

Propuesta de evaluación cuantitativa en el protocolo ultrasonográfico para retiro de la ventilación mecánica invasiva (GMEMI score)

Ángel Augusto Pérez-Calatayud^{1*}, Raúl Carrillo-Esper² y Emilio Arch-Tirado³

¹Medicina Intensiva, Fundación Clínica Médica Sur, Grupo Mexicano Para el Estudio de la Medicina Intensiva; ²Academia Nacional de Medicina, Academia Mexicana de Cirugía, Jefe de UTI Fundación Clínica Médica Sur, Fundador Grupo Mexicano Para el Estudio de la Medicina Intensiva;

³Laboratorio de Neurobiología, Dirección de Investigación, Instituto Nacional de Rehabilitación. Ciudad de México, México

Resumen

Introducción: La ventilación mecánica (VM) es una modalidad de soporte vital que se utiliza en una proporción significativa de los enfermos de terapia intensiva. Determinar el tiempo adecuado para discontinuar la VM exitosa, aún en la actualidad, continúa siendo un reto. Es por eso que se sigue con la investigación de nuevos protocolos para el retiro de la ventilación. La evaluación ecocardiográfica de la función diastólica, el diafragma y el pulmón son herramientas de gran utilidad para el retiro de la ventilación mecánica invasiva (VMI) en especial en pacientes con retiro difícil o prolongado. Aún se necesita validar en estudios controlados la eficacia de un protocolo integrado para el retiro de la VMI. **Métodos:** Basado en la literatura actual se desarrolló un puntaje explicado en modelo matemático basado en inecuaciones. Cuando $\chi \Rightarrow 5$ el riesgo de fracaso en el retiro aumenta, por lo que no se debe continuar con el proceso; cuando $\chi \Rightarrow 1$ el riesgo de fracaso disminuye, por lo que se debe retirar la VMI. **Conclusiones:** El uso de modelos matemáticos para la toma de decisiones es de vital importancia, ya que establece un parámetro de objetividad con respecto a las evaluaciones existentes. En este trabajo se propone el uso de las inecuaciones con la finalidad de establecer intervalos de solución en los tres grandes rubros que se toman en cuenta en la toma de decisión en el retiro de la VMI; de esta manera, las inecuaciones propuestas generan un área de certidumbre con respecto a los valores propuestos y los intervalos de solución del presente trabajo.

PALABRAS CLAVE: Ultrasonido. Retiro. Ventilación mecánica.

Abstract

Introduction: Mechanical ventilation is a therapy for vital support used in a significant proportion of critically ill patients. The right time to successfully discontinue this therapy is a challenge for the intensive care specialist. For this reason it is still a subject for research. The echocardiographic evaluation of the diastolic dysfunction, the diaphragm, and the lung have become an invaluable tool for weaning from mechanical ventilation protocols, especially in patients with difficult or prolonged weaning from mechanical ventilation. There is still a need to validate, in controlled trials, the efficacy of an ultrasound protocol for weaning from mechanical ventilation that integrates the three modalities in a single protocol. **Methods:** Based on current literature, we developed a score justified by a mathematical model based on inequations. When $\chi \Rightarrow 5$ the risk of failure in

Correspondencia:

*Ángel Augusto Pérez-Calatayud
Unidad de Terapia Intensiva
Fundación Clínica Médica Sur
Puente de piedra, 150
Col. Toriello Guerra, Del. Tlalpan
C.P. 14050, Ciudad de México, México
E-mail: gmemiinv@gmail.com

Fecha de recepción: 15-01-2015

Fecha de aceptación: 06-04-2015

*the weaning process rises, the weaning process should be suspended; when $\chi \Rightarrow 1$ the risk of failure is low, the weaning process should be continued. **Conclusions.** The use of math models for decision-making is of great importance, as it sets an objective parameter within the existing evaluations. We proposed the use of inequations to set intervals of solution with the three points of care for ultrasound-guided weaning from mechanical ventilation. With this, the inequations proposed generate an area of certainty within the proposed values and the solution intervals. (Gac Med Mex. 2016;152:304-12)*

Corresponding author: Ángel Augusto Pérez-Calatayud, gmemiinv@gmail.com

KEY WORDS: Ultrasound. Weaning. Mechanical ventilation.

Introducción

La ventilación mecánica es una modalidad de soporte vital que se utiliza en una proporción significativa de los enfermos graves internados en una Unidad de Terapia Intensiva (UTI). La mayoría de estos enfermos pueden ser extubados sin complicaciones, sin embargo el 20% de los pacientes con VM fracasarán al primer intento de retiro y más del 40% del tiempo en el que un paciente permanece en VM se invertirá en el proceso de retiro de la VM^{1,2}.

La VM prolongada se asocia a la presencia de complicaciones, de las que destacan la neumonía asociada a la ventilación (NAV), lesión pulmonar inducida por ventilación (LPIV), hemorragia digestiva y trombosis venosa profunda entre otras. Por otra parte el fracaso en la extubación con la subsecuente reintubación es factor de riesgo independiente para incremento en la morbilidad³. Por lo anterior, decidir el momento adecuado para la discontinuación de la VM sigue siendo un reto, motivo por el cual se continúan desarrollando nuevos procesos y protocolos para la toma de decisiones.

La ultrasonografía (USG) se ha implementado en la evaluación cotidiana del enfermo grave para el abordaje diagnóstico y seguimiento. En este sentido los protocolos de retiro de ventilación guiados por ultrasonido evalúan a diferencia de los protocolos meramente mecánicos la aireación y colapso alveolar, la función cardíaca y diafragmática en tiempo real, lo que facilita el seguimiento, ayudando a predecir el éxito de la técnica de retiro o indicando al clínico el detener la maniobra y continuar con la VM.

Causas de fracaso en el retiro de la VM

Existen diferentes entidades que pueden ocasionar fracaso en el retiro de la VM, que se resumen en la tabla 1. El reconocimiento y tratamiento temprano de estas ayuda a disminuir el riesgo de fracaso en el retiro de la VM.

Retiro de la VM

Una vez que se toma la decisión de iniciar el retiro de la VM se debe evaluar de manera integral al paciente, haber controlado la causa que llevó a la intubación y VM y la integridad del sistema cardio-respiratorio, función de músculos respiratorios, principalmente del diafragma, distensibilidad toraco-pulmonar, estado nutricional y estabilidad metabólica.

Además de lo anterior se han desarrollado varios índices que ayudan en base al puntaje obtenido a tomar la decisión para iniciar el retiro de la VM. A manera de ejemplo destacan:

- Presión inspiratoria máxima, índice de IWI (Initiative Weaning Index), índice de CRUP, los cuales de acuerdo al puntaje obtenido sirven como índices predictivos para un retiro exitoso de la VM^{4,5}.
- Índice de ventilación superficial (frecuencia/volumen corriente) desarrollado por Yang y Tobin⁶, que tiene una sensibilidad de 96% y una especificidad de 64% para predecir el éxito o fracaso del retiro de la VM.

En base al desarrollo de diferentes protocolos ultrasonográficos a la cabecera del paciente en la UTI, se han propuesto diferentes métodos para evaluar y tomar la decisión en su momento relacionada al retiro de la VM^{7,8}.

Protocolo de retiro de la VM guiada por ultrasonido

Para este protocolo se realizan 3 evaluaciones ultrasonográficas a la cabecera del enfermo, la función cardíaca, diafragmática y pulmonar.

Evaluación de la función cardíaca y hemodinámica

Las alteraciones hemodinámicas y la disfunción cardíaca juegan un papel crítico en el retiro de la ventilación⁹. Después de suspender la ventilación con presión positiva, la presión negativa intratorácica y la

Tabla 1. Causas de fracaso del retiro de la ventilación mecánica

| Fisiopatología | Considerar | USG |
|--------------------|---|---|
| Falla respiratoria | <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento del trabajo ventilatorio: parámetros del ventilador inapropiados 2. Compliance reducida: neumonía (adquirida por el ventilador), edema cardiogénico o no cardiogénico, fibrosis pulmonar, hemorragia pulmonar, infiltrados pulmonares difusos 3. Broncoconstricción de la vía aérea 4. Aumento de la carga resistiva: durante la prueba de ventilación espontánea por el tubo orotraqueal. Después de la extubación, edema glótico, aumento de las secreciones, retención de esputo | Evaluación ultrasonido pulmonar con presencia de patrón alveolointerstitial, ausencia de deslizamiento pleural por hiperinflación dinámica, presencia de neumotórax. Pérdida de unidades alveolares mediante el aumento del número de líneas B o presencia de una nueva zona de consolidación |
| Falla cardíaca | <ol style="list-style-type: none"> 1. Disfunción cardíaca antes de la enfermedad crítica 2. Aumento de la demanda cardíaca por disfunción miocárdica, hiperinflación dinámica, aumento de la demanda metabólica, sepsis no resuelta | Evaluación ecocardiográfica de la función diastólica, disfunción de ventrículo derecho, hiperdinamia |
| Neuromuscular | <ol style="list-style-type: none"> 1. Depresión del centro respiratorio, alcalosis metabólica, ventilación mecánica, medicamentos hipnótico-sedantes 2. Comando central ventilatorio, falla del sistema neuromuscular respiratorio (incluye músculos respiratorios, entre ellos el diafragma) 3. Disfunción periférica, causas primarias de debilidad neuromuscular, enfermedad neuromuscular del paciente crítico | Evaluación ultrasonográfica del diafragma, excursión diafragmática y delta de grosor diafragmático |
| Neuropsicológicos | <ol style="list-style-type: none"> 1. Delirio 2. Ansiedad y depresión | Clínicos |
| Metabólicos | <ol style="list-style-type: none"> 1. Alteraciones electrolíticas 2. Esteroides 3. Hiperglucemia | Laboratorio |
| Nutrición | <ol style="list-style-type: none"> 1. Sobrepeso 2. Desnutrición 3. Disfunción diafragmática asociada al ventilador | Evaluación ultrasonográfica de la función diafragmática, la anemia causa disfunción diastólica |
| Anemia | <ol style="list-style-type: none"> 1. Anemia | |

sobreestimulación simpática¹⁰ incrementan el retorno venoso, el trabajo cardíaco¹¹, la poscarga y distensibilidad del ventrículo izquierdo (VI)^{12,13}; estos cambios pueden condicionar isquemia miocárdica, disfunción diastólica del VI, congestión e hipertensión pulmonar y disfunción del ventrículo derecho (VD)¹⁴⁻¹⁷. Este fenómeno en conjunto con el aumento del retorno venoso aumenta las presiones de llenado del VI y genera edema agudo pulmonar.

Para la evaluación de la función diastólica del VI es necesario realizar diferentes índices con el eco doppler. En la tabla 2 se muestran los diferentes tipos de disfunción diastólica y los índices para su diagnóstico ecocardiográfico que son de utilidad en la evaluación del retiro de la VM.

Un estudio realizado por Papanikolaou¹⁷ encontró que de los índices ecocardiográficos para disfunción

diastólica realizados antes de la prueba de ventilación espontánea (PVE), la E/Ea mayor de 7.8 tiene valor pronóstico para predecir el fracaso de retiro de la VM. El doppler tisular de la pared lateral presentó un área bajo la curva de 0.86 con una especificidad del 100% y un valor predictivo positivo del 100%. Este estudio sugiere que la disfunción diastólica y el aumento de las presiones de llenado del VI están relacionados con la fisiopatología del fracaso del retiro de la VM^{18,19}. La presencia de disfunción diastólica grado 2 o 3 durante la PVE está relacionada al fracaso del mismo.

Moschietto²⁰ encontró que la medición de la relación E/Ea durante la PVE fue mayor en el grupo en que fracasó el retiro de la VM en comparación a los que el retiro fue exitoso. El punto de corte en este estudio fue de 14.5 con una sensibilidad del 75% y una especificidad de 95.8%. No se encontró diferencia

Tabla 2. Clasificación de los patrones de llenado del ventrículo izquierdo

| | Normal | Relajación anormal | Pseudonormalización | Restrictivo |
|-----------------|---------|--------------------|---------------------|-------------|
| Relación E/A | 1-1.5 | < 1 | 1-1.5 | > 2 |
| TD msec | 160-240 | > 240 | 160-240 | < 150 |
| TRIV msec | 60-100 | > 110 | 60-100 | < 60 |
| Relación PV S/D | 1 | > 1 | < 1 | < <1 |
| Duración PV Ar | < A | > A | > A | > A |
| Velocidad PV Ar | < 20 | < 35 | > 35 | > 25 |
| Ee cm/sec | < 8 | > 8 | > 8 | > 8 |
| Vp cm/sec | > 45 | < 45 | < 45 | < 45 |

Relación E/A: mitral; TD: tiempo de desaceleración; TRIV: tiempo de relajación isovolumétrica; PV S/D: relación de la onda sistólica/diastólica de la vena pulmonar; PV Ar: onda reversa atrial de lavena pulmonar; Ea: velocidad tisular temprana del anillo mitral longitudinal; Vp: velocidad del flujo de propagación transmitral.

Modificado de acuerdo a los estudios de retiro de la ventilación mecánica considerando que la relación E/e mayor de 8 se relaciona con una presión de oclusión de la arteria pulmonar mayor de 18.

significativa entre los grupos con respecto a la fracción de eyección del VI.

El deterioro de la función diastólica durante la PVE también está relacionado con el fracaso en el retiro de la VM. En el estudio realizado por Lamia²¹ se reportó la correlación entre la relación E/A y la E/Ea con la presión de oclusión de la arteria pulmonar (POAP), se encontró que la relación E/A > 0.95 y una E/Ea > 8.5 durante la PVE predice la elevación de la POAP inducida por el retiro de la VM por arriba de 18 mmHg, con una especificidad del 91% y una sensibilidad del 82%.

Un elevado porcentaje del fracaso en el retiro de la VM es debido a disfunción diastólica y al incremento de las presiones de llenado del VI. Mediante la USG se pueden evaluar en tiempo real las modificaciones en la función cardíaca durante la PVE, y en caso de que se presente alguna iniciar una terapéutica apropiada y oportuna con la mejor decisión terapéutica para garantizar el éxito en el retiro de la VM.

Evaluación diafragmática

El diafragma es el principal músculo respiratorio y su disfunción en el enfermo grave favorece el desarrollo de complicaciones respiratorias y la prolongación del tiempo en VM²².

En pacientes en VM controlada se presenta una grave disfunción y atrofia diafragmática, motivo por el cual debe buscarse que el paciente inicie de manera temprana con ventilaciones espontáneas adecuando el trabajo de la respiración. Esta disfunción diafragmática inducida por ventilación se ha demostrado en modelos animales y en estudios clínicos²³.

Por otro lado la programación del ventilador debe, en teoría, buscar un nivel adecuado de trabajo respiratorio. La mayoría de los modos asistidos de la VM han sido estudiados respecto a su habilidad para reducir el trabajo ventilatorio durante el proceso de retiro tanto de la VMI como en la no invasiva²³.

Debido a que el movimiento y engrosamiento diafragmático tienen un papel fundamental durante la respiración espontánea, la evaluación de este músculo es esencial en la evaluación del retiro de la VM.

Durante algún tiempo las herramientas utilizadas para la evaluación diafragmática estaban limitadas por el riesgo del traslado del paciente y la radiación (fluoroscopia, tomografía computada) o por su complejidad, requiriendo un equipamiento muy especializado y a un operador experto (medición de la presión transdiafragmática por electromiografía, imagen por resonancia magnética con estimulación del nervio frénico).

El ultrasonido se ha posicionado como una excelente herramienta para la evaluación anatómica y funcional del diafragma en los enfermos en los que se va a iniciar un protocolo de retiro de VM²⁴.

La evaluación del diafragma por ultrasonido se ha convertido en una herramienta necesaria para la valoración del paciente crítico en condiciones que alteran su movilidad como son la lesión de nervio frénico, en enfermedades neuromusculares y en pacientes con VM. La determinación de la excursión diafragmática basada en ultrasonido puede ayudar a identificar pacientes con disfunción diafragmática durante el retiro de la VM, así como la visualización directa del grosor del diafragma. La medición del grosor de este músculo ha sido descrita desde 1989²⁶ y ha sido utilizada para

valorar la contracción diafragmática en sujetos sanos y en el diagnóstico de parálisis diafragmática.

Para la evaluación del diafragma utilizaremos dos índices principalmente. El primero es la excursión diafragmática, el cual consiste en medir por ultrasonido en modo M la movilidad del diafragma en inspiración y espiración durante un modo espontáneo de VMI o durante la PVE. El otro índice se conoce como Delta de grosor diafragmático (Δtdi), que corresponde al porcentaje de engrosamiento del diafragma, con técnica de sándwich, en inspiración y espiración.

Excursión diafragmática

El ultrasonido diafragmático se realiza con un transductor de 3.5 a 5 MHz. Este debe ser colocado debajo del margen costal derecho o izquierdo en la línea media clavicular, o en la línea axilar anterior derecha o izquierda y se dirige medial, cefálico y dorsal, para que la marca del transductor alcance de manera perpendicular el tercio posterior del hemidiafragma. Con el modo bidimensional (2d) se obtiene la mejor imagen de la línea de exploración, posteriormente utilizamos el modo M para visualizar el movimiento de las estructuras anatómicas dentro de la línea seleccionada. En el modo M la excursión diafragmática (desplazamiento en cm), la velocidad de la contracción diafragmática, el tiempo inspiratorio y la duración del ciclo pueden ser medidos²².

En pacientes con VM, la evaluación de la excursión diafragmática durante una PVE nos ayuda a visualizar los esfuerzos respiratorios espontáneos del enfermo. Los valores normales de excursión diafragmática en individuos sanos se han reportado de 1.8 ± 0.3 a 2.9 ± 0.6 cm en hombres y de 1.6 ± 0.3 a 2.6 ± 0.5 en mujeres²⁵.

Para el retiro de la VMI Jiang²⁶ realizó una evaluación de los movimientos diafragmáticos al medir el desplazamiento del hígado y bazo durante la PVE. Utilizando un punto de corte de 1.1 cm del desplazamiento hepático y esplénico demostró ser un buen predictor de desenlace en el retiro de la VMI con una sensibilidad de 84.4% y una especificidad del 82.6%, superando a los parámetros utilizados de manera rutinaria como son el índice de respiración superficial y el Pimax. Los pacientes con un volumen tidal adecuado durante la PVE, que muestran una excursión diafragmática disminuida, tuvieron mayor probabilidad de fracaso en el retiro que aquellos con volumen tidal adecuado y una buena excursión diafragmática. Esto puede explicarse por el hecho que el volumen tidal en la respiración espontánea está representado por una combinación de los músculos respiratorios sin que en

esta se reconozca la contribución del diafragma, mientras que la excursión diafragmática representa el resultado final de la fuerza del mismo músculo en combinación con la presión intratorácica e intraabdominal.

Kim²⁷, en su estudio, investigó la disfunción diafragmática por ultrasonido en modo M en 88 UTI y encontró una prevalencia del 29% (por excursión diafragmática < 1 cm o movimientos paradójicos del diafragma). Los pacientes con disfunción diafragmática tuvieron un incremento en el número de intentos de retiro de la VM y del mismo modo en los días de VM. Estos resultados sugieren que la valoración ultrasonográfica del diafragma es útil para identificar a pacientes en riesgo de retiro difícil o prolongado, así como también es un predictor en el fracaso del retiro de la VM.

Δtdi

Este índice es otra medición que se ha validado para la evaluación de la función diafragmática.

Para esta medición se toma el transductor lineal de 10 a 15 MHz y el modo bidimensional del ultrasonido. Se coloca el transductor de la misma manera que para la medición de la excursión diafragmática y se toman medidas del grosor diafragmático en inspiración y espiración. El porcentaje se calcula con la siguiente fórmula:

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

Los valores normales del engrosamiento diafragmático en individuos sanos van de acuerdo a su capacidad residual funcional (CRF), con rangos de 1.8 a 3 mm. Conforme el pulmón aumenta el volumen residual (RV) de la capacidad pulmonar total (TLC) con Δtdi , que va de un 42-78%^{28,29}.

Para fines de retiro de la VMI DiNino³⁰ evaluó el Δtdi como predictor de éxito, un $\Delta tdi > 30\%$ presentó una sensibilidad del 88% y una especificidad del 71%, un valor predictivo positivo de 91% y un valor negativo de 63%, con un área bajo la curva de 0.79.

El uso combinado de estos dos métodos de valoración de función diafragmática durante las PVE son herramientas útiles para la determinación de pacientes en riesgo de fracaso de retiro de la VMI.

Ultrasonido pulmonar

Por último, durante la PVE debemos evaluar el volumen pulmonar. Desde que Lichtenstein³¹ describió los artefactos del ultrasonido pulmonar en el protocolo

Blue, donde reportó que la presencia de líneas B alineadas, las cuales denominó cohetes pulmonares, es patológica y representan la presencia de un síndrome alveolointersticial, y lo mismo que posteriormente describió en el protocolo FALLS³², que la presencia o el aumento de estas líneas están relacionados con la presencia de edema agudo de pulmón durante la reanimación hídrica de los enfermos en choque, fueron la pauta para la realización de múltiples estudios de este fenómeno guiado por ultrasonido³³. Ahora se sabe que la presencia de estas líneas o artefactos está, entre otras cosas, relacionada con la aeración pulmonar. La presencia de líneas A, las cuales son horizontales a la línea pleural, caracterizan a un pulmón con aeración normal. La presencia de múltiples líneas B (líneas de cometa) que son líneas bien definidas y espaciadas corresponden a una pérdida de la aeración pulmonar moderada, resultante de la presencia de un síndrome alveolointersticial³⁴. La presencia de líneas B coalescentes de menos de 3 mm de separación corresponde a una pérdida de la aeración severa, esto resulta del llenado parcial de los espacios alveolares por edema pulmonar. Por último, la presencia de consolidación pulmonar se observa con la presencia de puntos hiperecogénicos con reforzamiento inspiratorio y broncograma dinámico que corresponde a la pérdida completa de la aeración pulmonar con aeración distal persistente de los bronquiolos. Con base a esto, Bouhemad³⁵ realizó un puntaje de aeración para pacientes con síndrome de insuficiencia respiratoria aguda. Con base a este puntaje realizamos esta misma valoración para pacientes con VMI y se toma el puntaje de pérdida de la aeración como factor pronóstico para fracaso del retiro de la VMI. El estudio de Soummer³⁶, donde realizan el índice de pérdida de la aeración, encontró que aquellos pacientes con un puntaje mayor de 19 presentaron un riesgo mayor de desarrollar *distress* postextubación, con una área bajo la curva de 0.86, por lo que el autor concluye que puntajes por debajo de 13 predicen el éxito del retiro, mientras que puntajes mayores de 17 predicen la presencia de *distress* postextubación.

El objetivo del presente trabajo es proponer inecuaciones matemáticas con la finalidad de evaluar en forma cuantitativa y objetiva el retiro de la VM basado en USG.

Con base en lo anterior, se realizó una revisión bibliográfica, con las palabras: ultrasonido, retiro de la ventilación, diafragma, ecocardiograma y pulmonar, publicada hasta el momento, con la finalidad de conocer y evaluar los parámetros ultrasonográficos establecidos más utilizados en el retiro de la VM.

Tabla 3. Puntaje para el retiro de la ventilación mecánica (GMEI score)

| USG | Descripción | Puntaje |
|----------------|--|---------|
| Pulmonar | N-C N-B2 B1-C | 5 |
| | N-B1 B1-B2 | 3 |
| | Sin cambio | 1 |
| Ecocardiograma | Presencia de disfunción diastólica grado III O N-DII o DIII O DI- DIII | 5 |
| | Presencia de disfunción diastólica grado II O N-DI DI-DII | 3 |
| | Sin cambio | 1 |
| Diafragma | $E < 1.5 + \Delta D < 30\%$ | 5 |
| | $E > 1.5 + \Delta D < 30\%$ $E < 1.5 + \Delta D > 30\%$ | 3 |
| | $E > 1.5 + \Delta D > 30\%$ | 1 |

Pulmonar: B1: líneas B bien definidas de 7-mm regularmente espaciadas (pérdida de la aeración moderada); B2: múltiples líneas B coalescentes (pérdida de la aeración severa); C: consolidación pulmonar; N: patrón normal (aeración pulmonar normal). Cardíaco: N: normal; D1: disfunción diastólica tipo I; DII: disfunción diastólica tipo II; DIII: disfunción diastólica tipo III. Diafragma: E: excursión; ΔD : delta de grosor diafragmático. GMEI: Grupo Mexicano Para el Estudio de la Medicina Intensiva.

Se realizó un modelo matemático basado en inecuaciones, analizando las tendencias y parámetros que se utilizan en los tres grandes ejes del paciente en estado crítico, pulmonar, cardíaco y diafragmático en la evaluación del retiro de la VM, resultando que cuando $\chi \Rightarrow 5$ el riesgo de fracaso en el retiro aumenta, por lo que no se debe continuar con el proceso de retiro de la VM, y cuando $\chi \Rightarrow 1$ el riesgo de fracaso disminuye, por lo que se debe continuar con el proceso de retiro de la VM. (Tabla 3).

Se construyeron intervalos de solución con respecto a la ponderación establecida, en donde por ecocardiograma (cardíaco): C = 1 significa sin presencia de disfunción diastólica, C = 3 la presencia de disfunción diastólica grado I y II o la presencia de un cambio de normal a disfunción diastólica grado I o disfunción diastólica grado I a grado II, y C = 5 presencia de disfunción diastólica tipo III o la presencia de cambio de función normal a disfunción diastólica grado II o III o de disfunción diastólica grado I a grado III.

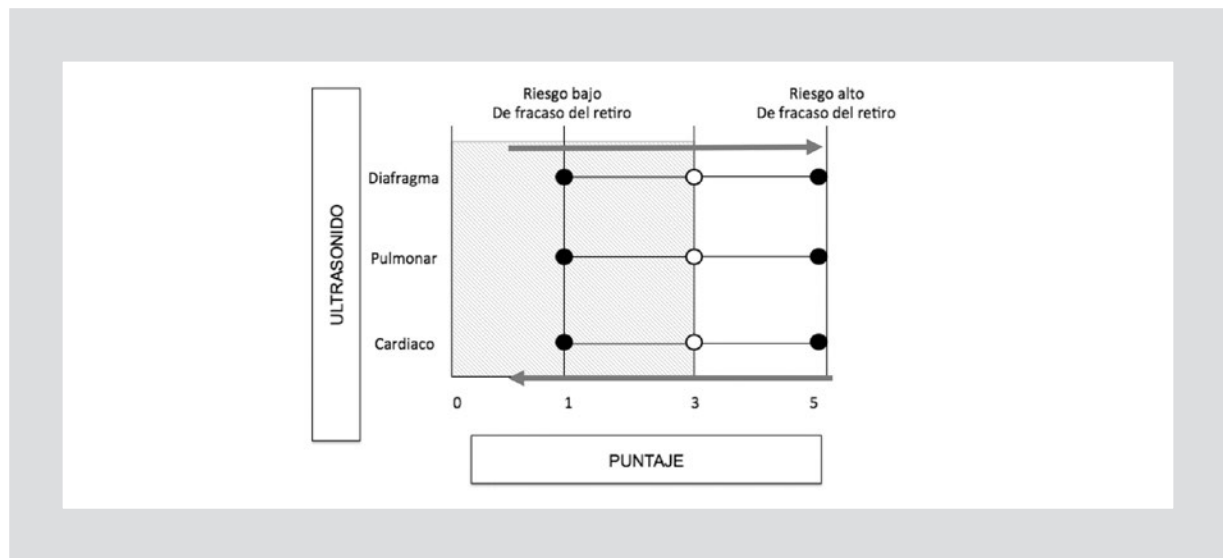


Figura 1. Se observa que el intervalo de solución en los tres estados es de $[1 \leq \chi \leq 5]$, de la misma manera el intervalo que determinará el retiro es de $[1 \leq \chi < 3]$, esta condición significa que el puntaje igual a 5 en cualquier rubro condiciona el no retiro de la VMI y el puntaje de 1 a 3 significa que se debe continuar con el proceso de retiro de la VMI. Cuando el valor $\Rightarrow 3$ en cualquier rubro, se tendrá que realizar la evaluación de la causa específica por el cual obtuvo ese puntaje, de esta manera se asegura el retiro de VMI sin comprometer la vida del sujeto.

Para el pulmonar: P = 1 es normal (N), P = 3 de N a B1 o de B1 a B2, P = 5 presencia de consolidación (C) o de N a B2 o B1 a C o N a C.

Para el caso del diafragma: D = 1 significa excursión mayor de 1.5 cm y Δtdi mayor del 30%, D = 3 excursión menor de 1.5 cm con Δtdi mayor de 30% o excursión mayor de 1.5 cm con Δtdi menor del 30%, y D = 5 excursión menor de 1.5 cm con Δtdi menor del 30%.

Con lo previamente descrito se propone que el intervalo de solución en los tres estados es cerrado por ambos lados $[1 \leq \chi \leq 5]$, de la misma manera el intervalo que determinará el retiro es cerrado por la derecha y abierto por la izquierda $[1 \leq \chi < 3]$, esta condición significa que el puntaje igual a 5 en cualquier rubro condiciona el no retiro de la VM y el puntaje de 1 a 3 significa que se debe continuar con el proceso de retiro de la VM, cuando el valor de $\chi \Rightarrow 3$ en cualquier rubro, se tendrá que realizar la evaluación de la causa específica por la cual obtuvo ese puntaje, de esta manera se asegura el retiro. (Figs.1 y 2) (Tabla 4).

Conclusiones

La búsqueda de nuevos procesos para el retiro de la VM que den mayor seguridad en la toma de decisiones es parte esencial del trabajo del intensivista. En relación a los trabajos publicados hasta el momento con respecto al uso de ultrasonido para el retiro de la VM, han evaluado parámetros individuales con una

tasa de éxito importante y reportando sensibilidad y especificidad elevadas para cada uno de los rubros evaluados, por lo que proponemos su integración dentro de un protocolo de retiro de VM donde evaluaremos función cardíaca, función pulmonar y función muscular a la cabecera del enfermo, como auxiliar en la toma de decisiones.

Sabemos que las causas de fracaso en el retiro de la VM son multifactoriales y la capacidad de observar y cuantificar alguna disfunción dentro de este proceso, solamente la puede dar la evaluación ultrasonográfica con un costo beneficio elevado por ser un procedimiento no invasivo y cuya curva de aprendizaje es corta.

Cabe mencionar que el uso de modelos matemáticos para la toma de decisiones es de vital importancia, estos establecen un parámetro de objetividad con respecto a las evaluaciones existentes. En el presente trabajo se propone el uso de las inecuaciones con la finalidad de establecer intervalos de solución en los tres grandes rubros que se toman en cuenta en la toma de decisión en el retiro de la VM; de esta manera, las inecuaciones propuestas generan un área de certidumbre con respecto a los valores propuestos y los intervalos de solución del presente trabajo.

Con la llegada de la medicina visual el uso de biomarcadores como son el BNP, el delta de SvO_2 , para evaluación de la falla cardíaca asociada al retiro de la VM, o el $P_{m\acute{a}x}$ para la evaluación de la integridad neuromuscular y los cambios gasométricos para la pérdida

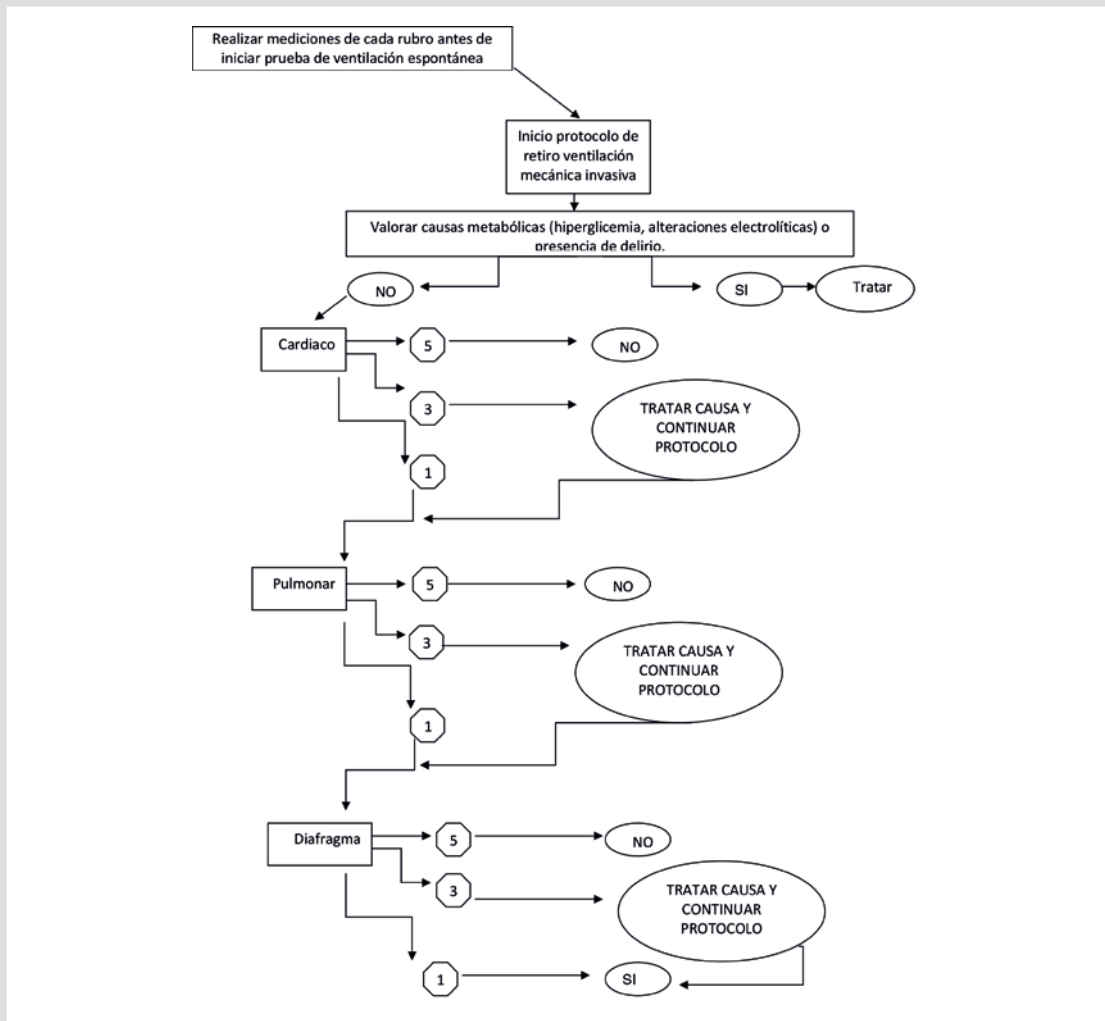


Figura 2. Algoritmo para la toma de decisiones en el retiro de la ventilación mecánica guiado por ultrasonido basado en el GMEMI score.

Tabla 4. Tabla de decisión por protocolo ultrasonográfico

| Cardíaco | Pulmonar | Diafragma | Decisión | | |
|----------|----------|-----------|----------|----------|----------------------|
| 5 | 5 | 5 | No | 5C+5P+5D | $\chi \Rightarrow 5$ |
| 5 | 5 | 1 | No | 5C+5P+1D | |
| 5 | 1 | 1 | No | 5C+1P+1D | |
| 3 | 5 | 1 | No | 3C+5P+1D | |
| 3 | 1 | 5 | No | 3C+1P+5D | |
| 1 | 5 | 5 | No | 1C+5P+5D | |
| 3 | 3 | 3 | Sí | 3C+3P+3D | $\chi \Rightarrow 3$ |
| 3 | 1 | 1 | Sí | 3C+1P+1D | |
| 3 | 3 | 1 | Sí | 3C+3P+1D | |
| 3 | 1 | 3 | Sí | 3C+1P+3D | |
| 1 | 1 | 1 | Sí | 1C+1P+1D | $\chi \Rightarrow 1$ |

Intervalo global $[1 \leq \chi < 3]$ puntaje en cualquier casilla de 3 a 1, retiro de la VMI; si cualquier puntaje existe un 5 $[1 \leq \chi \leq 5]$, no se continúa con retiro de la VMI.

de unidades alveolares funcionales, podrían ser sustituidos por una evaluación integral ultrasonográfica como se propone en este trabajo, o ser una herramienta más en la toma de decisiones.

Para fines de evaluar la eficacia de esta propuesta se está diseñando por el Grupo Mexicano para el Estudio de la Medicina Intensiva (GMEMI) un estudio para la validación de este puntaje, con respecto a los protocolos actualmente establecidos de retiro de la VM en pacientes con ventilación prolongada (más de 3 días de VM) como un estudio de no inferioridad. En nuestro centro hemos creado experiencia con la evaluación ultrasonográfica en pacientes en protocolo de retiro con porcentaje alto de retiro exitoso de la VM.

Bibliografía

- Chao DC, Scheinhorn DJ. Weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Clin*. 1998;14:799-817.
- Lellouche F, Mancebo J, Joliet P, et al. A multicenter randomized trial of computer-driven protocolized weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006;174:894-900.
- Manthous CA, Schmidt GA, Hall JB. Liberation from mechanical ventilation. A decade of Progress. *Chest*. 1998;114:886-901.
- Marini J, Smith T, Lamb V. Estimation of inspiratory muscle strength in mechanically ventilated patients: The measurement of maximal inspiratory pressure. *J Crit Care*. 1986;1:32-8.
- Caruso P, Friedrich C, Denari S, Ruiz S, Deheinzelin D. The unidirectional valve is the best method to determine maximal inspiratory pressure during weaning. *Chest*. 1999;115:1096-101.
- Yang K, Tobin M. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med*. 1991;324:1445-50.
- Beaulieu Y, Marik PE. Bedside ultrasonography in the ICU: part 1. *Chest*. 2005;128:881-95.
- Beaulieu Y, Marik PE. Bedside ultrasonography in the ICU: part 2. *Chest*. 2005;128:1766-81.
- Lamia B, Monnet X, Teboul JL. Weaning-induced cardiac dysfunction. In: *Yearbook of intensive care and emergency medicine*. 1st ed. Heidelberg: Springer; 2005. p. 239-45.
- Kennedy SK, Weintraub RM, Skillman JJ. Cardiorespiratory and sympathoadrenal responses during weaning from controlled ventilation. *Surgery*. 1977;82:233-40.
- Gobel FL, Norstrom LA, Nelson RR, Jorgensen CR, Wang Y. The rate-pressure product as an index of myocardial oxygen consumption during exercise in patients with angina pectoris. *Circulation*. 1978;57:549-56.
- McGregor M. Current concepts: pulsus paradoxus. *N Eng J Med*. 1979;301:480-2.
- Buda AJ, Pinsky MR, Ingels NB Jr, Daughters GT 2nd, Stinson EB, Alderman EL. Effect of intrathoracic pressure on left ventricular performance. *N Eng J Med*. 1979;301:453-9.
- Hurford WE, Favorito F. Association of myocardial ischemia with failure to wean from mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 1995;23:1475-80.
- Frazier SK, Brom H, Widener J, Pender L, Stone KS, Moser DK. Prevalence of myocardial ischemia during mechanical ventilation and weaning and its effects on weaning success. *Heart Lung*. 2006;35:363-73.
- Boussuges A, Pinet C, Molenat F, et al. Left atrial and ventricular filling in chronic obstructive pulmonary disease. An echocardiographic and Doppler study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;162:670-5.
- Papanikolaou J, Makris D, Saranteas T, Karakitsos D, Zintzaras E, Karabinis A. New insights into weaning from mechanical ventilation: left ventricular diastolic dysfunction is a key player. *Intensive Care Med*. 2011;37:1976-85.
- Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med*. 1991;324:1445-50.
- El-Khatib MF, Jamaledine GW, Khoury AR, Obeid MY. Effect of continuous positive airway pressure on the rapid shallow breathing index in patients following cardiac surgery. *Chest*. 2002;121:475-9.
- Moschietto S, Doyen D, Grech L, Dellamonica J, Hyvrenat H, Bernardin G. Transthoracic Echocardiography with Doppler Tissue Imaging predicts weaning failure from mechanical ventilation: evolution of the left ventricle relaxation rate during a spontaneous breathing trial is the key factor in weaning outcome. *Crit Care*. 2012;14:R81.
- Lamia B, Maizel J, Ochagavia A, Chemla D, Osman D, Richard C. Echocardiographic diagnosis of pulmonary artery occlusion pressure elevation during weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 2009;37:1696-1701.
- Matamis D, Soilemez E, Tsagourias M, et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. *Intensive Care Med*. 2013;39:801-10.
- Vivier E, Mekontso A, Dimassi S, et al. Diaphragm ultrasonography to estimate the work of breathing during non-invasive ventilation. *Intensive Care Med*. 2012;38:796-803.
- Wait JL, Nahormek PA, Yost WT, Rochester DP. Diaphragmatic thickness lung volume relationship in vivo. *J Appl Physiol*. 1989;67:1560-8.
- Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest*. 2009;135:391-400.
- Jiang JR, Tsai TH, Jerng JS, Yu CJ, Wu HD, Yang PC. Ultrasonographic evaluation of liver/spleen movements and extubation outcome. *Chest*. 2004;126:179-85.
- Kim WY, Suh HJ, Hong SB, Koh Y, Lim CM. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 2011;39:2627-30.
- Cohn D, Benditt JO, Eveloff S, McCool FD. Diaphragm thickening during inspiration. *J Appl Physiol*. 1997;83:291-6.
- Ueki J, De Bruin PF, Pride NB. In vivo assessment of diaphragm contraction by ultrasound in normal subjects. *Thorax*. 1995;50:1157-61.
- DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014;69:423-7.
- Lichtenstein D, Mezière A. The BLUE Protocol: Diagnosis of Acute Respiratory Failure Relevance of Lung. *Chest*. 2008;134:117-25.
- Lichtenstein D, Karakitsos D. Integrating lung ultrasound in the hemodynamic evaluation of acute circulatory failure (the fluid administration limited by lung sonography protocol). *J Crit Care*. 2012;27:533.e11-9.
- Bouhemad B, Liu ZH, Arbelot C, et al. Ultrasound assessment of antibiotic induced pulmonary re-aeration in ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med*. 2010;38:84-92.
- Lichtenstein DA. Ultrasound in the management of thoracic disease. *Crit Care Med*. 2007;35:S250-61.
- Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Roubey JJ. Bedside Ultrasound Assessment of Positive End-Expiratory Pressure-induced Lung Recruitment. *Am J Respir Crit Care Med*. 2011;183:341-7.
- Soummer A, Perbet S, Brisson H, et al. Ultrasound assessment of lung aeration loss during a successful weaning trial predicts postextubation distress. *Crit Care Med*. 2012;40:2064-72.