesto que determinan que el paciente está preparado para sostener un intercambio gaseoso efectivo mediante la respiración espontánea exclusiva.^{1,3,13} Estos también son un predictor independiente de éxito para la extubación y supervivencia, y son los siguientes:

- ✓ Resolución o mejoría de la causa de fallo respiratorio.¹
- ✓ Estabilidad hemodinámica, ausencia de hipotensión clínicamente significativa, que no requiere fármacos vasoactivos o los requiere a dosis bajas (dopamina o dobutamina < 5 mg/kg/min).^{1,2,5,9,17}
- ✓ Nivel de conciencia adecuado que permita la protección de la vía aérea^{1,2,5,9,17}
 - ✓ Suspensión o dosis bajas de sedación
 - ✓ Suspensión de los relajantes musculares al menos 24h previas
 - ✓ Paciente despierto
 - ✓ Reflejos de protección de la vía aérea presentes (reflejo de tos)
 - ✓ Síndrome de abstinencia bajo manejo
 - ✓ Escala COMFORT ≥ 18
 - ✓ Escala de Glasgow >8
- ✓ Ausencia de signos clínicos de sepsis^{1,9,17}
 - Temperatura <38°C*
- ✓ Ausencia de desequilibrios metabólicos e hidroelectrolíticos importantes.^{1,2,17}
 - Equilibrio ácido-base
- ✓ Ausencia de hemorragia o anemia (Hgb >7.5g/dl Hto >32%)⁹
- ✓ Ventilación espontánea efectiva^{1-3,9,13,17}
 - ✓ Esfuerzo respiratorio espontáneo
 - ✓ **Condición neuromuscular apropiada**
 - ✓ Manejo apropiado de las secreciones de la vía aérea
 - ✓ Intercambio gaseoso efectivo
 - PaO₂/FIO₂ $\geq 150-200$
 - PaO₂ >60mmHg, Saturación >90%

- PaCO₂ ≤45mmHg
- ✓ Necesidad de soporte ventilatorio mínimo^{1-5,8,9}
 - Modalidad actual: PC-AC, SIMV, PSV
 - Parámetros: FIO₂ ≤40-50%, PEEP ≤5-8cmH₂O, PS ≤8

Índices predictores de fracaso de destete ventilatorio

Dado que la estimación del momento apropiado para el retiro de la VMI suele estar basado en una decisión clínica subjetiva. Se han implementado diversas variables con el objetivo de predecir objetivamente el resultado de la Pruebas de Ventilación Espontánea, realizadas en pacientes seleccionados previo a extubación, y con ello disminuir la morbilidad y mortalidad asociada a la extubación fallida.^{2,4,13}

En adultos se han estudiado más de 50 predictores de destete, sin embargo solo 4 han mostrado una modesta capacidad de predecir el retiro de la VMI: la presión inspiratoria máxima (P_Imax), el volumen minuto [V_m], el índice de Tobin (FR/VT) y el índice de CROP. En pediatría, aún quedan por establecer valores de corte que engloben a la totalidad de la población pediátrica, así como también determinar el momento idóneo para realizar estas mediciones.¹

Ecografía diafragmática

Más recientemente se ha implementado el uso de la ecografía para obtener índices predictores del destete ventilatorio basado en el seguimiento de la atrofia del diafragma, principal músculo de la respiración, y de las condiciones de la aeración pulmonar.^{8,10}

El USG tiene la ventaja de ser una herramienta portátil de uso fácil, rápido, reproducible, de bajo costo, libre de radiación ionizante y no invasivo; con la posibilidad de realizarse al pie de cama, disminuyendo los riesgos de movilizar a un paciente en VMI. Además permite la evaluación anatómica y funcional del diafragma en tiempo real.^{5,8-10,14,18-20}

Método:

Para la realización del USG diafragmático los pacientes son examinados en respiración espontánea; en pacientes que están bajo VMI, el ventilador se desconecta temporalmente para obtener la valoración. Con un abordaje transversal oblicuo subxifoideo en línea media, se pueden visualizar ambas cúpulas juntas, pudiendo evaluar y comparar sus movimientos.^{13,14} Las cúpulas individuales pueden ser evaluadas en abordajes subcostal o intercostal en los planos parasagital y coronal con el objetivo de obtener imágenes del tercio posterior del diafragma:

- Ventana ultrasonografica para el hemidiafragma derecho: entre la línea medio-clavicular y axilar anterior, con la sonda en dirección medial-cráneo-dorsal-, con el lóbulo derecho del hígado como ventana acústica.*

- Ventana ultrasonografica para el hemidiafragma izquierdo: entre la línea axilar anterior y media, con la sonda en dirección medial-cráneo-dorsal-, con el bazo como ventana acústica.^{10,13,14,16}

Modalidades:

- ♣ *Modo B (2D, bidimensional):* Es usado para el estudio anatómico y la evaluación morfométrica del diafragma que incluye el grosor tanto en relajación como durante maniobras, posibilita la visualización de todas las porciones de cada hemidiafragma y de las estructuras por encima y por debajo de él, incluyendo la evaluación de procesos en la base del tórax y en el abdomen superior que pudieran comprometer el trabajo respiratorio.^{14,18,20}
- ♣ Las cúpulas del diafragma actúan como un reflector especular de ondas de ultrasonido, por lo que se ven como una gruesa línea ecogénica. Las inserciones costales y la porción crural del diafragma también pueden ser visualizadas, sobre todo en lactantes y niños pequeños, como una banda de tejido muscular hipoecogénico.^{16,18}
- ♣ *Modo M (movimiento):* hace una evaluación cuantitativa de la excursión (movimiento) del diafragma mediante el análisis de dos parámetros: la dirección y la amplitud, es decir, produce imágenes que visualizan el movimiento del diafragma a lo largo del tiempo y permite una medición precisa del desplazamiento diafragmático en un ciclo respiratorio.*^{9,16,18,20}

Dirección de movimiento de cada hemidiafragma: durante la inspiración el diafragma se contrae y desplaza caudalmente, acercándose al transductor, lo cual es registrado como un movimiento hacia arriba. Mientras que en la espiración se mueve cefálicamente, alejándose del transductor, lo que queda representado como una inflexión. La línea de base representa la pausa que sigue a la espiración.*^{8,10,12,14,18}

En relación al ciclo respiratorio: la inspiración ocurre después de una pausa respiratoria que representa el final de la espiración. En casos difíciles, uno puede colocar una mano libre en el pecho del paciente y correlacionar el movimiento torácico con el M-US o un asistente puede hacer esto y llamar al tiempo de inspiración.*^{10,12,20}

Como se ha expuesto, la ultrasonografía diafragmática proporciona información cualitativa y cuantitativa sobre la función diafragmática, siendo altamente útil como parte de una evaluación global en pacientes en VMI. Existen dos mediciones USG principales para evaluar la anatomía y cinética diafragmática durante la VM:^{14,16}

A. La excursión del diafragma (rango de movimiento diafragmático): Se mide utilizando una sonda convexa colocada paralela al borde subcostal en la línea media clavicular o axilar anterior, dirigido en sentido craneal, medial y dorsal con el objetivo de obtener imágenes del tercio posterior del diafragma. Se puede realizar en una posición semifowler o supina, mediante un escaneo en eje largo de los espacios intercostales. ^{9,12,14,16}

Utilizando la modalidad M se evalúa:

- ☞ Amplitud de la excursión diafragmática: Desplazamiento del diafragma en cm.
- ☞ Velocidad de contracción diafragmática: excursión diafragmática/tiempo inspiratorio o tiempo en alcanzar la máxima excursión (pendiente, cm/s). No hay diferencia entre sexos. Valor: 1.3 ± 0.4 cm/segundos.
- ☞ Índice de tiempo de excursión diafragmática: excursión (E) por tiempo inspiratorio (I,s)
- ☞ Duración del ciclo (Tiempo total, expresado en segundos) ¹⁴

Consideraciones:

- ☞ Correlaciona positivamente con volúmenes inspiratorios pulmonares y es mayor durante una respiración inspiratoria forzada.
- ☞ Algunos estudios indican que la medición exclusiva del diafragma derecho es un buen predictor, en cuanto a la medición de ambos lados del diafragma (derecho e izquierdo) debido a la mayor dificultad de medir el diafragma izquierdo por interposición del pulmón izquierdo para evaluar la imagen diafragmática, ya que no se han identificado diferencias significativas entre ambos hemidiafragmas. ^{8,14,16}

La **amplitud** de excursión del hemidiafragma se estima midiendo la distancia vertical entre el fondo (final de la espiración) y el punto de máxima altura (final de la inspiración) de la línea de rastreo que corresponde al borde superior del hígado (para el hemidiafragma derecho) o del bazo (para el hemidiafragma izquierdo), es decir, el cursor inicial debe colocarse al final de la espiración y el segundo cursor a la altura máxima del pico de inspiración. Ambos cursores deben colocarse por encima o por debajo de la línea del trazado para obtener una medición precisa. ^{10,12}

Se ha determinado que el valor de referencia de la excursión diafragmática en adultos varía con el sexo (es menor en mujeres), la altura y la edad (es menor a mayor edad). Habiendo poca correlación entre la excursión diafragmática, el peso y la talla. Su valor normal se establece para Hombres: 4.7 a 1.8 ± 0.3 cm, Mujeres 3.7 a 1.6 ± 0.3 cm. ^{10,14,16,18}

De acuerdo a ese rango de referencia se ha clasificado la excursión en 4 grupos:

- ♣ Normal, si el diafragma se mueve hacia el transductor durante la inspiración, con una excursión de más de 4 mm y una diferencia en la excursión entre las cúpulas de menos de 50%.
- ♣ Disminuido, cuando la amplitud es ≤ 4 mm y la diferencia de amplitud entre los hemidiafragmas es superior al 50%.
- ♣ Ausente, cuando el trazado muestra una línea plana
- ♣ Paradójico, cuando el movimiento diafragmático se aleja del transductor en inspiración. ^{18,20}

B. El espesor del diafragma se mide en la zona de aposición utilizando una sonda lineal (sectorial) de mayor frecuencia (> 10 -12 MHz). Con el paciente en semifowler, se coloca la sonda en el 8-9° espacio intercostal, zona donde el contenido abdominal alcanza la caja torácica inferior, entre la línea anterior y medio axilar en una posición perpendicular a la pared torácica. El diafragma se ve como una estructura de tres capas donde el músculo se aprecia como un espacio hipoecogénico intercalado entre las dos capas ecogénicas de la pleura y el peritoneo. * ^{**8,9,14,16}

Ambos modos B y M se pueden utilizar para medir el espesor el cual se traza como la distancia vertical desde el punto central de la línea pleural hasta el punto central de la línea peritoneal en la ubicación antes mencionada al final de la inspiración y al final de la espiración. *Esto se repite para tomar el promedio. Los valores normales oscilan entre 1.8-3 mm. ^{8,9,14,16}

- ∞ El espesor se ha correlacionado con la fuerza del diafragma, pero no la resistencia o fatiga.
- ∞ Parece ser más grueso en una posición erguida, en comparación con la postura supina.
- ∞ Puede medirse en la espiración o al final de la inspiración, y en una respiración a volumen tidal o máxima.
- ∞ Comparando el espesor espiratorio con el inspiratorio se obtiene la fracción de acortamiento (FAD): **

(Espesor al final de la inspiración– Espesor al final de la espiración) x 100

Espesor al final de la espiración

(TI-TE/TE x100) * y es un indicador del trabajo respiratorio. ^{8,9,16}

En niños, no se ha establecido un consenso de los valores de referencia de acuerdo a la edad, sin embargo, existe un estudio realizado en China dónde se midió la excursión y el engrosamiento diafragmático en 400 niños sanos, con el objetivo de establecer rangos normales por edad. ^{10,13}

Hemidiafragma	Excursión		Grosor	
	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo
1mes-2años	6.4 ± 2.1 (3.0-12.6)	6.6 ± 1.7 (3.5-11)	3.4 ± 0.9 (1.8-6.9)	3.5 ± 1.0 (2.1-6.3)
2-6 años	10.0 ± 2.3 (5.7-16.5)	9.5 ± 2.0 (5.0-15.7)	4.6 ± 1.0 (2.5-6.7)	4.6 ± 0.9 (2.5-6.7)
6-12 años	11.6 ± 2.7 (5.7-19.0)	10.6 ± 2.6 (5.9-18.8)	5.4 ± 1.4 (3.2-11.5)	5.2 ± 1.3 (3.0-10.6)
12-16 años	13.1 ± 2.5 (8.5-19.5)	11.9 ± 2.2 (8.1-17.1)	6.3 ± 1.3 (4.3-9.5)	6.3 ± 1.1 (3.7-8.5)

No encontraron diferencias respecto al sexo. Y hubo correlación positiva entre la excursión y engrosamiento entre ambos hemidiafragmas (derecho e izquierdo). Así mismo se encontró correlación entre la excursión del hemidiafragma derecho y el peso corporal ($R = 0.731$; $R^2 = 0.535$) y entre el grosor diafragmático y la talla en niños de 1 mes a 2 años. ¹⁰

Se ha sugerido que la pre-extubación y a las 2h de respiración espontánea es el mejor momento para realizar la ecografía para evaluar el diafragma. ¹⁶

Usos del USG diafragmático:

- 🌀 **Dx de debilidad diafragmática:** en presencia de enfermedades neuromusculares evalúa el movimiento de la cúpula diafragmática (velocidad de contracción y movimiento) y el espesor diafragmático. Observando ausencia o disminución caudal de la excursión diafragmática sin evidencia de diferencia en el grosor durante inspiración normal y la inspiración máxima lo que sugiere un deterioro severo de la función contráctil del diafragma. ¹⁴
- 🌀 **Dx de disfunción diafragmática:** pérdida de la capacidad para generar una contracción adecuada secundaria a debilidad y atrofia que se asocia a la VMI. Ultrasonográficamente se ha definido como una fracción de acortamiento <20% o una excursión a volumen tidal <10 mm y presencia de un movimiento

paradójico en el caso del diafragma paralizado, con una SE 93% y ESP 100%. Lo que asocia con una disminución de la capacidad vital del 30-50%.^{14,16,21}

En adultos, se ha estimado que pacientes con EPOC con disfunción diafragmática son 4.4 veces más propensos a requerir VMI, traqueotomías, mayor estancia hospitalaria en UCI y mayor mortalidad.¹⁶

Dx de parálisis diafragmática:

En cuanto a la excursión diafragmática: se visualiza como la ausencia de movimiento diafragmático durante la inspiración normal o un movimiento paradójico a la inspiración profunda (el diafragma se aleja del transductor durante la inspiración), excursión diafragmática <4mm y diferencia >50% de las excursiones de ambos hemidiafragmas.^{14,16-18}

En el caso de parálisis o disfunción bilateral el valor de 50% de diferencia entre la excursión de ambos hemidiafragmas puede ser poco útil, sin embargo, en estos casos el valor definitivo de la excursión de cada hemidiafragma es determinante.²⁰

En cuanto al engrosamiento diafragmático, su ausencia durante la inspiración confirma la parálisis. Si hay atrofia muscular, el espesor disminuye y el diafragma no se contrae durante la inspiración. El diagnóstico se establece con un engrosamiento <2 mm y una FAD <20%.¹⁷

Predicción de destete ventilatorio exitoso:

Como se ha mencionado la disfunción neuromuscular y la debilidad derivada de la atrofia diafragmática en el paciente crítico pueden condicionar una falla persistente al destete ventilatorio, incrementando la morbi-mortalidad y los costos sanitarios asociadas a la VMI prolongada. En vías de predecir una progresión ventilatoria exitosa, se han realizado múltiples estudios que han confirmado que la medición ultrasonográfica tanto de la excursión diafragmática (ED) como la fracción de acortamiento diafragmático (FAD) son útiles indicadores para predecir el éxito del destete ventilatorio.^{14,16,18}

Y se ha encontrado que, de ambos parámetros, la FAD tiene mayor sensibilidad que la excursión para predecir disfunción diafragmática. Del mismo modo, se ha concluido que el fracaso del destete ha sido mayor en presencia de disfunción diafragmática, y algunos autores han postulado que la parálisis tiene un mejor pronóstico que el movimiento paradójico. Así mismo, se ha observado que tanto la ED como la FAD tienen un valor más alto en los pacientes que han sido destetados con éxito.^{1, 8,14,16,20}

Según el estudio, se han establecido como valores de referencia una FAD >30% en adultos (estudio de Di Nino et al, de Baess et al. y de Ferrari et al.) con una SE de 70-82% y ESP de 88%; como predictor de destete ventilatorio exitoso. Si bien, otros estudios reportan como valor de corte una FAD \geq 20% con una SE de 82-100% y

ESP de 76.2-81% (estudios de Dalia, et al., Umbrello et al. y Xue et al.), este último realizado en niños. Reportando que valores <21% se asocian a un fracaso en la progresión ventilatoria con un VPP 94% y VPN 56%.^{8,9,16}

Por otra parte, para la excursión diafragmática se ha establecido un valor de >12mm con una SE de 69.5- 88.4% y una ESP de 71.4-87.5% como indicador de extubación exitosa. Si bien, otros estudios han establecido como punto de corte una excursión ≥ 6.2 mm con SE y ESP de 87.5% y 66.7% respectivamente.^{9,14,16}

De lo anterior, puede observarse que una de las limitantes en el uso de los índices ultrasonográficos como predictores de destete exitoso es que aún no existe homogeneidad en los estudios para determinar los puntos de corte exactos. Otra de las desventajas atribuidas al uso del ultrasonido es que es un método de imagen operador dependiente, sin embargo, los estudios han comprobado que tanto la FAD como la ED pueden ser determinadas en más de un 95% de las mediciones con un bajo coeficiente de variación inter-operador (0.09-0.14).^{7,9,17}

De acuerdo a los estudios realizados, los índices de predicción no son aplicables en pacientes con enfermedad neuromuscular crónica previa (como esclerosis lateral amiotrófica, Guillain – Barre, lesión espinal cervical), malformación pulmonar o pleural congénita.^{8,9}

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ventilación mecánica invasiva (VMI) es una terapia de soporte vital que sustituye de manera temporal la función ventilatoria. Si bien la VMI mejora la sobrevida, puede producir complicaciones como: daño pulmonar, lesión a la vía aérea, neumonía asociada a VMI, disfunción del ventrículo derecho, atrofia de la musculatura respiratoria y la dependencia a sedantes. Por lo que su desconexión debe realizarse tan pronto como el paciente sea capaz de sostener la respiración espontánea, se haya resuelto la causa que motivó a la ventilación y el paciente se encuentre en adecuadas condiciones cardio-ventilatorias, metabólicas, neurológicas y sin datos de proceso infeccioso activo.

El fracaso del destete ventilatorio tiene una prevalencia del 26-42% y se ha asociado con un aumento del 30% de la tasa de mortalidad, ya sea por la selección desacertada de pacientes con alto riesgo o por inducir complicaciones durante el proceso de destete como aspiración, atelectasias y neumonía.

Dado que la estimación del momento apropiado para el retiro de la VMI suele estar basado en decisiones relativas y subjetivas, se han implementado diversas variables con el objetivo de predecir objetivamente el retiro de la VMI.

En adultos se han estudiado más de 50 predictores objetivos de destete, sin embargo, solo 4 han mostrado un rendimiento relativo para predecir el retiro de la VMI: la presión inspiratoria máxima (P_Imax), el volumen minuto [V_m], el índice de Tobin (FR/VT) y el índice de CROP.

Más recientemente se ha implementado el uso de la ecografía para obtener índices predictores del destete ventilatorio como la evaluación de la atrofia del diafragma, principal músculo de la respiración, y de las condiciones de la aeración pulmonar.

Dentro de los índices ecográficos que evalúan al diafragma y que predicen el éxito al retiro de la VMI, se encuentra la excursión diafragmática (ED) y la fracción de acortamiento diafragmático (FAD). En adultos, se ha determinado que el valor de referencia de la excursión diafragmática varía con el sexo (es menor en mujeres), la altura y la edad (es menor a mayor edad) con valores de referencia para Hombres: 4.7 a 1.8 ± 0.3cm y Mujeres 3.7 a 1.6 ± 0.3cm. Mientras que para el engrosamiento diafragmático los valores normales oscilan entre 1.8-3 mm que corresponden a una FAD del 20%.

En estudios realizados en población pediátrica se ha establecido como valor de corte una FAD ≥20% con una SE 82-100% y ESP 76.2-81% (estudios de Dalia, et al., Umbrello et al. y Xue et al.). Reportando que valores <21% se asocian a un fracaso en la progresión ventilatoria con un VPP 94% y VPN 56%.

Por otra parte, para la excursión diafragmática en pacientes pediátricos se ha establecido un valor de >12mm con una SE 69.5-88.4% y una ESP 71.4-87.5% como indicador de extubación exitosa. Existen otros estudios en población pediátrica que han establecido como punto de corte una excursión ≥6.2mm con SE 87.5% y ESP 66.7% respectivamente.

De lo anterior, puede observarse que una de las limitantes del uso de los índices ultrasonográficos como predictores de destete exitoso es que aún no existe homogeneidad en los estudios para determinar los puntos de corte exactos en los pacientes pediátricos. Lo cual nos llevó a plantearnos la siguiente pregunta:

Pregunta de investigación:

¿La excursión diafragmática y la fracción de acortamiento diafragmático son índices ultrasonográficos para predecir el éxito de extubación en pacientes con ventilación mecánica invasiva en el Hospital de Pediatría del Centro Médico Nacional de Occidente?

JUSTIFICACIÓN

Magnitud: El fracaso del destete ventilatorio tiene una prevalencia del 26-42% de los pacientes en ventilación mecánica invasiva. De entre las múltiples causas que lo condicionan, la debilidad neuromuscular periférica, constituye la tercera causa de destete ventilatorio difícil o prolongado después de la sobrecarga de trabajo respiratorio y cardiaco y ha sido reportado hasta en 62% de los pacientes con fracaso a la extubación.

La afectación neuromuscular es un problema relativamente frecuente entre los pacientes críticamente enfermos; con una prevalencia del 50-100% en pacientes con sepsis severa, falla multiorgánica y/o VMI prolongada. Siendo particularmente frecuente en este grupo de pacientes, con un promedio de hasta el 25% en pacientes que han requerido VMI por más de 7 días.

Trascendencia: Como se ha comentado el fracaso del destete ventilatorio tiene una prevalencia del 26-42% de los pacientes en VMI y cada episodio se ha asociado con un aumento del 30% de la tasa de mortalidad.

La implementación de índices de predicción de extubación exitosa, entre ellos los índices diafragmáticos, permitirán mejorar la selección de pacientes que son candidatos a progresar la ventilación mecánica; disminuyendo la tasa de fracaso y con ello la morbi-mortalidad asociada, los días de estancia hospitalaria, los costos y en el paciente las secuelas a largo plazo.

Vulnerabilidad: Una de las limitantes en el uso de los índices ultrasonográficos como predictores de destete exitoso es que aún no existe homogeneidad en los estudios para determinar los puntos de corte exactos, principalmente en la población pediátrica. Otra de las desventajas atribuidas al uso del ultrasonido es que es un método de imagen operador dependiente, sin embargo, los estudios han comprobado que tanto la FAD como la ED pueden ser determinadas en más de un 95% de las mediciones con un bajo coeficiente de variación inter-operador (0.09-0.14).

Factibilidad: El ultrasonido tiene la ventaja de ser una herramienta portátil; de uso fácil, rápido, reproducible, de bajo costo, libre de radiación ionizante y no invasivo; con la posibilidad de realizarse al pie de cama; disminuyendo los riesgos de movilizar a un paciente en VMI. Además de que permite la evaluación anatómica y funcional del diafragma en tiempo real.

Nuestro estudio fue factible dado que se cuenta con el equipo y el personal capacitado para la medición de los índices diafragmáticos, siendo una prueba que se ha implementado como parte de la Prueba de Ventilación Espontánea en pacientes previo a la extubación en la unidad de cuidados intensivos pediátricos.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar la Excursión diafragmática y la Fracción de Acortamiento Diafragmático como índices ultrasonográficos predictivos para el éxito de extubación en pacientes hospitalizados con ventilación mecánica invasiva en el hospital de pediatría del centro médico nacional de occidente.

Objetivos específicos:

Evaluar la excursión diafragmática y la fracción de acortamiento diafragmático en niños con ventilación mecánica que se relacionan con el éxito y al fracaso del destete ventilatorio.

Analizar los factores de riesgo relacionados con la atrofia diafragmática presentes en los pacientes con fallo en el destete ventilatorio por disfunción mecánica ventilatoria.

Identificar la utilidad de la ultrasonografía diafragmática como índice predictivo de extubación exitosa dentro del perfil de variables de las Pruebas de Ventilación Espontánea (pre-extubación).

HIPÓTESIS

Ho: La Excursión diafragmática y la fracción de acortamiento diafragmático no son índices ultrasonográficos predictivos para el éxito de extubación en pacientes hospitalizados con ventilación mecánica invasiva en el hospital de pediatría del centro médico nacional de occidente

Hi: La Excursión diafragmática y fracción de acortamiento diafragmático son índices ultrasonográficos predictivos para el éxito de extubación en pacientes hospitalizados con ventilación mecánica invasiva en el hospital de pediatría del centro médico nacional de occidente.

MATERIAL Y METODOS

Tipo de diseño: Estudio prospectivo, transversal, observacional, analítico, prueba diagnóstica.

Universo de estudio: pacientes hospitalizados en la UMAE Hospital de Pediatría del CMNO.

Población de estudio: pacientes en ventilación mecánica invasiva en el servicio de terapia intensiva pediátrica de la UMAE Hospital de Pediatría del CMNO IMSS.

Temporalidad: 1° noviembre de 2021 al 10 septiembre de 2022.

Muestreo: no probabilístico de casos consecutivos

Cálculo muestral: Se realizó cálculo de muestra para pruebas diagnósticas.

Considerando el estudio de Abdel Rahman y col, reportaron éxito de la extubación con una fracción de acortamiento diafragmático de 23.1 mm con una sensibilidad del 100% y especificidad del 76% y para excursión diafragmática de 6.2 mm una sensibilidad de 87.1 y especificidad del 66.7% con una variabilidad de la sensibilidad de hasta 74.5% reportada en la literatura y plasmada en el mismo artículo.

Se realizó un cálculo de tamaño de muestra para las dos variables ultrasonográficas (fracción de acortamiento diafragmático y excursión diafragmática y se eligió la variable que requería mayor tamaño de muestra (excursión diafragmática).

$$N = \frac{4(Z\alpha)^2 (p \cdot q)}{IC^2}$$

Al despejar la fórmula:

$$N = \frac{4(1.96)^2 (0.87)(0.13)}{0.25^2}$$

En donde:

N = Tamaño de muestra que se requiere.

Z α = Valor α de 0.05, al que le corresponde un valor Z de 1.96.

p = Valor de sensibilidad de 87.1% que se espera encontrar (0.87)

q = 1 – p complemento de la sensibilidad (0.13)

IC = Amplitud máxima permitida del intervalo de confianza alrededor del cuál consideramos que está el verdadero valor de sensibilidad, el cuál fue calculado en 25% y será de 12.5% a dos colas (0.25).

Por lo tanto se requieren de 27 pacientes y si consideramos un 20% de pérdidas durante el proceso en total serán: 32.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Criterios de inclusión:

Pacientes entre 1 mes y 17 años 11 meses de edad y se encuentren hospitalizados con ventilación mecánica invasiva y sean candidatos para destete ventilatorio de acuerdo con los siguientes criterios:

- ✓ Resolución o mejoría de la causa de fallo respiratorio.
- ✓ Estabilidad hemodinámica: tensión arterial y frecuencia cardiaca en PC 5-95 para la edad y talla, ausencia de datos de bajo gasto, que no requiere fármacos vasoactivos o los requiere a dosis bajas (dopamina o dobutamina < 5 mg/kg/min).
- ✓ Adecuado nivel de conciencia que permita la protección de la vía aérea: presencia de reflejos de la vía aérea, paciente alerta, Glasgow ≥ 8 , síndrome de supresión en control (COMFORT ≥ 18) sin sedantes o a dosis bajas.
- ✓ Sin bloqueantes neuromusculares por ≥ 24 h
- ✓ Ausencia de signos clínicos de infección: afebril
- ✓ Ausencia de desequilibrios metabólicos e hidroelectrolíticos importantes: pH ≥ 7.35 , K 3-5, Na ≥ 130
- ✓ Ausencia de hemorragia o anemia Hgb ≥ 7 g/dl)
- ✓ Ventilación espontánea efectiva
 - ✓ Intercambio gaseoso efectivo
 - PaO₂/FIO₂ ≥ 150 -200
 - PaO₂ >60mmHg, Saturación >90% (o saturación en rangos objetivo en pacientes con cardiopatía cianógena conocida)
 - PaCO₂ ≤ 45 mmHg
 - ✓ Necesidad de soporte ventilatorio mínimo
 - Parámetros: FIO₂ ≤ 40 -50%, PEEP 4-6cmH₂O, PS ≤ 8

Criterios de NO inclusión:

Pacientes con condiciones primarias que influían directamente sobre la movilidad y estructura diafragmática, como:

-Trastorno neuromuscular crónico, por ejemplo: distrofias musculares, síndrome de Guillain-Barre, esclerosis lateral amiotrófica, etc

-Enfermedad pulmonar o pleural congénita conocida: agenesia, hipoplasia o displasia pulmonar, enfisema lobar congénito, malformación adenomatoidea quística, etc

-Lesión diafragmática: antecedente de hernia diafragmática, antecedente de parálisis diafragmática unilateral o bilateral, antecedente de manipulación diafragmática durante la cirugía torácica o esofágica, cardiaca o abdominal.

Criterios de eliminación:

Pacientes que hayan cursado con infección por SARS-COV2.

Pacientes con extubación no programada.

Pacientes que no contaron con reporte de ultrasonido diafragmático como parte del protocolo de ventilación espontánea pre-extubación.

VARIABLES DE ESTUDIO

Variable Dependiente: éxito de la extubación

Variable Independiente: Excursión diafragmática (ED), fracción de acortamiento diafragmático (FAD), espesor de acortamiento diafragmático.

Variables intervinientes: Edad, sexo, peso, talla, IMC, estado nutricional, motivo de intubación, tiempo de ventilación mecánica invasiva, uso de bloqueador neuromuscular, complicaciones pleuropulmonares sobre agregadas, causas de fracaso de la extubación.

DEFINICIÓN DE VARIABLES:

Éxito de la extubación: consiste en la remoción del tubo endotraqueal cuando se determina que el paciente es capaz de mantener un intercambio gaseoso efectivo manteniéndose por más de 48h en respiración espontánea sin soporte ventilatorio con presión positiva.

Excursión diafragmática: refiere a la amplitud del rango de movimiento diafragmático en un ciclo respiratorio el cual se estima midiendo la distancia vertical entre el fondo (final de la espiración) y el punto de máxima altura (final de la inspiración) de la línea de rastreo.

Fracción de acortamiento diafragmático: índice que compara el espesor de acortamiento diafragmático al momento de la espiración y la inspiración.

Espesor de acortamiento diafragmático: expresa la distancia vertical desde el punto central de la línea pleural hasta el punto central de la línea peritoneal en la zona de aposición diafragmática (en el 8-10° espacio intercostal, entre la línea anterior y medio axilar en una posición perpendicular a la pared torácica) al final de la inspiración y al final de la espiración.

Edad: Lapso de tiempo que transcurre desde el nacimiento hasta el momento de referencia.

Sexo: Condición orgánica de los seres vivos que distinguen a los machos de las hembras.

Peso: en referencia a la masa corporal que corresponde a una porción de materia en este caso integrada por tejido graso, óseo, muscular y visceral.

Talla: Estatura de una persona, medida desde la planta del pie hasta el vértice de la cabeza

IMC índice de peso en relación con la estatura de un individuo que se emplea para expresar el estado nutricional de un individuo a partir de los 3 años de edad.

Estado nutricional: condición que resulta primeramente del balance entre el aporte de nutrientes y la demanda metabólica de los mismos y secundariamente de factores intrínsecos representados por las condiciones físicas, genéticas, biológicas, culturales, psico-socioeconómicas y ambientales.

Motivo de intubación: condición patológica que comprometió la función ventilatoria ameritando el inicio de ventilación mecánica invasiva.

Tiempo de ventilación mecánica invasiva: terapia de soporte vital que mediante la sustitución temporal de la función ventilatoria busca mantener una adecuada ventilación alveolar y un intercambio gaseoso efectivo en pacientes críticamente enfermos a través de sonda en la tráquea a través de la boca o la nariz.

Uso de bloqueadores neuromusculares: son medicamentos que inducen parálisis muscular mediante el bloqueo del impulso nervioso a nivel de la placa neuromuscular, son ejemplos: BNM despolarizantes- succinilcolina; BNM no despolarizantes:

1. Aminoesteroideos: pancuronio, vecuronio, pipecuronio, rocuronio.
2. Benzilisoquinolonas: tubocurarina, metocurarina, mivacurio, doxacurio, atracurio, cisatracurio, etc.

Complicación pleuro-pulmonar sobreagregada: enfermedad pleuro-pulmonar que se presenta mientras el paciente se encuentra en asistencia mecánica ventilatoria sin ser la causa primaria de disfunción ventilatoria., por ejemplo: neumonía, neumotórax, derrame pleural, etc.

Causas de fracaso de la extubación: conjunto de condiciones que determinan la necesidad de restablecimiento de la VMI, la instauración de ventilación mecánica no invasiva o muerte dentro de las primeras 48h posteriores a la progresión ventilatoria.

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES:

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	ESCALA	UNIDAD DE MEDICION	DEFINICIÓN OPERACIONAL	PRUEBA ESTADÍSTICA
Éxito en la extubación	Cualitativa	Dicotómica	Éxito Fracaso	Intercambio gaseoso efectivo en respiración espontánea por >48h sin soporte ventilatorio con presión positiva.	Frecuencias, porcentajes, sensibilidad, especificidad, VPP, VPN, curva roc
Excursión diafragmática	Cuantitativa	Continua	Centímetros	Amplitud del rango de movimiento del hemidiafragma derecho en un ciclo respiratorio.	Media/DS o mediana y rangos, <i>t</i> de student/U de mann Whitney/ Frecuencias, porcentajes, sensibilidad, especificidad, VPP, VPN, curva roc
Fracción de acortamiento diafragmático	Cuantitativa	Continua	Porcentaje	índice que compara el espesor de acortamiento diafragmático al momento de la espiración y la inspiración expresado como: (TI-TE/TE x100) Donde: TI: Espesor diafragmático al final de la inspiración TE: Espesor diafragmático al final de la espiración	Media/DS o mediana y rangos, <i>t</i> de student/U de mann Whitney/ Frecuencias, porcentajes, sensibilidad, especificidad, VPP, VPN, curva roc
Espesor de acortamiento diafragmático	Cuantitativa	Continua	Milímetros	Distancia vertical desde el punto central de la línea pleural hasta el punto central de la línea peritoneal en la zona de aposición diafragmática al final de la inspiración (TI) y espiración (TE)	Media/DS o mediana y rangos, <i>t</i> de student/U de mann Whitney/ Frecuencias, porcentajes, sensibilidad, especificidad, VPP, VPN, curva roc
Edad	Cuantitativa	Discreta	Meses	Tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta el momento de realización del ultrasonido.	Media/DS o mediana y rangos, <i>t</i> de student/U de mann whitney
Sexo	Cualitativa	Dicotómica	Femenino/ Masculino	Fenotipo descrito en el expediente de acuerdo al aspecto genital del paciente	Frecuencias, porcentajes, chi ² /exacta fisher

Peso	Cuantitativa	Continua	Kilogramos	Último peso registrado en el expediente que corresponda al ingreso actual del paciente	Media/DS o mediana y rangos, <i>t</i> de student/U de mann whitney
Talla	Cuantitativa	Continua	Metros	Última talla registrada en el expediente que corresponda al ingreso actual del paciente	Media/DS o mediana y rangos, <i>t</i> de student/U de mann whitney
IMC	Cuantitativa	Continua	Kg/m2	Peso en kilogramos dividido entre la estatura en metros al cuadrado.	Media/DS o mediana y rangos, <i>t</i> de student/U de mann whitney
Estado nutricional	Cualitativa	Ordinal	Malnutrido Eutrófico	Condición del balance energético del individuo de acuerdo a la clasificación de Waterlow para peso y talla para <3 años y de acuerdo a IMC para >3 años. *Malnutrición: obesidad o desnutrición *Eutrófico	Frecuencias, porcentajes, chi ² /exacta fisher
Motivo de intubación	Cualitativa	Nominal	Neurológica Pulmonar Cardiológica Quirúrgica Infecciosa	Diagnostico principal que condujo a falla ventilatoria ameritando asegurar la vía aérea e iniciar la asistencia mecánica ventilatoria.	Frecuencias, porcentajes, chi ² /exacta fisher
Tiempo de ventilación mecánica	Cuantitativa	Discreta	Días	Tiempo transcurrido desde que se inició la ventilación mecánica hasta el momento de extubación.	Media/DS o mediana y rangos, <i>t</i> de student/U de mann whitney
Uso de bloqueadores neuro-musculares	Cuantitativa	Discreta	Días	Tiempo total registrado en el cual se administraron medicamentos clasificados como bloqueadores neuromusculares en bolo o infusión.	Media/DS o mediana y rangos, <i>t</i> de student/U de mann whitney
Complicación pleuro-pulmonar sobreagregada	Cualitativa	Nominal	Neumonía Neumotórax Derrame pleural Atelectasias Otro Ninguna	Enfermedad pleuro-pulmonar reportada en expediente que no haya sido la causa primaria de disfunción ventilatoria.	Frecuencias, porcentajes chi ² /exacta fisher
Causas de fracaso de la extubación	Cualitativa	Nominal	Sobrecarga ventilatoria Disfunción neuromuscular	Principal condición que condujo al reinicio de la VMI: *Sobrecarga ventilatoria: datos de sepsis, inestabilidad hemodinámica, dismetabolias, desequilibrio hidroelectrolítico, anemia. *Disfunción neuromuscular: -Central: depresión neurológica secundaria a sx supresión, encefalopatía, complicaciones neuroquirúrgicas, dismetabolias (hipoglucemia) -Periférica, esfuerzo respiratorio insuficiente de origen mecánico	Frecuencias, porcentajes chi ² /exacta fisher

			Obstrucción de la vía aérea	<p>por neuropatía o miopatía secundaria</p> <p>*Obstrucción de la vía aérea, comprende: edema laríngeo, laringoespasma, colapso de la vía aérea por efectos residuales de la sedación o relajante muscular, alteración en la deglución y mal manejo de secreciones</p>	
--	--	--	-----------------------------	--	--

Desarrollo del estudio y procedimientos

Previa autorización del comité de ética e investigación con folio R-2022-1302-050 se seleccionaron pacientes que se encontraban con ventilación mecánica invasiva de acuerdo al censo de hospitalización de la Unidad de terapia intensiva pediátrica de la UMAE Hospital de Pediatría CMNO IMSS, que fueron candidatos a extubación electiva en sus próximas 24 horas. Previa autorización y firma de consentimiento informado por parte de los padres o tutor de los pacientes, se llevó a cabo una revisión de expedientes físicos y/o electrónicos para verificar que contaban con los criterios de inclusión; se realizó el ultrasonido diafragmático por el médico de base que cuenta con adiestramiento en ultrasonido en el paciente crítico en la unidad de cuidados intensivos pediátricos previo a la extubación, y se procedió al llenado de la hoja recolectora de datos asignando un número secuencial para identificación de cada paciente. En el sistema SPSS versión 22, se creó una base de datos para su análisis estadístico y reporte de resultados en un manuscrito final con su respectiva discusión y conclusión.

Análisis estadístico

Inicialmente se realizó estadística descriptiva: Para las variables cualitativas se utilizó frecuencia y porcentajes, para las variables numéricas mediana y rangos de acuerdo con las características de la distribución de las variables numéricas para lo cual se utilizó prueba shapiro wilk.

Para comparar las variables numéricas entre los que tuvieron éxito o fracaso a la extubación se utilizó prueba U de mann whitney (según correspondió a la distribución de los datos e igualdad de varianzas como prerequisite o supuesto para elegir una prueba no paramétrica), y en el caso de las variables cualitativas prueba de χ^2 o exacta de Fisher según correspondió el porcentaje de esperados en la tabla 2x2.

En base a los reportes numéricos de la ED y la FAD se calculó la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo para las variables ultrasonográficas respecto al éxito o fracaso de la extubación. Para esto se realizó un análisis en una curva roc; para calcular al área bajo la curva y después buscar

un nivel corte para cada una de las dos variables con la mejor sensibilidad y especificidad, para lo cual utilizamos el índice de youden. Finalmente, a través del nanograma de fagar, se analizó la razón de verosimilitud positiva y negativa para los puntos de corte que elegimos respecto al éxito de la extubación.

Se utilizó un valor de significancia estadística ≤ 0.05 . Utilizamos el programa estadístico SPSS® versión 26 para crear una base de datos y su posterior análisis, así como el programa en línea: www.araw.mere.

ASPECTOS ETICOS

El estudio fue sometido a evaluación por el Comité de Ética en Investigación y el Comité Local de Investigación en Salud 1302 del Hospital de Pediatría de la Unidad Médica de Alta Especialidad del Centro Médico Nacional de Occidente de Guadalajara, Jalisco. Siendo aceptado con folio R-2022-1302-050.

El protocolo se apegó al Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, en su última reforma publicada en 2014, Título Segundo, De los Aspectos Éticos de la Investigación en Seres humanos, Capítulo I, Disposiciones Comunes, artículos: 13,14, 16, 17, 20, 21, 22. Capítulo III De la Investigación en Menores de Edad o Incapaces, artículos: 35 y 36. Y Título Sexto, De la Ejecución de la Investigación en las Instituciones de atención a la salud, Capítulo único, artículos: 113, 114, 115, 116, 117, 119 y 120. Así como en las Pautas Éticas Internacionales para la investigación relacionada con la salud con seres humanos elaboradas por el CIOMS, pautas: 1, 9, 10 y 17.

El estudio fue clasificado como de riesgo mínimo ya que la intervención consistió en la realización de un ultrasonido diafragmático el cual es un estudio no invasivo, libre de radiación ionizante, que no interfiere con el tratamiento del paciente y que se realizó al pie de cama, disminuyendo los riesgos de movilizar a un paciente en VMI. A pesar de lo anterior, al tenerse que realizar una intervención, se requirió de un consentimiento informado.

Previa autorización de ambos comités, se inició la selección de pacientes que contaban con los criterios de inclusión y posteriormente se entregó el consentimiento informado por escrito al padre o tutor a quien se le explicó de manera detallada en qué consistía el estudio, sus riesgos y beneficios hasta resolver toda duda que pudieran tener al respecto.

En todo momento del estudio se respetó y resguardó la identidad de los pacientes, ya que no se identificaron mediante su nombre o número de afiliación, sino que se les asignó un número consecutivo de folio conforme se incluyeron en el estudio, la información de la relación de dicho número con sus datos generales se anotó en

una base datos a la cual únicamente tuvo acceso el investigador principal; lo anterior en caso de que alguno de los resultados del estudio estuviera alterado y comprometiera la salud del paciente y por lo tanto requiriera de ser contactado para recibir atención y tratamiento. La información generada de dicho estudio fue documentada y resguardada en un armario bajo llave al que solo tiene acceso el investigador principal y el director de tesis. Se elaborarán los informes preliminares necesarios que el Comité Local de Ética en Investigación cuando así lo solicite para su verificación, toda la información se conservará por 2 años.

Los procedimientos realizados en esta investigación se llevaron a cabo con estricto apego al Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud en su última reforma publicada DOF 02-04-2104 Título II, Capítulo I, en los siguientes artículos:

ARTÍCULO 13.- Prevalció el criterio del respeto a la dignidad y la protección de los derechos y bienestar del paciente; pues el estudio que se realizó (ultrasonido) fue mínimamente invasivo, libre de radiación, no interfirió con el tratamiento y se realizó a pie de cama. Así mismo se protegió la identidad del paciente al asignársele un número de folio para su identificación.

ARTÍCULO 14.- El estudio se adaptó a los principios científicos y éticos que justifican la investigación médica, contribuyendo a la obtención de índices predictores de extubación exitosa en pacientes pediátricos con la finalidad de disminuir la mortalidad relacionada al proceso de extubación.

Como antecedente, el estudio actual se fundamentó en la aplicación de índices ultrasonográficos para la extubación en adultos y, si bien su valor se ha explorado en niños, aún no se han obtenido valores estandarizados que permitan normar su aplicación en pediatría; motivo por el cual se realizó éste estudio.

Con tal objetivo se realizó el ultrasonido diafragmático como método de elección para valorar la atrofia diafragmática por su mayor disponibilidad y menor invasividad.

Lo anterior clasificó nuestro estudio como de riesgo mínimo por lo cual, previa información del procedimiento, así como de sus riesgos y beneficios, se solicitó al padre o tutor del paciente la autorización mediante consentimiento informado por escrito, difiriéndose el asentimiento por parte del paciente dado que este se encontraba intubado al momento del procedimiento.

El presente estudio fue realizado por profesionales de la salud con conocimiento y experiencia en el área: el investigador principal es Subespecialista en Neumología Pediátrica y Maestro en Ciencias, el Investigador asociado es subespecialista en Medicina del Enfermo Pediátrico en Estado Crítico y cuenta con adiestramiento para la realización de ultrasonido en el paciente crítico y finalmente la tesista cuenta con especialidad en Pediatría.

Después de contar con el dictamen favorable del Comité de investigación y Ética en Investigación con folio de registro institucional R-2022-1302-050 y al contar con la autorización titular de la institución, se prosiguió con la logística de la investigación.

ARTÍCULO 16.- Se protegió la privacidad del individuo omitiendo nombres completos y número de afiliación, siendo identificados por número de folio el cual se asignó de manera seriada, resguardándose los resultados en equipo de cómputo de uso personal por el investigador principal, director de tesis y asesor metodológico por un tiempo de 2 años, tras el cual la base de datos será eliminada tanto del equipo de cómputo como del material físico.

ARTÍCULO 17.- Nuestro estudio fue una investigación de riesgo mínimo, ya que consistió en la realización de un ultrasonido diafragmático el cual es un estudio no invasivo, libre de radiación ionizante, que no interfirió con el tratamiento del paciente y que se realizó al pie de cama, disminuyendo los riesgos de movilizar a un paciente en VMI. Dado que la realización del ultrasonido diafragmático amerita la desconexión de la VMI del paciente por 1 minuto, durante el procedimiento se mantuvo monitorización continua de signos vitales incluyendo oximetría vigilando en todo momento que no se presentara desaturación, en caso de presentarse se suspendería inmediatamente el procedimiento priorizando siempre la seguridad del paciente.

ARTÍCULO 20, 21 y 22. Se empleó consentimiento informado por escrito, y este se firmó por el padre o tutor del sujeto de investigación, se difirió el asentimiento de éste último dado que se encontraba intubado. La decisión de acceder a participar en la investigación fue con capacidad de libre elección y sin coacción alguna; con previa explicación de la justificación y objetivos de la investigación, los procedimientos a realizarse, los beneficios que podían observarse y por supuesto el compromiso de brindar información actualizada durante el estudio, así como la disponibilidad de acceso a tratamiento médico en caso necesario.

ARTÍCULO 35. Para la realización de este estudio en menores de edad se tuvo como antecedente el uso de índices ultrasonográficos en adultos para predicción de la extubación.

ARTÍCULO 36. Para la realización de cualquier investigación en menores de edad es necesario obtener la autorización del tutor, la cual se obtuvo mediante consentimiento informado por escrito de acuerdo a los lineamientos de los artículos 20, 21 y 22.

En tanto al Título Sexto, De la Ejecución de la Investigación en las Instituciones de atención a la salud, Capítulo único, artículos:

ARTÍCULO 113.- Este estudio fue dirigido por el investigador principal quién es Médico Adscrito al área de Neumología Pediátrica que además cuenta con la formación de M. en C. de la investigación y que junto al investigador asociado y la

tesista se encuentran adscritos al Instituto Mexicano del Seguro Social, institución de atención a la salud donde se llevó a cabo el estudio.

ARTÍCULO 114.- El investigador principal, así como el investigador asociado y la tesista declaramos que contamos con el título profesional y el certificado de especialización de acuerdo al grado de estudios.

ARTÍCULO 115.- El desarrollo de esta investigación fue efectuada en conformidad a lo establecido en la actual tesis la cual se desarrolló en apego al actual Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud.

ARTÍCULO 116.- El investigador principal se encargó de la dirección técnica del estudio.

ARTÍCULO 117.- El investigador principal seleccionó al investigador asociado quién cuenta con el adiestramiento en la realización del ultrasonido en el paciente crítico y a la tesista quién cuenta con experiencia para la recolección de información para la realización del estudio.

ARTÍCULO 119.- Se presentó al Comité de Investigación de la Institución de atención a la salud declarando las disposiciones jurídicas aplicables aquí presentes.

ARTÍCULO 120.- El investigador principal puede publicar informes parciales y finales de los estudios y difundir sus hallazgos por otros medios, cuidando que se respete la confidencialidad a la que tienen derecho los sujetos de investigación, además de dar el debido crédito a los investigadores asociados y al personal técnico que participó en la investigación, entregando una copia de éstas publicaciones a la Dirección de la Institución.

Así mismo este estudio se apegó a las Pautas Éticas Internacionales para la Investigación Relacionada con la Salud con Seres Humanos, elaboradas por el Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS) en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (OMS) de acuerdo a las siguientes pautas:

Pauta 1. El presente estudio contó con valor social y científico ya que tuvo por objetivo contribuir a la estandarización del valor de los índices diafragmáticos como predictores de la extubación exitosa en pacientes pediátricos bajo ventilación mecánica a fin de disminuir las complicaciones y la tasa de mortalidad relacionada a la extubación. Todo lo anterior bajo el sustento científico de los factores que han sido identificados en la literatura médica como causas de falla a extubación entre los que se encuentran la disfunción de la mecánica ventilatoria secundaria a la atrofia y debilidad diafragmática que se presenta en el paciente crítico como resultado de la ventilación mecánica, la desnutrición, el uso de medicamentos, etc. Tales índices ya son empleados en el proceso de extubación en pacientes adultos; encontrándose aún en estudio en pacientes pediátricos. Así mismo, el estudio es mínimamente invasivo, sin interferir en el curso de la enfermedad o tratamiento del

paciente, por lo cual se considera beneficioso y de bajo riesgo preservando como prioridad la dignidad y el respeto de los derechos del paciente.

Pauta 9 y 17. Tratándose de la competencia de nuestra área, el estudio incluyó niños y adolescentes por lo que, al igual que lo estipulado en los artículos 20, 21 y 22 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, se empleó consentimiento informado por escrito y que fue firmado por el padre o tutor del sujeto de investigación, una vez informado del procedimiento, riesgos y beneficios

RECURSOS FINANCIAMIENTO Y FACTIBILIDAD

Humanos

Investigador principal: Maestro en Ciencias Médicas Roberto Hernández Raygoza. Médico Pediatra con subespecialidad en Neumología pediátrica y Maestría en Ciencias. Quién realizó el análisis estadístico al completarse la recolección de datos.

Investigador asociado: Dr. Oscar Armando González Hernández. Médico Pediatra con subespecialidad en Medicina del Enfermo Pediátrico en Estado Crítico con adiestramiento en la realización de ultrasonido pulmonar y diafragmático que fue quién realizó las mediciones de los índices diafragmáticos.

Tesista: Dra. Laura Graciela Mejía Navarro. Residente de neumología pediátrica, Especialista en pediatría. Quién revisó los censos para la selección de pacientes, además de los expedientes y realizó la recolección de datos.

Materiales

- ♣ Ultrasonido MyLab™Eight marca “esaote”
- ♣ 2 transductores marca “esaote” tipo:
 - Sonda de matriz convexa C 1-8 Single Crystal
 - Sonda de matriz lineal lineal L 4-15
- ♣ Hoja de recolección de datos, expedientes clínicos y electrónicos.
- ♣ Hojas, plumas, gel.

Financiamiento

No se requirió de financiamiento externo, dado que la unidad de cuidados intensivos pediátricos cuenta con un USG y transductores para su realización. El investigador principal contó con el programa estadístico SPSS® versión 26. Los gastos de copias, plumas/lápices corrieron a cuenta del tesista.

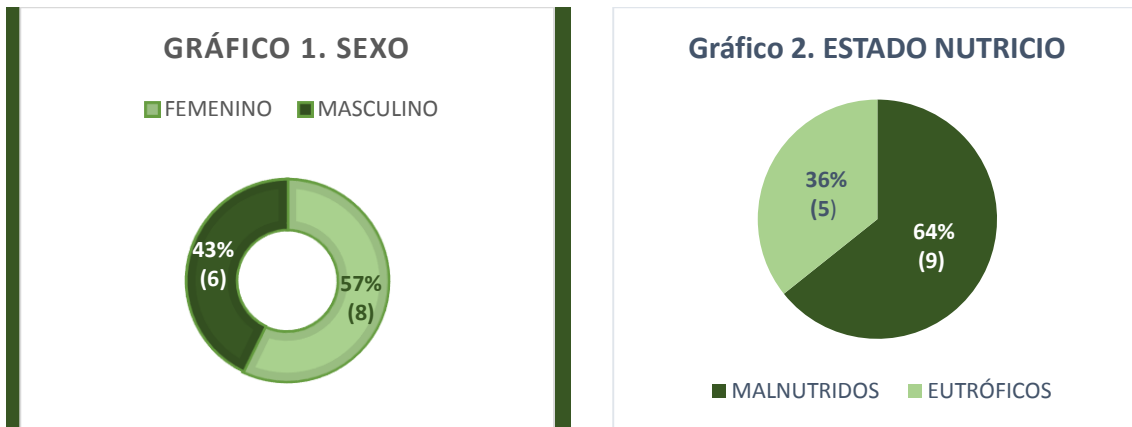
Infraestructura

La UMAE Hospital de Pediatría, cuenta con un servicio de terapia intensiva pediátrica con disponibilidad de un ultrasonograma y transductores pertenecientes al servicio para su utilización cuando así se requieren.

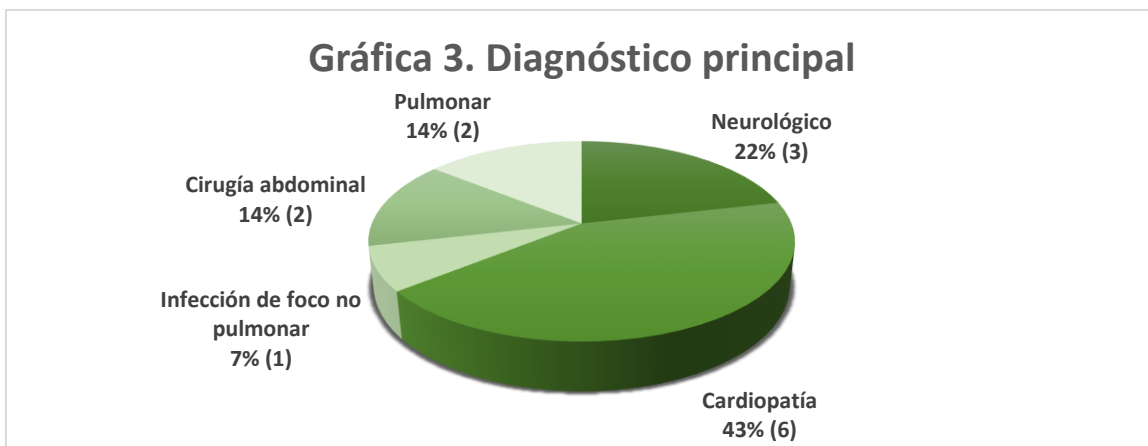
RESULTADOS

Para el presente estudio se incluyeron catorce pacientes hospitalizados en la Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos de la UMAE Hospital de Pediatría del Centro Médico de Occidente considerados candidatos a extubación electiva en las siguientes 24 horas y que cumplían con los criterios de inclusión para nuestro estudio.

Respecto a las características generales; de los catorce pacientes incluidos el 57% (8) correspondían al sexo femenino y 43% (6) al sexo masculino (Gráfico 1). La mediana de edad fue de 18 meses con un rango entre los 1 a 108 meses. El peso presentó una mediana de 9 kg con rango entre los 4 a 55 kilogramos y una mediana de talla de 0.73 metros con rango de 0.47 a 1.55 metros. En cuanto al estado nutricional, el 64% (9) de los pacientes tenían alguna condición de malnutrición y sólo el 36% (5) se encontraban eutróficos (Gráfico 2).



En cuanto al motivo de ventilación mecánica invasiva, el principal diagnóstico fue la patología cardíaca con 43% (6) de los pacientes, seguida de enfermedad neurológica con 21% (3), enfermedad pulmonar con 14% (2) y cirugía abdominal que representaba el 14% (2) de los pacientes; finalmente la enfermedad infecciosa de foco no pulmonar representó el 7% (1) del total de pacientes estudiados. Gráfico 3.



Ninguno de los pacientes estudiados presentó complicaciones pulmonares asociadas a la ventilación mecánica invasiva y el rango de días bajo la misma tuvo una mediana de 4 días con un rango que osciló entre 1 y 38 días. La necesidad de uso de bloqueadores neuromusculares presentó una mediana de 0 días con un rango de 0 a 3 días. Finalmente, en cuanto al éxito o tolerancia a la extubación, del 100% de pacientes estudiados el 86% tuvo éxito y el 14% fracasó (Gráfica 4), siendo la causa de fracaso en el 50% de los casos por condición hemodinámica y neurológica respectivamente. El reporte de los resultados se resume en la tabla 1.

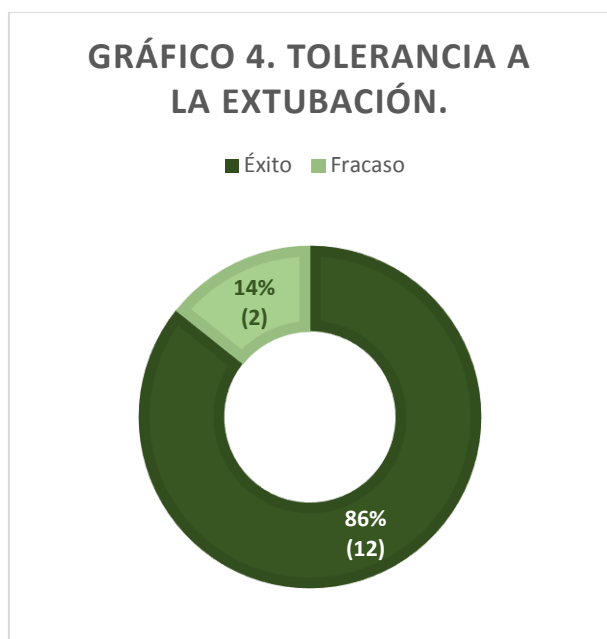


Tabla 1. Características generales de la población

		Total 14
Edad (meses)		18 (1-180)
Sexo	Femenino	8 (57%)
	Masculino	6 (43%)
Peso (kg)		9 (4-55)
Talla(m)		0.73 (0.47-1.55)
Estado nutricional	Malnutrido	9 (64%)
	Eutrófico	5 (36%)
Diagnóstico principal	Neurológico	3 (21%)
	Cardiológico	6 (43%)
	Quirúrgico	2 (14%)
	Pulmonar	2 (14%)
	Infeccioso	1 (7%)
Asistencia mecánica (días)		4 (1-38)
Bloqueo Neuro-Muscular (días)		0 (0-3)
Tolerancia a la extubación	Éxito	12 (86%)
	Fracaso	2 (14%)
Causa del fracaso	Hemodinámico	1 (50%)
	Neurológico	1 (50%)
Complicaciones pulmonares		0

Respecto a los parámetros ultrasonográficos; del hemidiafragma derecho se encontró un valor de excursión con mediana de 17mm y un rango que iba de 4 a 35mm; con un engrosamiento inspiratorio con mediana de 1.3 con rango de 0.8 a 2.4 mm y un engrosamiento espiratorio con mediana de 1 y rango de 0.55 a 1.8mm; resultando en una fracción de acortamiento con una mediana de 40% y un rango de 8.3 a 88.4%.

Mientras que para el hemidiafragma izquierdo se encontró un valor de excursión con mediana de 16mm y rango de 9 a 25mm; un engrosamiento inspiratorio con mediana de 1.4 y variación de 0.74 a 1.8 mm, un engrosamiento espiratorio con mediana de 1.1mm y rango de 0.37 a 1.3mm resultando en una fracción de acortamiento con mediana de 50% y rango de 7.6 a 100%.

Posteriormente se dividió la muestra en dos grupos de acuerdo a la tolerancia a la extubación (éxito o fracaso) para analizar las diferencias de las características antropométricas, las condiciones en relación a la ventilación mecánica invasiva y los hallazgos en el ultrasonido diafragmático entre ambos grupos, encontrando lo siguiente:

En cuanto a los pacientes que presentaron éxito a la extubación; el rango de edad tuvo una mediana de 24 meses y un rango de 1 a 108 meses; el peso presentó una mediana de 10kg y una variación entre los 5 a 55kg; la talla reportó una mediana de 0.8m con rango entre 0.47 a 1.55 metros; encontrando un estado de malnutrición en el 57% (8) de los pacientes y un 28% (4) eutrófico.

Mientras que en los pacientes que presentaron fracaso a la extubación se encontró una mediana de edad de 3 meses (3-3), peso de 4.6 kg (4-6) y talla de 0.55m (0.52-0.58), la mitad de este grupo de pacientes correspondió al sexo femenino y el otro 50% al sexo masculino. Finalmente, el 100% de los pacientes de este grupo se clasificó como eutrófico.

Respecto a las características generales de la población de estudio no se encontraron diferencias entre el grupo que tuvo éxito a la extubación y el grupo que presentó fracaso. Tabla 2.

Tabla 2. Características generales de acuerdo a al éxito o fracaso a la extubación.

		Éxitos 12 (85%)	Fracaso 2 (15%)	Valor <i>p</i>
Edad (meses)		24 (1-180)	3 (3-3)	0.76*
Peso (kilos)		10 (5-55)	4.6 (4-6)	0.76*
Talla (metros)		0.8 (0.47-1.55)	0.55 (0.52-0.58)	0.11*
Estado nutricional	Malnutrido	8(57%)	0	0.14 ^{&}
	Eutrófico	4 (28%)	2 (14%)	
Diagnóstico principal	Neurológico	2 (14%)	1 (7%)	0.86 [#]
	Cardiológico	5 (36%)	1 (7%)	
	Quirúrgico	2 (14%)	0	
	Pulmonar	2 (14%)	0	
	Infeccioso	1 (7%)	0	
Asistencia mecánica (días)		4 (1-38)	3 (2-5)	0.80*
Bloqueo Neuro-Muscular (días)		0 (0-3)	1 (0-2)	0.57*

*U de mann Whitney, [#]prueba de chi cuadrada, &Prueba exacta de fisher

De acuerdo al diagnóstico principal de los pacientes, no se encontró significancia estadística en relación al éxito o fracaso en la extubación, con un valor de *p* de 0.86; correspondiendo al grupo con fracaso a la extubación un paciente con diagnóstico principal de enfermedad neurológica (7%) y uno con cardiopatía (7%).

En cuanto a los días de ventilación mecánica y el uso de bloqueadores neuromusculares tampoco presentaron significancia estadística, con un valor de *p* de 0.8 y 0.57 respectivamente. Encontrándose para los pacientes con éxito a la extubación una mediana de 4 días en ventilación invasiva y un rango de 1 a 38 días mientras que en el grupo de fracaso se reportó una mediana de 3 días con rango de 2 a 5 días. Mientras que para el uso de BNM los pacientes con éxito tuvieron una mediana de 0 días con rango de 0 a 3 y aquellos con fracaso una mediana de 1 día con rango de 0 a 2 días.

En relación a los resultados obtenidos de los índices diafragmáticos para cada grupo se encontró que; para el hemidiafragma derecho el grupo con éxito a la extubación presentó una excursión con mediana de 17mm y una variación de 10 a 35mm; con una fracción de acortamiento con mediana del 40% (8.3% a 88.4%). Mientras que el grupo con fracaso presentó un engrosamiento de hemidiafragma derecho con mediana de 7.5mm y rango de 4 a 11mm; con una fracción de acortamiento con mediana de 14.51% y rango de 0 a 29%. Encontrando una diferencia estadísticamente significativa (p de 0.038) para la excursión del diafragma derecho en los pacientes con éxito a la extubación.

Mientras que para el hemidiafragma izquierdo se obtuvo una mediana de 16mm con rango de 9 a 25mm y una FAD de 50% con rango de 7.6 a 100% para el grupo con extubación exitosa. En tanto que para el grupo con fracaso se obtuvo un engrosamiento diafragmático con mediana de 11.5 y rango de 9 a 14mm; con una FAD con mediana de 18.63% y rango de 10 a 27.7%. No se encontró una significancia estadística para ambos índices, obteniéndose un valor de p de 0.22 y 0.3 respectivamente. (Tabla 3)

Tabla 3. Valores diafragmáticos obtenidos en relación a la tolerancia a la extubación.

Tolerancia a la extubación		Éxito 12 (86%)		Fracaso 2 (14%)		Valor de p
Diafragma derecho	Excursión (mm)	17	(10-35)	7.5	(4-11)	0.038*
	Engrosamiento inspiratorio	1.3	(0.8-2.4)	1.3	(0.8-1.8)	0.80*
	Engrosamiento espiratorio	1.0	(0.55-1.6)	1.21	(0.62-1.80)	1.0*
	Fracción de acortamiento (%)	40	(8.30-88.4)	14.51	(0-29)	0.17*
Diafragma izquierdo	Excursión (mm)	16	(9-25)	11.5	(9-14)	0.22*
	Engrosamiento inspiratorio	1.4	(0.74-1.80)	1.0	(0.77-1.40)	0.68*
	Engrosamiento espiratorio	1.1	(0.37-1.3)	0.9	(0.70-1.1)	0.93*
	Fracción de acortamiento (%)	50	(7.6-100)	18.63	(10-27.27)	0.30*

*U de mann whitney

Finalmente, dado que la excursión del hemidiafragma derecho fue el único valor con significancia estadística como criterio de éxito a la extubación de los índices diafragmáticos obtenidos, se analizó su sensibilidad y especificidad tomando como punto de corte el valor de 12mm, como se ha descrito en la literatura. Encontrando que, de los 12 pacientes que presentaron éxito a la extubación, 10 presentaron una excursión del hemidiafragma derecho mayor de 12mm y 2 un valor inferior, mientras que el 100% de los pacientes con fracaso a la extubación presentaron un valor inferior lo que se traduce en una sensibilidad del 83% y una especificidad del 100%

para predecir el éxito a la extubación, con un valor predictivo positivo de 100% y un valor predictivo negativo de 50%. (Tab 4).

Tabla 4. Rendimiento de la excursión del diafragma derecho para predecir el éxito a la extubación con punto de corte de 12mm.

	Éxito	Fracaso	Total
Excursión diafragma >12	10	0	10
Excursión diafragma <12	2	2	4
Total	12	2	14
Sensibilidad	83%		
Especificidad	100%		
VPP	100%		
VPN	50%		

En efecto, se realizó un análisis en curva Roc para determinar el área bajo la curva con los datos de excursión diafragmática y el éxito/fracaso a la extubación. Entonces, utilizando las coordenadas obtenidas de la curva de Roc, basados en la variable excursión diafragmática, empleamos el índice de Youden: (sensibilidad) – (1- especificidad) para determinar el punto de corte de la excursión diafragmática derecha que nos diera la mayor sensibilidad y especificidad para determinar el éxito a la extubación (Figura 1 y 2). Encontrando que con un nivel de corte de 11.5mm de excursión del diafragma derecho se obtenía una sensibilidad de 91% y 100% de especificidad para predecir el éxito a la extubación. (Tabla 5).

Figura 1 y 2. Valor de la excursión del diafragma derecho para determinar éxito/fracaso a la extubación.

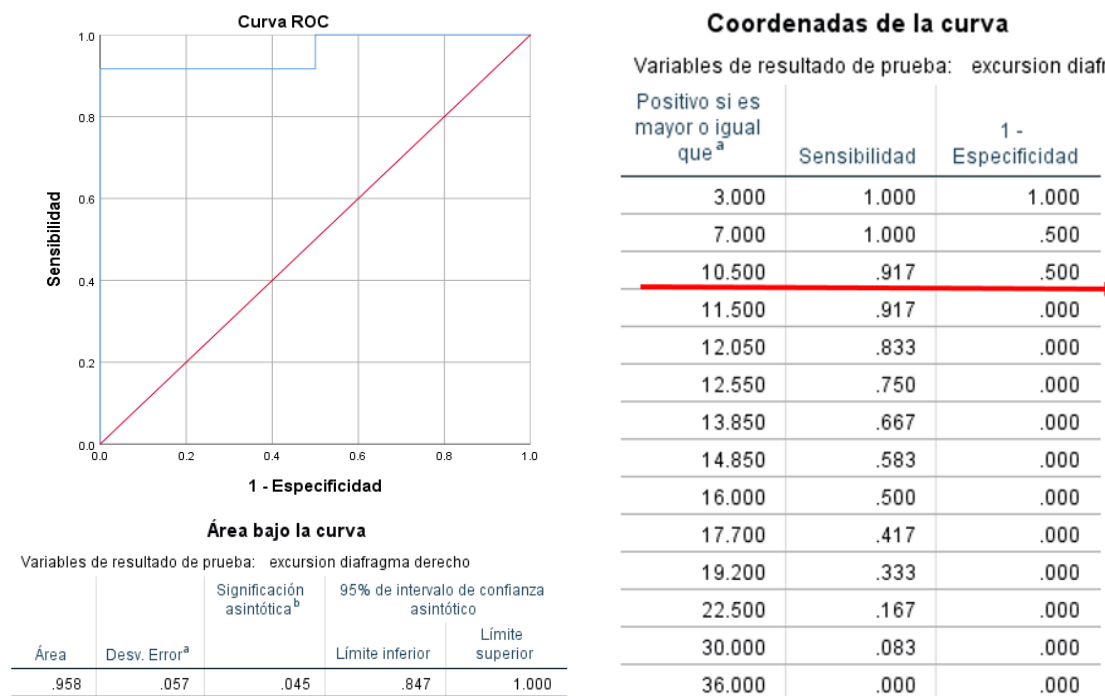


Tabla 5. Rendimiento de la excursión del diafragma derecho para predecir el éxito a la extubación con punto de corte de 11.5mm.

	Éxito	Fracaso	Total
Excursión diafragma > 11.5	11	0	11
Excursión diafragma < 11.5	1	2	3
Total	12	2	14
Sensibilidad	91%		
Especificidad	100%		
VPP	100%		
VPN	66%		

DISCUSIÓN

La implementación de los índices diafragmáticos medidos por ultrasonido como parte de la prueba de ventilación espontánea tiene por objetivo el predecir el éxito de la extubación en relación a la debilidad muscular, sin embargo, su valor aún no se ha determinado en los pacientes pediátricos.

Estudios en adultos, han determinado que el valor de referencia de la excursión diafragmática varía con el sexo, la altura y la edad determinando como valores de referencia para Hombres de $18-47 \pm 3$ mm y Mujeres de $16-37 \pm 3$ mm. Por su parte, estudios en niños sanos menores de 16 años en población asiática señalan valores que van desde 3 hasta 19 mm para el diafragma derecho y 3.5-17.1mm para el diafragma izquierdo, sin existir diferencias en relación al sexo e incrementando el valor acorde a la edad. Mientras que en nuestra población, que abarco pacientes de entre los 1-180 meses (15 años) de edad se encontraron valores de excursión de 4-35mm para el diafragma derecho y 9-25mm para el diafragma izquierdo, que si bien nuestra población correspondió a pacientes con cierto grado de atrofia muscular secundario al estado poscrítico llama la atención 2 condiciones:

1. Por un lado, que aun cuando el rango de valores obtenidos es inferior al establecido como referencia para los adultos, es superior comparado con el de los niños sanos de origen asiático.
2. Que al igual que los valores referidos en el estudio de El-Halaby et al. la excursión del diafragma izquierdo es inferior a la excursión del diafragma derecho.

De lo anterior se deduce que el valor de referencia de los índices diafragmáticos está influido x la edad, probablemente por la etnia y las características antropométricas y por otro lado, que el valor de la excursión del diafragma izquierdo sea inferior a la del derecho puede estar influido por la técnica, ya que como se señala en la literatura, existe una mayor dificultad para medir el diafragma izquierdo por interposición del pulmón izquierdo y el uso del bazo como ventana acústica de referencia.

En cuanto al engrosamiento diafragmático, los valores normales en adultos van de 1.8 a 3mm mientras que en nuestro estudio se observaron valores para el diafragma derecho de 0.55-2.4mm (TI 0.8-2.4 TE0.55-1.8) y para el izquierdo 0.37-1.8mm (TI 0.74-1.8 TE0.37-1.3) concluyendo que, al igual que para la excursión diafragmática, los valores obtenidos en niños son inferiores a los valores establecidos para pacientes adultos.

En cuanto a la utilidad de los índices diafragmáticos para predecir el éxito de la extubación, múltiples estudios señalan que tanto la excursión diafragmática (ED) como la fracción de acortamiento diafragmático (FAD) son indicadores útiles; siendo la FAD el parámetro con mayor sensibilidad para predecir disfunción diafragmática y por ende mayor riesgo de fracaso. Esto difiere de nuestro estudio donde se encontró que sólo la excursión del diafragma derecho tenía un valor estadísticamente significativo para predecir el éxito a la extubación ($p= 0.038$).

En lo que respecta al valor de corte para la excursión diafragmática se ha establecido que un valor de $>12\text{mm}$ tiene una SE de 69.5- 88.4% y una ESP de 71.4-87.5% como indicador de extubación exitosa. Mientras que, otros señalan como punto de corte una excursión $>6.2\text{mm}$ con SE y ESP de 87.5% y 66.7% respectivamente. Tomando como base el valor de 12mm, nuestro estudio observo una sensibilidad del 83% y una especificidad del 100% para predecir el éxito a la extubación, con un valor predictivo positivo de 100% y un valor predictivo negativo de 50%. (Tabla 4).

Sin embargo, con base a nuestros resultados, tomando un valor de corte para la excursión del diafragma derecho de 11.5mm se observó que la prueba incrementaba su rendimiento para predecir el éxito a la extubación con una sensibilidad de 91% y 100% de especificidad (Tabla 5). Valor que concuerda con el estudio de Jiang y cols. quienes con un valor de corte para la ED de 11mm observaron una mayor sensibilidad y especificidad de la prueba con un valor del 88.4% y 82.6% respectivamente.

Por otro lado, los estudios también señalan que se ha observado que tanto la ED como la FAD tienen un valor más alto en los pacientes que han sido destetados con éxito; lo cual es concordante con nuestro estudio ya que, si bien, la FAD no obtuvo un valor estadísticamente significativo (Diafragma derecho $p= 0.17$ izquierdo $p = 0.30$), su valor fue superior comparado con la FAD de los pacientes que presentaron fracaso a la extubación; lo mismo que se observa en relación a la excursión de ambos diafragmas (Tabla 3).

Todo lo anterior sustenta el argumento de que los pacientes con mayor grado de disfunción diafragmática tienen mayor riesgo de fracaso a la extubación. Definiéndose disfunción diafragmática como la pérdida de la capacidad para generar una contracción adecuada secundaria a debilidad y atrofia que se asocia a la VMI lo cual se determina por una disminución de la fracción de acortamiento y/o de la excursión a volumen tidal, con una SE93% y ESP 100%.

En cuanto al valor de referencia, estudios en adultos (Di Nino et al, de Baess et al. y de Ferrari et al.) señalan el éxito a la extubación con una FAD >30% con una SE de 70-82% y ESP de 88%, mientras otros reportan como valor de corte una FAD \geq 20% con una SE de 82-100% y ESP de 76.2-81% (Dalia, et al., Umbrello et al. y Xue et al.). Reportando que valores <20% se asocian a un fracaso en la progresión ventilatoria con un VPP 94% y VPN 56%.

Si bien, como ya se señaló, en nuestro estudio no se encontró una significancia estadística para la FAD para el éxito a la extubación, como puede observarse en nuestros resultados, los pacientes que fracasaron a la extubación fueron aquellos con una mediana para FAD de menos del 20% tanto en el diafragma derecho como izquierdo, mientras que los pacientes que tuvieron éxito a la extubación tuvieron una mediana de 40 y 50% para la FAD del diafragma derecho e izquierdo respectivamente. Por lo anterior, aunque en nuestro estudio, la FAD no tuvo una significancia estadística, acorde a nuestros resultados y a lo establecido en la literatura, podríamos considerar que la FAD es un indicador útil en la evaluación del trabajo respiratorio para predecir el éxito a la extubación.

CONCLUSIONES

- ❖ La excursión del diafragma derecho es un índice ultrasonográfico útil para predecir el éxito de extubación.
- ❖ Si bien en nuestro estudio la Fracción de Acortamiento Diafragmático no presentó significancia estadística, concordamos con la literatura que un valor <20% asocia con un mayor riesgo de fracaso a la extubación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Valenzuela J. et al. Retirada de la ventilación mecánica en pediatría. Estado de la situación. Arch Bronconeumol. 2014;50(3):105–112
2. J.S. Cortés-Román et al. Índices de oxigenación como predictores de fracaso en la extubación. Acta Colomb Cuid Intensivo. 2018. IN PRESS.
3. Boles J-M, et al. Weaning from mechanical ventilation. Réanimation (2008) 17, 74—97.
4. Montaña-Alonso EA y col. Índice CROP y extubación exitosa. Med Int Méx 2015;31: 164-173.
5. Hernández-López GD et al. Retiro de ventilación. Med Crit 2017;31(4):238-245
6. Newth LC. Et al. Weaning and extubation readiness in pediatric patients. Pediatr Crit Care Med 2009; 10 (1); 1-11.

7. Rodríguez GJH, Lomelí TJM, Monares ZE, et al. Esteroides en extubación: ¿A quién? ¿Cómo? ¿Cuándo?. *Med Crit.* 2019;33(6):315-320. doi:10.35366/91602.
8. Xue et al. The predictive value of diaphragm ultrasound for weaning outcomes in critically ill children. *BMC Pulmonary Medicine* (2019) 19:270-278.
9. Dalia a, et al. Diaphragm and Lung Ultrasound Indices in Prediction of Outcome of Weaning from Mechanical Ventilation in Pediatric Intensive Care Unit Indian *J Pediatr* (June 2020) 87(6):413–420.
10. El-Halaby H. et al. Diaphragmatic Excursion and Thickness in Healthy Infants and Children. *J Ultrasound Med* 2016; 35:167-175.
11. Lai Y-C, Ruan S-Y, Huang C-T, Kuo P-H, Yu C-J. Hemoglobin Levels and Weaning Outcome of Mechanical Ventilation in Difficult-To-Wean Patients: A Retrospective Cohort Study. *PLoS ONE* 2013, 8(8): 737-43.
12. Leal SR, et al. Transfusión en el paciente crítico. *Med Intensiva* 2004;28(9):464-9.
13. Ibarra-Estrada MA, et al. Polineuropatía y miopatía del paciente en estado crítico. *Rev Mex Neuroci* 2010; 11(4): 289-295.
14. Carrillo ER et al. Evaluación ultrasonográfica del diafragma en el enfermo grave. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 2014;28(3):187-194.
15. SANDIUMENGE A ET AL. UTILIZACIÓN DE BLOQUEANTES NEUROMUSCULARES EN EL PACIENTE CRÍTICO. *Med Intensiva.* 2008; 32 Supl 1:69-76.
16. Turton et al. *A narrative review of diaphragm ultrasound to predict weaning from mechanical ventilation: where are we and where are we heading?* *Ultrasound J* (2019) 11:2
17. Sánchez K. Experiencia de un programa para retiro de ventilación mecánica prolongada en pacientes pediátricos con traqueostomía. [Subespecialidad]. Universidad Nacional Autónoma de México; 2015.
18. Pérez M. Evaluación Por Imágenes Del Diafragma En El Niño. *Rev Chil Enf Respir* 2012; 28: 236-248,
19. Ricoy J, et al. Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonol.* 2019;25(4):223---235.
20. Epelman M, Navarro O, Daneman A. Miller S. M-mode sonography of diaphragmatic motion: description of technique and experience in 278 pediatric patients. *Pediatr Radiol* (2005) 35: 661–667.
21. Ghaffari S, Ghasempour M, Bilan N. Spontaneous Breathing Trial: A Reliable Method for Weaning in Children. *Int J Pediatr*, 2015; 3 (14): 707-712.

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de recolección de datos

“EXCURSIÓN DIAFRAGMÁTICA Y FRACCIÓN DE ACORTAMIENTO DIAFRAGMÁTICO COMO ÍNDICES ULTRASONOGRÁFICOS PREDICTORES DE EXTUBACIÓN EXITOSA EN PACIENTES HOSPITALIZADOS CON VENTILACIÓN MECÁNICA INVASIVA EN EL HOSPITAL DE PEDIATRÍA DEL CENTRO MÉDICO NACIONAL DE OCCIDENTE”



No. de ID	Edad (meses)	Peso (kg)	Talla (m)	Sexo (F/M)	IMC (kg/m2)	Estado nutricional: M-malnutrido/E-eutrófico)	Motivo de intubación P- Pulmonar C- Cardíaco N- Neurológico Qx- quirúrgico IF - infecciosa	Tiempo de ventilación mecánica (días)	Uso de BNM (días)	Complicación pleuro-pulmonar sobreagregada 1. Neumonía 2. Neumotórax 3. Derrame pleural 4. Atelectasias 5. Otro 6. Ninguna	Extubación: (E) exitosa // (F) fracaso	Causa de fracaso de la extubación: S: sobrecarga ventilatoria DNM: disfunción neuromuscular O: obstrucción de la vía aérea	Excursión diafragmática (cm)	Espesor acortamiento inspiratorio (TI)	Espesor acortamiento espiratorio (TE)	Fracción de acortamiento (FAD)
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
...																
...																
...																
...																
30																
31																
32																

Anexo 2. Carta de Consentimiento informado



INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS
UNIDAD DE EDUCACIÓN, INVESTIGACIÓN
Y POLÍTICAS DE SALUD
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN EN SALUD
CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN

Nombre del estudio: Excursión Diafragmática y Fracción de Acortamiento Diafragmático como Índices Ultrasonográficos Predictores de Extubación Exitosa en Pacientes Hospitalizados Con Ventilación Mecánica Invasiva en el Hospital de Pediatría del Centro Médico Nacional de Occidente

Lugar y fecha: Guadalajara, Jalisco a de de 2022

Número de registro: Se consignará el número del registro al momento de ser aprobado por el comité

Justificación y objetivo del estudio: Se me ha explicado que la finalidad del estudio consiste en conocer el rango de movimiento (excursión) y el grosor (fracción de acortamiento) del diafragma que es el músculo que separa la cavidad torácica (espacio donde se encuentra el corazón y los pulmones) de la cavidad abdominal (espacio donde se encuentra estómago e intestinos) y que es el principal músculo encargado de la respiración; con el objetivo de valorar su estado antes de la extubación (retiro del ventilador mecánico) de mi paciente.

Procedimientos: Se me informó que mi hijo se encuentra en condiciones de retirar de la ventilación mecánica se le realizará un ultrasonido diafragmático el cual es un estudio de imagen que se realiza a pie de cama y que consiste en colocar un aparato (sonda de ultrasonido) con un poco de gel sobre un costado del tórax de mi paciente para obtener una imagen de su diafragma; la cual es transmitida hacia una pantalla a través de la sonda del ultrasonido para poder ser medido, mientras mi paciente se encuentra en respiración espontánea, es decir, es desconectado por un momento del ventilador mecánico. Se me comunicó que el estudio es realizado por un médico experto en ultrasonido, que no expone a mi paciente a radiación ni a heridas ya que el aparato pasa de manera superficial teniendo contacto sólo con la piel y que el tiempo de desconexión para realizar el estudio es breve (aproximadamente 1 minuto), vigilando que no presente compromiso de su estado general y manteniendo en todo momento vigilancia de sus signos vitales incluyendo oxigenación, en caso de presentar algún deterioro se suspenderá el procedimiento.

Posibles riesgos y molestias: Se me aclaró que el presente estudio no representa riesgo agregado en la enfermedad de mi paciente y no será expuesto a radiación; pudiendo presentarse durante la realización del estudio disminución de la oxigenación la cual será atendida de inmediato por el médico que realiza el estudio. Así mismo puede presentarse enrojecimiento o leve inflamación de la piel en el sitio donde se apoya la sonda del ultrasonido así como rash en caso de alergia al gel.

Posibles beneficios que recibirá al participar en el estudio: Se me precisó que con los datos obtenidos del estudio realizado a mi hijo se podrán establecer parámetros que ayuden en el tratamiento de otros pacientes, que al igual que mi hijo se encuentren en ventilación mecánica, en cuanto a las condiciones necesarias para mejorar el retiro de la ventilación.

Información sobre resultados y alternativas de tratamiento: Se me hizo saber que recibiré información por parte del médico tratante sobre los resultados obtenidos, así como las implicaciones que esto pudiera tener en la salud de mi hijo y las posibilidades de tratamiento.

Participación o retiro: Se me notificó que tengo la libertad de retirar a mi paciente del protocolo de estudio en cualquier momento. En caso de decidir retirarme del estudio, esto no afectará el tratamiento ni seguimiento de mi hijo en el IMSS.

Privacidad y confidencialidad: Se me informó que todos los datos recolectados de mi hijo durante y posterior a la realización de este estudio es confidencial dándole un número para su identificación durante el estudio y en caso de publicar los resultados los investigadores se comprometen a no identificar a mi hijo. Los datos de mi hijo serán resguardados bajo llave por los investigadores por un periodo de 2 años realizando posteriormente la destrucción de los mismos.

MANIFIESTO QUE LA PARTICIPACIÓN EN ESTE ESTUDIO ES VOLUNTARIA Y SIN NINGUNA PRESIÓN Y QUE EN CUALQUIER MOMENTO QUE YO LO DECIDA PODRÉ CANCELAR LA PARTICIPACIÓN DE MI HIJO, PUDIENDO O NO EXPRESAR EL MOTIVO. POR TANTO, YO _____ AUTORIZO _____ NO AUTORIZO _____ QUE SE INCLUYA A MI HIJO EN EL PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN MEDIANTE MI FIRMA EN ESTE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Nombre y firma del padre o tutor

Nombre y firma de quien obtiene el consentimiento

Nombre y firma testigo

Nombre y firma testigo

Disponibilidad de tratamiento médico en derechohabientes (si aplica): El presente no pretende de disponer de nuevos tratamientos.

En caso de dudas o aclaraciones relacionadas con el estudio podrá dirigirse a: Laura Graciela Mejía Navarro, Residente de 2° de Neumología Pediátrica, celular 7225494710, correo electrónico: laugracemed@gmail.com

*En caso de dudas o aclaraciones sobre sus derechos como participante podrá dirigirse a: Comité Local de Ética en Investigación 1302 del IMSS: Avenida Belisario Domínguez No. 735, Colonia Independencia, Guadalajara, Jalisco, CP 44340. Teléfono (33) 36 68 30 00 extensión 32696 y 32697.

*En caso de dudas o aclaraciones sobre sus derechos como participante podrá dirigirse a: Comisión de Ética de Investigación de la CNIC del IMSS: Avenida Cuauhtémoc 330 4° piso Bloque "B" de la Unidad de Congresos, Colonia Doctores. México, D.F., CP 06720. Teléfono (55) 56 27 69 00 extensión 21230, Correo electrónico: comision.etica@imss.gob.mx

Anexo 3. Carta de confidencialidad

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL

UMAE HOSPITAL DE PEDIATRIA CMNO

Comité de Ética en Investigación CLIS 132



PRESENTE

Guadalajara Jalisco 01 Julio 2022

Los investigadores: M. en C. Roberto Hernández Raygoza y Laura Graciela Mejía Navarro, residente de primer año de la subespecialidad de Neumología Pediátrica y autores del proyecto titulado “Excursión diafragmática y fracción de acortamiento diafragmático como índices ultrasonográficos predictores de extubación exitosa en pacientes hospitalizados con ventilación mecánica invasiva en el Hospital de Pediatría del Centro Médico Nacional de Occidente” con domicilio ubicado en Avenida Belisario Domínguez No. 735, Colonia Independencia, CP 44340, Guadalajara, Jalisco; nos comprometemos a resguardar y no hacer mal uso de los: documentos, expedientes, reportes, estudios, actas, resoluciones, oficios, correspondencias, acuerdos, archivos físicos y/o electrónicos de la información recabada, estadística o bien, de cualquier otro registro o información relacionada con el estudio a mi cargo o en el cual participo como director de tesis y tesista-investigador respectivamente, así como no difundir, distribuir o comercializar con los datos personales contenidos en los sistemas de información desarrollados en la ejecución del mismo.

Estando en conocimiento que en caso de no cumplimiento se procederá acorde a las sanciones civiles, penales o administrativas que proceden de conformidad con lo dispuesto en la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental, la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de Particulares y Código Penal del Estado de Jalisco.

Atentamente:

	
M. en C. Roberto Hernández Raygoza Director de tesis	Laura Graciela Mejía Navarro Tesista Médico Especialista en Pediatría