

Electroestimulación diafragmática en el paciente con VMI.

**ELECTROESTIMULACIÓN DIAFRAGMÁTICA EN EL PACIENTE CON DIFÍCIL
WEANING DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA INVASIVA. REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA.**



IBEROAMERICANA
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA

P.J. No. 0428 del 28 de Enero 1982 - MEN | VIGILADA MINEDUCACIÓN

AUTORES

BASTO ACUÑA ADRIANA KATHERINE

SANABRIA RONCANCIO CAMILA ANDREA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA

FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD

PROGRAMA DE FISIOTERAPIA ESPECIALIZACIÓN CUIDADO CRÍTICO

BOGOTA D.C

AGOSTO 2020

Electroestimulación diafragmática en el paciente con VMI.

**ELECTROESTIMULACIÓN DIAFRAGMÁTICA EN EL PACIENTE CON DIFÍCIL
WEANING DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA INVASIVA. REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA.**



IBEROAMERICANA
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA

P.J. No. 0428 del 28 de Enero 1982 - MEN | VIGILADA MINEDUCACIÓN

AUTORES

BASTO ACUÑA ADRIANA KATHERINE

SANABRIA RONCANCIO CAMILA ANDREA

DOCENTE ASESOR

GARAY CONTRERAS SANDRA MILENA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA

FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD

PROGRAMA DE FISIOTERAPIA ESPECIALIZACIÓN CUIDADO CRÍTICO

BOGOTA D.C

AGOSTO 2020

| | |
|--|--------------------------------------|
| Tabla de contenido | |
| Índice de tablas | ¡Error! Marcador no definido. |
| Introducción | 5 |
| Capítulo 1. Descripción general del proyecto | 9 |
| 1.1 Problema de investigación | 9 |
| Árbol de problemas | 12 |
| Pregunta de investigación | 12 |
| 1.2 Objetivos | 13 |
| 1.2.1 Objetivo general | 13 |
| 1.2.1.1 Objetivos específicos | 13 |
| 1.3 Justificación | 13 |
| Capítulo 2. Marco de referencia | 16 |
| Marco conceptual | 16 |
| Capítulo 3. Marco metodológico | 21 |
| Metodología | 21 |
| 3.1 Tipo de estudio | 22 |
| 3.2 Método | 22 |
| 3.3 Ecuación | 22 |
| 3.4 Población | 22 |
| 3.5 Análisis de datos | 24 |
| 3.6 Consideraciones éticas | 25 |
| Capítulo 4. Análisis de resultados | 25 |
| Capítulo 5. Discusión | 35 |
| Capítulo 6. Conclusiones | 41 |
| Recomendaciones | 42 |
| Anexos | 51 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Árbol de problemas | 12 |
| Figura 2. Fases de la investigación | 24 |
| Figura 3. Representación flujograma de selección de artículos | 26 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Artículos sobre electroestimulación diafragmática en pacientes con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva: modalidad de electroestimulación invasiva. | 28 |
| Tabla 2. Artículos sobre electroestimulación diafragmática en pacientes con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva: modalidad de electroestimulación no invasiva. | 32 |

Índice de anexos

| | |
|--|----|
| Anexo A. Matriz de artículos 1 | 51 |
| Anexo B. Matriz de artículos 2 | 51 |
| Anexo C. Continuación de matriz de artículos 2 | 51 |
| Anexo D. Matriz de artículos 3 | 52 |
| Anexo E. Continuación de matriz de artículos 3 | 52 |

Introducción

El sistema respiratorio y la función pulmonar de los seres humanos implica que un volumen de aire sea movilizado, a través de un sistema de distribución, dado por: la ventilación difusión, transporte, alimentación celular y recolección, hacia y desde el área que permite el intercambio gaseoso. Los músculos respiratorios son esenciales para generar parte de la activación mecánica del sistema más específicamente en la ventilación. Para lograr desplazar el volumen de aire, estos músculos se contraen intermitentemente modificando la presión, forma y volumen del tórax. El diafragma es el musculo respiratorio principal, aunque para que su función sea óptima requiere también de la participación coordinada y secuencial de otros músculos. Tanto en situaciones patológicas como fisiológicas extremas pueden deteriorar la actividad contráctil, bien sea por inducir fatiga (alteración permanente) o debilidad (alteración reversible) del diafragma, o deterioro de su efectividad mecánica. Todas estas situaciones pueden acarrear insuficiencia ventilatoria, pudiendo ser secundario a alteraciones de cualquier nivel, desde el sistema nervioso central hasta la propia célula muscular (Giraldo Estrada, 2008).

La mayoría de los pacientes que padecen una enfermedad crítica, una de las consecuencias que se puede generar es la debilidad muscular, la cual representa un problema frecuente, particularmente en aquellos que han requerido soporte ventilatorio durante periodos prolongados, de hecho, la fuerza de los músculos respiratorios en estos pacientes es del 30% del valor normal, por lo tanto esta condición predispone a la presencia de fatiga e insuficiencia ventilatoria (Hernández et al., 2017).

La dificultad en el destete de la ventilación mecánica (VM) también llamado weaning constituye un problema muy importante, pues incrementa complicaciones tales como infecciones nosocomiales y/o trauma de la vía aérea, entre otras. Esta situación, además de llevar a un deterioro significativo de la calidad de vida, genera un gasto de hasta el 40% de los recursos de la UCI. Es probable que la disfunción del diafragma, sea una pieza clave dentro de los mecanismos fisiopatológicos de la dificultad del weaning de la

VM. La movilidad del mismo disminuye cuando se utiliza VM, favoreciendo el inicio temprano de su ya nombrada disfunción, esta se potencia en la medida que se suman otros factores, tales como edad avanzada, larga duración de la VM, modo ventilatorio controlado, alteraciones nutricionales, sepsis y uso de algunos medicamentos como glucocorticoides y bloqueadores neuromusculares (BNM). Cada vez se conocen mejor los mecanismos fisiopatológicos que permiten relacionar estos factores con la disfunción muscular respiratoria, y está, a su vez, con la dificultad para retirar la VM. El diafragma es una estructura músculo-aponeurótica que separa las cavidades pleural y peritoneal y provee la principal fuerza mecánica a la ventilación. Del grupo de músculos respiratorios, este es el que mayor participación tiene en lograr el retiro de la VM; sin embargo, la falta de integridad de este en cuanto a su trofismo, nutrición y conducción puede convertirse en el mayor de los problemas para el weaning (Ruiz, Sosa, Chávez, Sandia, Hernández, 2017).

Por otro lado, la duración y modo de ventilación mecánica teniendo en cuenta la evolución de los pacientes que ingresan en la UCI, ha reportado que el 30% requirió soporte con VM cuya duración media fue de 5 a 8 días y el modo más utilizado fue el asisto-controlado (60%). Parece ser que, además de la duración de la VM, el modo ventilatorio es determinante en la aparición de la disfunción muscular diafragmática. Algunos factores del individuo sumados a la VM generan mayor riesgo en los pacientes, entre estos factores están la edad, el estado nutricional, patologías de base y uso de medicamentos (Díaz, Ospina y Salazar, 2014).

Con respecto a la edad, la disfunción de los músculos respiratorios ha sido demostrada mediante la disminución de la fuerza de estos con la caída de la presión inspiratoria máxima (PIM) de 0,8 a 2,7 cm de agua cada año en edades entre 65 y 85 años (Enright, Kronmal, Manolio, Schenker y Hyatt, 1994) y la caída de un 25% de la presión transdiafragmática en adultos entre 65 a 75 años. Un mecanismo que explica estos cambios es el efecto acumulativo de los radicales activos de oxígeno, que puede desencadenar procesos proteolíticos. Se ha sugerido también que, al progresar la edad,

hay una remodelación de las fibras musculares en la que las fibras rápidas de miosina son sustituidas por isoformas de tipo lento (Díaz et al., 2014).

Con relación al estado nutricional y metabólico, entre el 30 y el 60% de los pacientes de la UCI tienen o tendrán algún grado de desnutrición, debido a las alteraciones metabólicas que conducen a un mayor gasto energético, llegando a un 50 a 60 kcal / kg / día después de la segunda semana de ingreso a la UCI (Uehara, Plank, y Hill, 1999). Hay un estado hipermetabólico que se produce por un incremento de hormonas catabólicas (glucagón, adrenalina y cortisol) como de citoquinas, pero también, por la inhibición de hormonas anabólicas como la insulina y la testosterona. La capacidad disminuida en la utilización de estos sustratos como fuentes de energía conduce a una marcada proteólisis y, por lo tanto, a la disminución de la masa muscular, incremento de las infecciones severas, fallo orgánico múltiple y a la muerte, sobre todo en pacientes críticos quirúrgicos. Por otro lado, la hiperglucemia produce estrés oxidativo, que ha sido asociado a la pérdida y a la atrofia de las fibras nerviosas, alterando la neurotransmisión muscular que favorece el almacenamiento de los lípidos en forma de triglicéridos y lipoproteínas de baja densidad, la permanencia en este estado induce a la disminución tanto de la masa como de la fuerza muscular (Van den Berghe et al, 2001).

Los pacientes en la UCI que se encuentran sometidos a VM pueden presentar diferentes comorbilidades, las principales causas de ingreso son: sepsis, diabetes mellitus, hipertensión e infarto agudo de miocardio. Estas enfermedades además de la variable que lo llevó al requerimiento de VM pueden sumar a una disfunción muscular respiratoria a través de mecanismos mediados por alteraciones en el metabolismo de las proteínas. Por ejemplo, el síndrome de respuesta inflamatoria sistémica de la sepsis, aumenta las citoquinas proinflamatorias (TNF- α , IL-6, IL-1) y los radicales libres, que en últimas generan cambios inducidos en el músculo esquelético. (Callahan, Supinski, Callahan, y Supinski, 2009)

Sumado a esto y no menos importante los tratamientos farmacológicos como los glucocorticoides (GC) usados en patologías como: sepsis, lesión pulmonar aguda

(SDRA) y en el shock vasodilatador refractario, han sido asociados a trastornos neuromusculares que producen disfunción muscular periférica y respiratoria (Díaz et al., 2014). En pacientes con VM se observó que estos medicamentos potencian las secuelas metabólicas y neuromusculares de la enfermedad crítica con mayores requerimientos de diuréticos, insulina, destete prolongado de la VM, necesidad de traqueotomía y alta en un centro de atención (Rady, Johnson, Patel, Larson y Helmers, 2006). De igual manera los Bloqueadores neuromusculares (BNM) son sustancias inicialmente naturales, hoy sintéticas, capaces de producir parálisis muscular ya que actúan en la unión neuromuscular, bloqueando la transmisión del impulso nervioso y por ende la contracción muscular (Naguib, Lien y Meistelman, 2016). Estos tienen como objetivo: proveer buenas condiciones de intubación, proporcionar parálisis muscular en cirugías y mejorar la sincronía de los pacientes en VM para mantener los parámetros ventilatorios altos en aquellos que lo necesiten. Los BNM se dividen en despolarizantes y no-despolarizantes. En humanos se ha reportado que los BNM no despolarizantes no producen debilidad adquirida en la UCI al compararlos con placebo. Sin embargo, en algunos artículos se reporta la presencia de complicaciones respiratorias (desaturación prolongada, $\text{SatO}_2 < 90\%$) que requieren intubación (Díaz et al., 2014). El uso prolongado de dosis altas de los BMN concomitante con esteroides y en presencia de una inmovilización prolongada favorece la debilidad muscular en el paciente crítico y en algunos casos la miopatía aguda necrosante, en esta miopatía hay debilidad generalizada, que afecta la musculatura periférica y la respiratoria, es de recuperación lenta y deja secuelas (Díaz et al., 2014).

Los pulmones pierden su retracción elástica y el diafragma tiene una desventaja mecánica, provocando cambios en la forma y la geometría de la pared torácica, lo que conduce a una reducción crónica de la zona de posición diafragmática con descenso y horizontalidad anormal y menos excursión vertical durante la inspiración, cambiando la estructura del diafragma, además de aumentar la cantidad de fibras tipo I, disminución en las fibras tipo II y aumento en la capacidad oxidativa de todas las fibras, sin embargo, insuficiente para restaurar la capacidad de generar resistencia a niveles normales (Martinelli et al., 2016). La electroestimulación genera mecanismos celulares que tienen

inmediaciones en la membrana plasmática y que generan cambios en los potenciales de membrana de las células excitables. Al generar un umbral directo ya sea sobre fibra muscular (sarcómero) o el nervio, el musculo inervado responde con una contracción al estímulo eléctrico en repuesta sigue la ley de todo o nada. Estos efectos fisiológicos alcanzados promueven la activación muscular (Albornoz, Maya y Marhuenda, 2016), imitando las condiciones fisiológicas de la contracción voluntaria, ayudando a que el músculo se contraiga con mayor intensidad y fuerza (santamaria, Damian y pacheco Soto, 2010). Para la consecución de estos resultados se considera importante seleccionar los parámetros de la corriente, método a utilizar, y adaptarlos a las características anatómo fisiológicas del músculo a estimular.

Una de las problemáticas en el paciente de cuidado intensivo es la aparición de la debilidad muscular, tanto de grupos anti gravitatorios como respiratorios, que se comprometen por el uso prolongado de la ventilación mecánica llevando a un difícil weaning.

La evidencia literaria que existe sobre la aplicación de electroestimulación diafragmática se ha dirigido a una aplicación general sin discriminar los pacientes de difícil weaning y los parámetros requeridos. Por lo tanto el propósito de este estudio es recopilar y sistematizar la información de la literatura sobre la electroestimulación del músculo diafragmático con disfunción ventilatoria, caracterizando las modalidades de las que se dispone y los parámetros de programación que pueden contribuir a un mejor desempeño muscular y como estas podrían promover el destete de la ventilación mecánica invasiva de forma efectiva.

Capítulo 1. Descripción general del proyecto

1.1 Problema de investigación

Electroestimulación diafragmática en el paciente con VMI.

La unidad de cuidado intensivo tiene como fin brindar una atención integral, de forma constante a personas en condiciones críticas, supliendo sus necesidades básicas y fisiológicas. Un alto porcentaje de los pacientes que ingresan están sometidos a una ventilación mecánica invasiva (VMI) debido a su patología de base (Sanchez, Andrade, y Celis, 2010). Esta intervención anti fisiológica deja a los pacientes expuestos a que sus músculos respiratorios se pongan en reposo, siendo este un factor principal, para generar difícil weaning. Se ha observado que tanto las fibras tipo I y las fibras tipo II del diafragma disminuyen su diámetro, así como la capacidad de generar fuerza y resistencia a la fatiga (Valenzuela, et al., 2014). Evidenciándose una disfunción contráctil dentro de las primeras 24 horas, debido al mínimo esfuerzo inspiratorio, considerándose una complicación de inicio temprano. Esta condición ha sido denominada disfunción diafragmática inducida por VM afectando hasta el 65 % de los pacientes ventilados lo cual es clínicamente significativo (Dot, Pérez, Samper y Masclans, 2017).

Según la literatura el 40% de los pacientes sometidos a la ventilación presentan dificultades durante el destete, lo cual genera un retraso en el weaning aumentando la estadía en UCI, costos en salud y peores pronósticos, que en últimas pueden llevar a aumentar la mortalidad de los pacientes en un 12,1 % en comparación a los pacientes de fácil weaning (Peñuelas, et al. 2011). Sin embargo, el soporte ventilatorio mecánico debe ser interrumpido cuando la causa de falla respiratoria se encuentre resuelta y se encuentre con estabilidad en su patología de base pues existe evidencia que determina que un retraso en el destete ventilatorio, llevará a que incremente el tiempo de ventilación mecánica, aumentando el riesgo de complicaciones y los costos intrahospitalarios (Dot et al. 2017).

El weaning debe ser un proceso gradual del nivel de soporte ventilatorio buscando que el paciente asuma su proceso de ventilación espontánea efectiva y tenga respuesta hemodinámica mente estable. Sin embargo, cuando el soporte ventilatorio se logra discontinuar, aproximadamente el 25% de los pacientes presentan problemas respiratorios, requiriendo que la ventilación mecánica sea restablecida. Además, del total de pacientes que se logra extubar, alrededor del 10 al 20% requieren ser reintubados

(Castro, Castro y vera, 2008). La Asociación Nacional para la Dirección Médica del Cuidado Respiratorio (NAMDRRC por sus siglas en inglés) desarrolló un consenso en 2004, en el cual se determinaron los factores asociados con dependencia a la VM, entre los que se incluyen: características propias de la enfermedad subyacente (comorbilidades, severidad de la enfermedad, falla orgánica no pulmonar, estado nutricional), factores mecánicos (aumento del trabajo respiratorio, disminución de la capacidad muscular respiratoria, desequilibrio de la relación entre el trabajo respiratorio y la capacidad muscular, obstrucción de la vía aérea superior), iatrogenia (falla en el reconocimiento errores médicos), complicaciones del cuidado intrahospitalario de larga data (neumonía recurrente, infección, úlceras por stress, trombosis venosa profunda) y factores psicológicos (sedación, delirium, ansiedad, depresión) (MacIntyre, et al. 2005).

Hablar de alternativas para el retiro de la ventilación mecánica sigue siendo prioritario una vez que se ha resuelto el problema que llevó a su uso. Para esto, se han estudiado ampliamente múltiples acciones. La rehabilitación siempre ha sido parte fundamental de la recuperación en el paciente crítico ya que sufre gran compromiso de diferentes sistemas como el muscular, respiratorio y neurológico (Gómez Cortes y Bernal Ramírez, 2013).

La estimulación diafragmática eléctrica, se utiliza con el propósito de reentrenar y reclutar la mayor cantidad de fibras musculares sanas, generar contracción muscular específica y por lo tanto, promover el fortalecimiento muscular y prevenir la hipotrofia muscular, especialmente en pacientes con trastornos neuromusculares y destete ventilatorio; en este último, incluso puede mejorar la disfunción contráctil, además de estar indicado para inducir la respiración (Martinelli et al., 2016).

En la figura 1 se hace representación del árbol de problemas donde se identifican las problemáticas abordadas y sus diferentes resultados.

Árbol de problemas

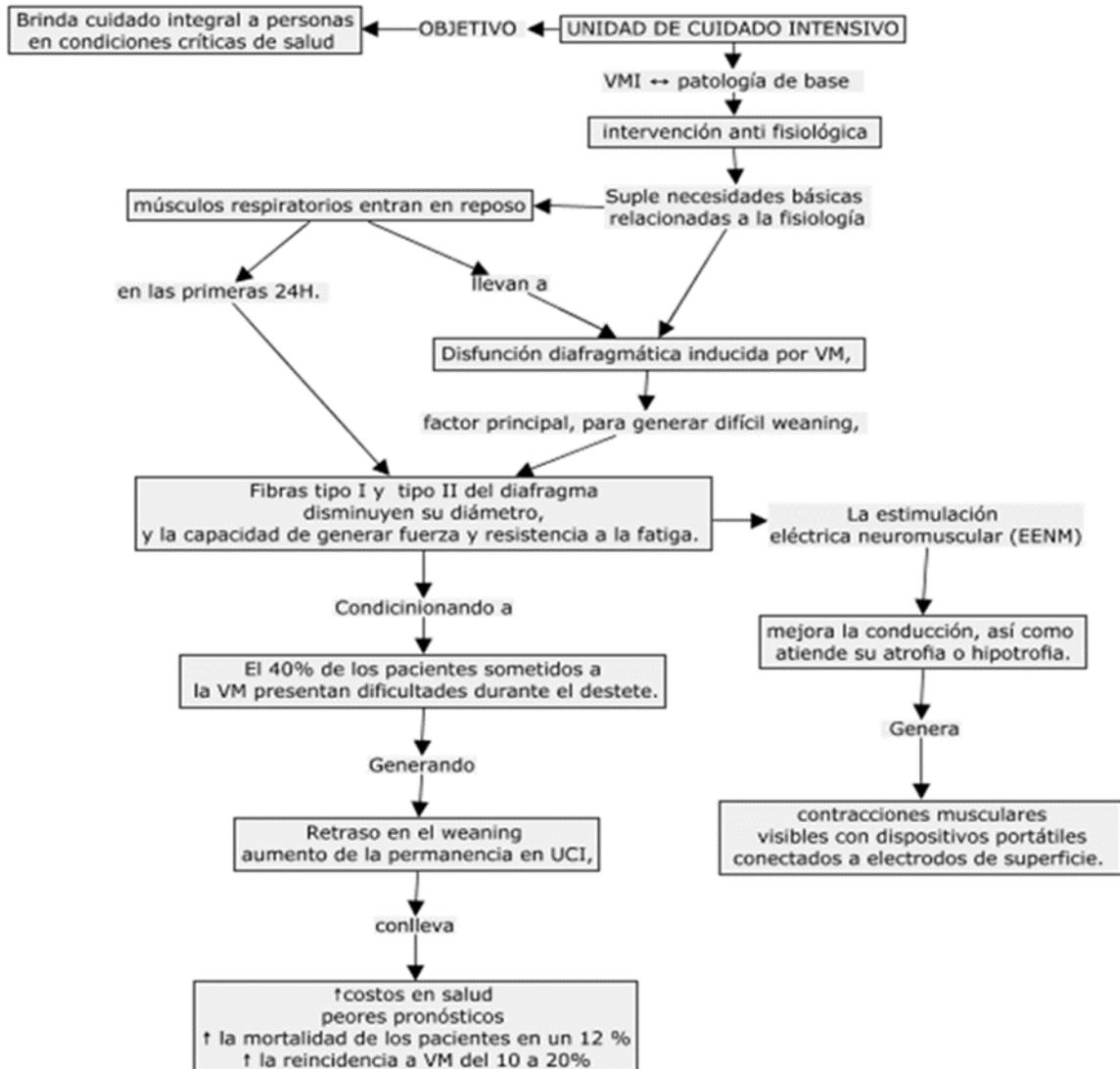


Figura 1. Árbol de problemas

Elaboración propia

Pregunta de investigación

Por esta razón se quiere indagar por medio de una revisión literaria ¿Qué parámetros se han implementado en la electroestimulación diafragmática en pacientes con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Discriminar los parámetros del uso de la electroestimulación diafragmática en pacientes con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva.

1.2.1.1 Objetivos específicos

1. Identificar la literatura científica existente sobre electroestimulación diafragmática en el paciente con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva, en el periodo 2009-2019, a través de la revisión en las bases de datos.
2. Describir las variables que explican el uso de la electroestimulación diafragmática en el paciente con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva, a partir de la clasificación de la información encontrada.
3. Analizar los parámetros que sustentan el uso de la electroestimulación diafragmática en el paciente con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva, desde las variables descritas en la búsqueda.

1.3 Justificación

La debilidad muscular asociada al uso de la ventilación mecánica prolongada está mediada por múltiples factores, los cuales alteran la estructura y función de los músculos respiratorios, por lo tanto, la atrofia muscular ocurre precozmente por la disminución de la síntesis de proteínas musculares. Recientemente, una citoquina inducida por el estrés orgánico, el factor de crecimiento y diferenciación (GDF-15) se identificó como un mediador de atrofia muscular durante la enfermedad crítica (Bloch. 2015). Otros factores que podrían contribuir al decremento de la función muscular, son la falta de excitabilidad de la membrana muscular, que conlleva a la disfunción de los canales de sodio y afección de la homeostasis de calcio intracelular, alterando la contracción muscular (Forcillo et al., 2018).

La atrofia muscular por desuso es una condición que, en ausencia de la enfermedad, puede producirse debido a la inmovilidad, sedentarismo y/o envejecimiento. Sus manifestaciones incluyen la disminución en el diámetro de las fibras musculares y en el contenido de proteínas musculares (desbalance síntesis/degradación), así como la disminución en la capacidad de generar fuerza y resistencia a la fatiga. Debido a la dificultad para establecer los mecanismos responsables de esta complicación en humanos (Valenzuela, et al., 2014). Los estudios en animales han permitido aclarar este fenómeno, identificándose que la atrofia del diafragma durante la VM, ocurre tempranamente, previo al desarrollo de atrofia de musculatura periférica, también inactiva durante la ventilación (Powers, Kavazis y McClung, 2007). De hecho, los niveles de atrofia presente en el diafragma al cabo de 12 h son comparables a los observados en el músculo sóleo a las 96 h de descarga (Valenzuela, et al., 2014).

La programación de los parámetros de la ventilación mecánica convencional, también pudieran tener relevancia, donde la presión positiva al final de la espiración (PEEP) podría acelerar el proceso de atrofia, ya que posicionaría al diafragma inactivo en situación de acortamiento. Este fenómeno es concordante con estudios que indican un incremento en los niveles de atrofia en músculos periféricos inmovilizados en posición de acortamiento.

Algunos efectos sobre la mecanotransducción del músculo diafragma también lo afectan, las células son capaces de detectar estímulos mecánicos, transformándolos en señales bioquímicas, proceso comúnmente conocido como mecanotransducción, si el estímulo mecánico es excesivo, la mecanotransducción puede desencadenar una respuesta nociva. Esta se manifiesta a través de una disminución del contenido muscular de proteínas, debido a una reducción de su síntesis o un aumento de su degradación (proteólisis). Diferentes estudios reportaron una reducción en la síntesis de proteínas musculares mixtas y de las cadenas pesadas de miosina tras seis horas de ventilación, observando una reducción progresiva en la síntesis proteica, que antecede al aumento de su degradación. Las vías moleculares relacionadas con la proteólisis han sido más profundamente estudiadas, observándose que los sistemas proteolíticos intracelulares calpaína, caspasa y ubiquitinaproteosoma incrementan su actividad diafragmática durante la ventilación mecánica (Valenzuela, et al., 2014).

De acuerdo a lo anterior se considera que el uso de la electroestimulación diafragmática podría beneficiar el fortalecimiento muscular ya que produce la excitación del sarcolema, generando la activación y contracción, aumentando la fuerza del músculo diafragmático (Forcillo et al., 2018). Es por esto que en los últimos años se han venido realizado estudios sobre los beneficios de la electroestimulación diafragmática en pacientes con difícil weaning de la VM.

Con base al conocimiento actual, tras lograr la estabilización del paciente se debe considerar la utilización temprana de modalidades ventilatorias parciales, además el empleo de estrategias de destete ventilatorio protocolizados, que permitan reducir al mínimo, el tiempo bajo de asistencia ventilatoria mecánica. Complementariamente, estrategias de fisioterapia que disminuyan el daño progresivo del paciente (Valenzuela, et al., 2014).

Según lo anterior surge la necesidad de abordar la temática sobre la electroestimulación diafragmática en pacientes críticamente enfermos con difícil weaning

de la VM invasiva, describiendo cuáles fueron los parámetros utilizados y la prescripción que se realizó en cada artículo encontrado en las bases de datos utilizadas.

Capítulo 2. Marco de referencia

Marco conceptual

La ventilación mecánica es un tratamiento de soporte vital, en el que utilizando una máquina que suministra un soporte ventilatorio y oxigenatorio, facilita el intercambio gaseoso y el trabajo respiratorio de los pacientes con insuficiencia respiratoria. Se ha utilizado a lo largo de la historia como una herramienta básica para mejorar el pronóstico y disminuir mortalidad (Gutierrez Muñoz, 2011). En este tratamiento se pueden distinguir tres grandes modalidades: controlada, asistida/ controlada o asistida (Net y Benito, 2000). Tiene como fin sustituir de forma artificial la función del sistema respiratorio cuando fracasa. La diferencia fundamental entre la respiración y la VM radica en la inversión de la presión intratorácica durante la fase inspiratoria, la inspiración espontánea se produce por generación de una presión intratorácica subatmosférica como consecuencia de músculos respiratorios (diafragma) que provoca la expansión de la cavidad torácica; La VM genera una presión positiva a las vías aéreas. En ambas situaciones ya sea por descenso de la presión intrapleurales o por ascenso de la presión alveolar se produce un incremento de la presión transpulmonar originando cambios de volumen (Ramos y Benito, 2012).

Entre los objetivos de la VM encontramos, dar soporte o regular el intercambio gaseoso pulmonar, aumentar el volumen pulmonar, reducir o manipular el trabajo respiratorio, para poner en reposo los músculos respiratorios (Gutierrez Muñoz, 2011), siendo este último generador de un difícil weaning, creando una alteración en particular del músculo diafragmático el cual se ha diferenciado y demostrado en los últimos años,

al menos el 40% de los pacientes sometidos a la VM presentan dificultades durante el weaning ventilatorio (Dot et al. 2017).

De igual manera la VM somete al pulmón a fuerzas que alteran su estructura y sus propiedades elásticas conllevando a la aparición de lesiones pulmonares como lo son: barotrauma, volutrauma, atelectrauma y biotrauma (Belda y Llorens, 2009).

El músculo diafragma es un músculo impar, ancho, laminar y tendinoso que separa la cavidad torácica de la abdominal, este constituye por sí solo la región diafragmática (Muñoz y Vásquez, 2017). Al compararlo con otros músculos las fibras del diafragma tienen una mayor tolerancia ante la fatiga, mayor flujo sanguíneo, mayor capacidad oxidativa y mayor densidad capilar (Orozco y Gea, 1997). Consta de fibras musculares que se insertan en torno al estrecho superior del tórax las cuales convergen en un tendón central o cordiforme del diafragma, la porción lumbar del diafragma surge en parte de los pilares del diafragma que se insertan en las caras anterolaterales de los cuerpos de las vértebras lumbares: el pilar derecho, más grande, en los cuerpos y discos participantes de L1 a L3 y el pilar izquierdo en los cuerpos y discos de L1 y L2, la aorta entra en el abdomen por detrás de los dos pilares cuando estos se entrecruzan y por delante del cuerpo de T12. En este punto, los dos pilares se conectan mediante una banda tendinosa llamada ligamento arqueado mediano. Las fibras del pilar derecho se extienden por lo general hacia la izquierda y se separan para rodear el esófago antes de insertarse en el tendón central. Las fibras del pilar izquierdo tal vez pasen también por detrás del hiato esofágico, separándolo del hiato aórtico, cerca del hiato esofágico, el ligamento suspensorio del duodeno, surge el pilar derecho y se inserta en la porción terminal del duodeno. El resto de la parte lumbar del diafragma surge de los ligamentos arqueados medial y lateral que se hallan inmediatamente laterales a los pilares del diafragma. El ligamento arqueado medial es un espesamiento de la fascia que recubre el músculo psoas mayor y se extiende desde el lateral del cuerpo de L2 hasta la apófisis transversa de L1. El ligamento arqueado lateral es un espesamiento de la hoja anterior de la fascia toracolumbar que recubre el músculo cuadrado lumbar y se extiende desde la apófisis transversa de L1 hasta la punta de la XII costilla. La porción costal del diafragma de la

superficie interna de las seis costillas inferiores y sus cartílagos costales surge lateral a los ligamentos arqueados y se interdigita con el músculo transverso del abdomen para insertarse en la parte antero lateral del tendón central. La parte esternal más anterior del diafragma surge mediante dos cintillas de la superficie posterior de la apófisis xifoides del esternón. Todas las fibras musculares trazan un arco ascendente y medial hacia su inserción en el tendón central que se halla situado hacia la parte anterior del tórax, por consiguiente, las fibras anteriores cortas y las fibras posteriores largas le confieren el aspecto de una letra j invertida y vista de lado, cuando se observa por delante, es posible ver sus dos cúpulas pequeñas situadas a ambos lados del tendón central, la de la derecha a nivel ligeramente superior que la de la izquierda, en la parte central se halla en frente de la articulación xifoesternal. La superficie superior del diafragma está cubierta por la pleura parietal, que recubre la cavidad torácica, el pericardio fibroso se halla firmemente inserto en el tendón central y la capa parietal del peritoneo tapiza la superficie inferior del diafragma (Ruiz Vargas, 2002). El diafragma se encuentra irrigado por, las arterias pericardiofrénicas, musculofrénicas y frénica superior (Tapias, Tapias y Tapias 2009). La acción motora proviene de los nervios frénicos: el nervio frénico derecho, con actividad principalmente motora, entra directamente al tendón central, lateral al orificio de la vena cava, el nervio frénico izquierdo entra lateral al borde izquierdo del corazón a la parte muscular del diafragma y se extiende por el hiato esofágico hasta el peritoneo, y la sensitiva de seis o siete nervios intercostales inferiores que dan inervación a la periferia del músculo (Hernández, 2013).

Desde el punto de vista mecánico, su contracción produce una presión negativa que incrementa la dimensión céfalo-caudal de la caja torácica, generando una presión transdiafragmática (Pdi) (Valenzuela, et al., 2014). Esta presión se transmite a la zona de aposición y por consiguiente se expanden las últimas costillas. La orientación craneal de las fibras diafragmáticas que se insertan en dichas costillas las hace describir en su desplazamiento un movimiento de torsión suave con rotación hacia fuera, debido a esto la cúpula del diafragma desciende lo justo para desempeñar su función eficazmente (Arcas patricio, 2006). Los estudios in vitro han confirmado que, tanto en contracción aislada como tetánica, las fibras diafragmáticas experimentan una reducción de su fuerza

isométrica máxima en un 30-50%, lo cual genera a largo plazo difícil weaning de la VM (Valenzuela, et al., 2014).

Con la VM aparecen cambios en la banda z esto es seguido por aparición de regeneración de las fibras musculares sin signos de inflamación, si la VM se prolonga aumentan las vacuolas lipídicas citoplasmáticas, se genera una reducción en la síntesis de proteínas y un aumento en la proteólisis la cual puede caer en un 30% después de sólo 6h de VM. Se producen cambios en la morfología mitocondrial que causan funcionamiento alterado y creación excesiva de especies reactivas de oxígeno, generando estrés oxidativo y por ende reduciendo el diámetro de la fibra muscular diafragmática (Dot et al. 2017).

Los efectos sobre la resistencia a la fatiga diafragmática son controversiales, pudiera ser un efecto tardío durante la VM. La relación fuerza-velocidad del diafragma, medida que cuantifica la velocidad máxima de acortamiento, tiene un comportamiento inesperado, experimenta un incremento tras 1 a 3 días de VMC, este incremento se interpreta como un mecanismo compensatorio para preservar la potencia del diafragma debido al déficit de fuerza (Valenzuela, et al., 2014). La inactividad diafragmática induce a una atrofia progresiva del músculo dependiente del tiempo, sin embargo, otros factores también afectan negativamente el músculo como lo son la sepsis, la falla multiorgánica y la situación proinflamatoria de estas enfermedades, reduciendo la síntesis de proteínas y aumentando la proteólisis lo que provoca a largo plazo una pérdida aguda de masa muscular (Dot et al. 2017).

La electroestimulación es una técnica que consiste en producir potenciales de acción, sobre las células excitables (nerviosas o musculares) a través de un impulso eléctrico, con el fin de lograr una contracción muscular involuntaria (Pombo, Rodríguez, Brunet y Requena, 2004).

Varios estudios muestran un reclutamiento principalmente de unidades motoras cercanas a los electrodos y que la EMS pudo activar zonas musculares profundas

posiblemente por la ubicación de los electrodos y la fisiología muscular propia de cada individuo (De la cámara y Pardos, 2016).

En esta técnica se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Corriente
- Tipo de onda: monofásica, polifásica y bifásica
- Ancho de impulso: es la duración de cada pulso de corriente y normalmente se expresa en microsegundos (μ s).
- Frecuencia: es el número de veces que se repite el impulso en un segundo y se expresa en hercios (Hz).
- Tiempo de contracción: es el tiempo durante el cual se mantienen los impulsos eléctricos a una determinada frecuencia y se expresa en segundos (s).
- Tiempo de reposo: Es el tiempo que transcurre entre cada dos contracciones consecutivas y se expresa en segundos (s)
- Numero de contracciones por sesión.
- Intensidad con la que se aplica la corriente: se marca en milivoltios (mV) o miliamperios (mA), esta se identifica con la altura de la onda.
- Zona de colocación de los electrodos: Lo más normal es utilizar electrodos bipolares (polo positivo y negativo) colocando uno de ellos sobre el punto motor del músculo a estimular
- Musculo estimulado
- Aparato utilizado
- Numero de sesiones de entrenamiento
- Frecuencia semanal (Herrero, García, Morante y García, 2006)

La repetición del estímulo con la electroestimulación, está dada por el tiempo de recuperación del diafragma, siendo aplicada de modo compatible con su fisiología. Entre sus efectos generales a nivel muscular, se encuentran: Fortalecimiento, cambios estructurales de la fibra muscular, aumento de la resistencia muscular, reeducación del control muscular, aumento o mantenimiento del rango de movimiento articular,

disminución del edema, mejora de la circulación y reducción de la espasticidad (Albornoz, Maya y Marhuenda, 2016). Existen 2 modalidades de electroestimulación respecto a su aplicación: modalidad no invasiva o poco invasiva que incluye la electroestimulación transcutánea (TENS) y la estimulación eléctrica neuromuscular (EENM), los cuales son aplicados con electrodos de superficie externos a la piel del paciente y por otro lado la modalidad invasiva que llega directamente a tejidos profundos que contraen directamente la musculatura (electroestimulación muscular) o contraerla indirectamente mediante la activación de las ramas terminales de los axones neurales (electroestimulación neuromuscular EMS) (Herrero et al., 2015).

Capítulo 3. Marco metodológico

Metodología

El enfoque cualitativo busca comprender los fenómenos utilizando la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación (Sampieri, Collado y Baptista, 2014).

El alcance descriptivo busca especificar las propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice (Gómez Marcelo, 2006).

Teniendo en cuenta lo anterior, para la presente investigación se realizó una revisión bibliográfica la cual tiene como propósito presentar una síntesis de las lecturas realizadas, pasando por tres grandes fases, la investigación documental, la lectura y registro de la información y la elaboración de un texto escrito, seguida de unas conclusiones o una discusión (Bernardo Peña, 2010).

3.1 Tipo de estudio

Se realizó una revisión bibliográfica la cual tiene como propósito presentar una síntesis de las lecturas realizadas, esta pasa por tres grandes fases, la investigación documental, la lectura y registro de la información, la elaboración de un texto escrito, seguida de unas conclusiones o una discusión (Bernardo Peña, 2010).

3.2 Método

Para el presente trabajo de investigación, se incluyeron artículos originales de texto completo que abarquen la electroestimulación en pacientes con difícil weaning de la ventilación mecánica, para ello se utilizaron diferentes bases de datos como: Medigraphic, EBSCO host, Pubmed, Elsevier y Scielo, utilizando términos DeCS y MeSH, los cuales en el idioma español se traducen como: destete, diafragma, estimulación eléctrica transcutánea del nervio, lo que se traduce en inglés como: weaning, diaphragm, transcutaneous Electric Nerve Stimulation, teniendo como resultado la ecuación de búsqueda: transcutaneous Electric Nerve Stimulation and diaphragm or weaning.

3.3 Ecuación

Transcutaneous Electric Nerve Stimulation **and** diaphragm **or** weaning

3.4 Población

Artículos publicados en las revistas Medigraphic, EBSCO host, Pubmed, Elsevier y Scielo entre los años 2009 a 2019 sobre electroestimulación diafragmática en pacientes con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva.

Criterios de inclusión

- Se tendrá en cuenta la disponibilidad a texto completo
- Artículos que se encuentren en las siguientes bases de datos Medigraphic, EBSCO host, Pubmed, Elsevier y Scielo
- Artículos con ventana de tiempo entre el 2009 al 2019
- Artículos en idioma español e inglés
- Artículos que cuenten con pacientes sometidos a ventilación mecánica invasiva, independientemente de su patología, edad y nivel de conciencia
- Artículos que abarquen los parámetros utilizados en la electroestimulación diafragmática

Criterios de exclusión

- Artículos que tengan plataforma de pago para poder acceder texto completo
- Que incluya estudios con animales.
- Artículos que en su título no contaran con la ecuación de búsqueda

3.5 Análisis de datos

Se plantearon 3 fases para el desarrollo de los objetivos descritos anteriormente, las cuales consistieron



Figura 2. Fases de la investigación

Elaboración propia

Fase 1 Identificación: Esta fase consistió en realizar una búsqueda por medio de una revisión bibliográfica en las bases de datos: Scielo, Medigraphic, Elsevier, EBSCO y Pubmed, los resultados arrojados se recopilaron por medio de una matriz de análisis (Anexo A), incluyendo en esta, ecuación de búsqueda, base de datos, idioma, título y el año, identificándose 1520 artículos, de estos 84 artículos fueron de la revista Scielo, 48 artículos de la revista Medigraphic, 568 artículos de la revista Elsevier, 66 artículos de la revista EBSCO host, y 754 artículos de la revista Pubmed.

Fase 2 Elegibilidad: En esta fase se realizó una segunda matriz (Anexo B y C), en la cual se realizó la lectura del resumen de cada artículo, revisando la temática tratada en estos, para esta matriz se tuvo en cuenta base de datos, título, tipo de estudio, país, autor, año, palabras clave, metodología, población y si contaban o no con parámetros utilizados en la electroestimulación diafragmática, los que contarán con estos parámetros se les incluyó nivel y grado de evidencia.

Fase 3 Inclusión: Los artículos que contaron con los parámetros de electroestimulación en pacientes con difícil weaning de la ventilación mecánica, se plasmaron en la matriz 3 (Anexo D y E), esta, está constituida por la base de datos, título, año, autor, país, tipo de estudio, palabras clave, metodología, parámetros utilizados, conclusiones, nivel y grado de evidencia para cada uno de los artículos, los cuales serán incluidos para los resultados de este estudio.

3.6 Consideraciones éticas

Resolución 8430 de 1993 donde se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, clasificándose como una investigación sin riesgo (salud) ya que no habrá participación de individuos, de igual manera se tendrá en cuenta el respeto a derechos de autor por medio de las referencias, citas y el uso de las normas APA, donde nos comprometemos a respetar los criterios de integridad como lo son la veracidad y la no manipulación de la información.

Capítulo 4. Análisis de resultados

En la fase 1 se identificaron 1520 artículos en las diferentes bases de datos descritas anteriormente, de estos se descartaron 1461 artículos debido a que no cumplían con el título y que algunos se encontraban repetidos, resultando un total de 59 artículos para la fase 2 de elegibilidad, en esta se descartaron 53 artículos por el resumen, la temática y debido a que algunos no contemplaban los parámetros utilizados en la electroestimulación, seleccionando 6 artículos para la fase 3 de inclusión, los cuales fueron presentados en el estudio. (Figura 3).

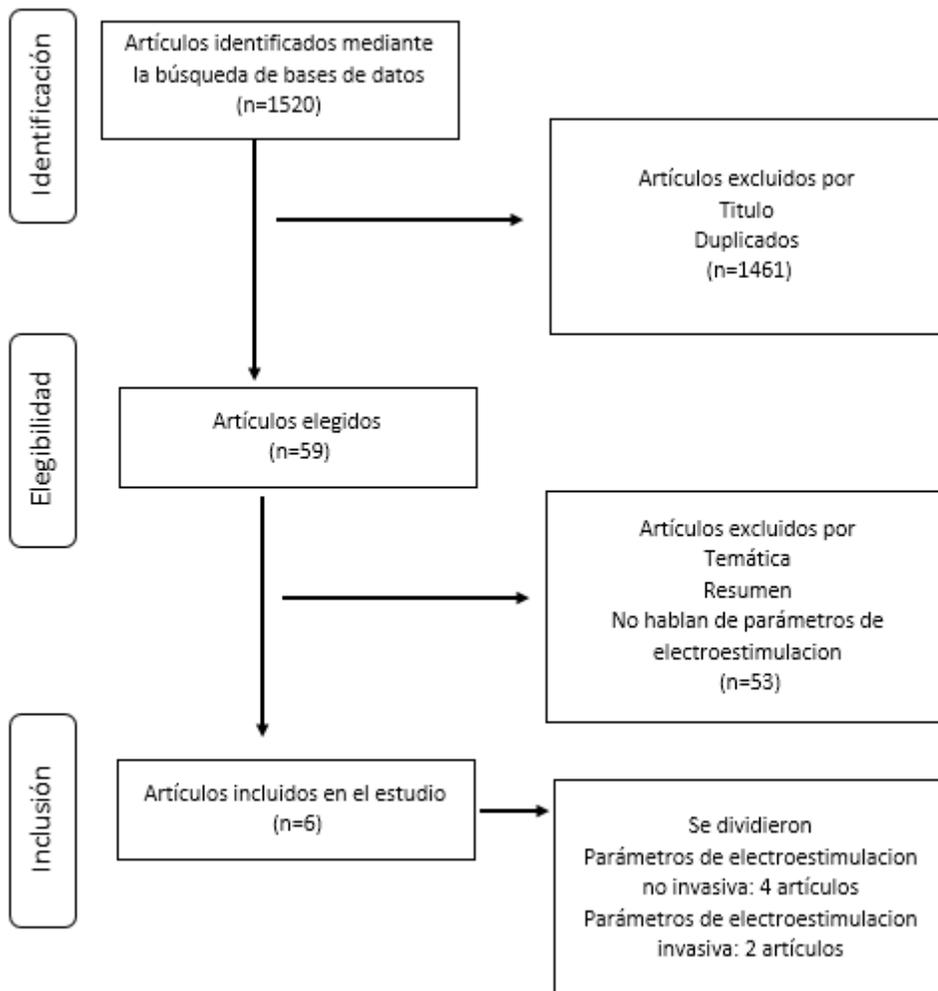


Figura 3. Representación flujograma de selección de artículos

Elaboración propia

Con base en la búsqueda realizada, se encontraron dos tipos de modalidades para la electroestimulación diafragmática, la primera de modalidad no invasiva y la segunda con modalidad invasiva que trabajan la electroestimulación diafragmática para el paciente con difícil weaning de la VM.

Electroestimulación diafragmática en modalidad invasiva

En los artículos que hacen referencia acerca de la electroestimulación diafragmática en modalidad invasiva se encontró el artículo *Diaphragm Pacing as a Rehabilitative Tool for Patients With Pompe Disease Who Are Ventilator-Dependent: Case Series*. En este artículo se presentan 3 pacientes con enfermedad de pompe los cuales desarrollaron paresia del diafragma que resultó en dependencia crónica de la ventilación mecánica, ellos recibieron entrenamiento de fuerza muscular respiratoria de 3 a 5 días por semana durante al menos 4 semanas antes de la implantación, luego cuando se realizó la implantación del sistema de estimulación de diafragma NeuRx RA / 4 el cual se colocó laparoscópicamente, el cirujano identificó el punto motor en cada hemidiafragma costal mediante una técnica de mapeo sistemático utilizando una sonda estimulante, cuando se identificó el punto motor, se aseguraron 2 electrodos de alambre aislados personalizados en cada hemidiafragma, se colocó un quinto electrodo (ánodo) por vía subcutánea, los electrodos se aseguraron a la pared abdominal, se externalizaron en el cuadrante superior derecho del abdomen y se montaron en un bloque conector de electrodos, el bloque conector se conectó al estimulador externo del marcapasos, que se programó para administrar pulsos de estímulo temporizados, se estableció la amplitud, la frecuencia y el ancho del pulso del estimulador externo inicial por debajo del umbral de dolor del paciente, los ajustes se reevaluaron al menos semanalmente durante los primeros 30 días y luego al menos mensualmente durante los primeros 90 días después de la implantación, la progresión de los ajustes generalmente incluía un aumento en la amplitud de la estimulación o el ancho del pulso, (20 - 200us) con cambios mínimos en la frecuencia de la estimulación (11 - 15Hz), por otro lado la duración de la estimulación del diafragma se incrementó sistemáticamente de 30 a 60 minutos, cada 1 o 2 días según lo tolerado, con el objetivo de mantener un ritmo continuo por 24 horas. Al mes se evidenció un aumento con respecto al volumen corriente logrando ganancias en la función respiratoria, además dos pacientes lograron ser destetados de la dependencia del ventilador a largo plazo y uno de ellos redujo la dependencia del ventilador (Smith, et al., 2016).

En un segundo artículo titulado *Temporary transvenous diaphragm pacing vs. standard of care for weaning from mechanical ventilation: study protocol for a randomized*

trial, se realizara una inserción percutánea del catéter LIVE® utilizando el abordaje subclavio izquierdo en la vena cava superior de la misma manera que se usa para una línea subclavia estándar. Los electrodos con catéteres proporcionan estimulación del nervio frénico izquierdo cuando ingresa al tórax posterior a la vena subclavia y estimulación del nervio frénico derecho al nivel de la unión atriocava, utilizando una intensidad de hasta 13.5 mA y una duración de 200–300 μ s; pueden administrarse con una frecuencia de 4 Hz para el procedimiento de mapeo y 15 Hz para la terapia de estimulación del diafragma. Las sesiones consistían en 4 series de 10 estimulaciones que se llevaran a cabo tres veces al día, en la mañana, en la tarde y en la noche durante 30 días (Evans et al., 2019).

Tabla 1. Artículos sobre electroestimulación diafragmática en pacientes con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva: modalidad de electroestimulación invasiva.

| Artículo | Tipo de estudio | Población | Nombre del estimulador neuromuscular | Grupo muscular | Parámetros | Resultados |
|---|-----------------|--|---|--|---|---|
| Diaphragm Pacing as a Rehabilitative Tool for Patients With Pompe Disease Who Are Ventilator-Dependent: Case Series | Serie de casos | 3 pacientes con enfermedad de pompe los cuales desarrollaron paresia del diafragma que resultó en dependencia crónica de la ventilación mecánica | Sistema de estimulación de diafragma NeuRx RA / 4 (Synapse Biomedical Inc, Oberlin, Ohio) se colocó por vía laparoscópica | 2 electrodos de alambre aislados personalizados en cada hemidiafragma, se colocó un quinto electrodo (ánodo) por vía subcutánea, los electrodos se aseguraron a la pared abdominal, se externalizaron en el cuadrante superior derecho del abdomen | Estimulación inicial fue de 30 minutos. Duración se incrementó sistemáticamente de 30 a 60 minutos, cada 1 o 2 días según tolerancia del paciente 5-8 mA Frecuencia: 11-15 Hz | Durante la respiración estimulada sin ventilación mecánica, los volúmenes corrientes aumentaron. 2 pacientes fueron destetados de la dependencia del ventilador, durante el día, y en la noche retornaban a la VM, durante los primeros 3 |

Electroestimulación diafragmática en el paciente con VMI.

| | | | | | | |
|---|--|--|--|---|---|--|
| <p>Temporari y transvenos diaphragm pacing vs. standard of care for weaning from mechanic al ventilation : study protocol for a randomiz ed trial</p> | <p>Prospect ivo, multicén trico, aleatoriz ado, controla do, abierto</p> | <p>88 pacientes adultos ventilados mecánicam ente, que han fallado al menos en dos ensayos de respiración espontánea durante al menos 7 días. (44 pacientes en cada grupo)</p> | <p>El sistema de estimulación temporal del diafragma transvenoso (TTVDPS, Lungpacer Medical Incorporated, Burnaby, BC, Canadá)</p> | <p>Estimulación del nervio frénico izquierdo cuando ingresa al tórax posterior a la vena subclavia y estimulación del nervio frénico derecho al nivel de la unión atriocava</p> | <p>Intensidad:13.5 Ma Duración de 200–300 μs Frecuencia de 4 Hz para el procedimiento de mapeo y 15 Hz para la terapia de estimulación del diafragma Sesiones: 4 series de 10 estimulaciones que se llevaron a cabo tres veces al día, en la mañana, en la tarde y en la noche durante 30 días</p> | <p>meses de estimulación , Un tercer paciente redujo la dependencia de la ventilación diurna, pero el destete se retrasó por el compromiso del patrón de tos. En todos los pacientes, la estimulación pareció facilitar la actividad espontánea de la unidad motora frénica durante respiración independient e sin ventilador o soporte de marcapasos Estudio en fase de aplicación.</p> |
|---|--|--|--|---|---|--|

Elaboración propia

Electroestimulación diafragmática en modalidad no invasiva

Para la modalidad no invasiva encontramos el artículo Abdominal Functional Electrical Stimulation to Assist Ventilator Weaning in Acute Tetraplegia: A Cohort Study el cual tuvo por objetivo investigar la viabilidad clínica de utilizar un programa de entrenamiento AFES para mejorar la función respiratoria y ayudar al destete del ventilador en la tetraplejia aguda, para esto hicieron un estudio con diez pacientes tetraplégicos entre enero de 2012 y noviembre de 2013, estos dependieron del ventilador durante un periodo mayor a 24 horas los cuales no tenían una actividad respiratoria espontánea, cada sujeto participó en un programa de ocho semanas, que incluyó sesiones de entrenamiento de AFES cinco veces por semana, en cuatro semanas alternas, las sesiones de entrenamiento de AFES se realizaron durante 20 minutos por día en la primera semana, 30 minutos por día en la tercera semana y 40 minutos por día en la quinta y séptima semana. Se utilizó un estimulador neuromuscular programable (Rehastim v1, Hasomed, Alemania), la estimulación se aplicó durante la exhalación a través de electrodos de superficie colocados sobre los puntos motores del recto abdominal y los músculos oblicuos externos en ambos lados del cuerpo, se aplicaron pulsos de estimulación controlados por corriente bifásica a una frecuencia de 30 Hz, intervalo de 30-105 mA para todos los participantes con una anchura de impulso de 100 μ s hasta una fuerte contracción visible de los músculos abdominales, el ancho de pulso se ajustó a lo largo de cada sesión de entrenamiento para dar cuenta de la fatiga muscular (100 - 500 μ s). En este estudio se pudo observar que el volumen corriente fue significativamente mayor con el entrenamiento AFES, además los pacientes que recibieron este entrenamiento fueron destetados de la ventilación mecánica en promedio 11 días más rápido que los otros dejando como conclusión que es una técnica factible para ayudar al destete de la ventilación mecánica en personas con tetraplejia aguda, además mejora la función respiratoria de esta población (McCaughey, Berry, McLean, Allan y Gollee, 2015).

Por otro lado el artículo *Effect of electrical muscle stimulation on prevention of ICU acquired muscle weakness and facilitating weaning from mechanical ventilation* tiene como objetivo evaluar el efecto de la estimulación muscular eléctrica en la prevención de la debilidad muscular adquirida en la unidad de cuidados intensivos y en facilitar el destete de la ventilación mecánica en pacientes críticos, los pacientes con un número impar fueron asignados al grupo estimulación eléctrica muscular (EMS) y los pacientes con un número par fueron asignados al grupo control, en el grupo de EMS, se implementó la estimulación eléctrica neuromuscular en los músculos cuádriceps de ambas extremidades inferiores a partir del segundo día de ventilación mecánica utilizando una sonda de puntero con el modelo (Acupunctoscopio electrónico digital), se realizó una vez al día durante una hora, incluidos 5 minutos para el calentamiento y 5 minutos para la recuperación durante 8 meses, el estimulador suministró impulsos simétricos bifásicos de 50 Hz, duración de pulso de 200 μ s, 15 s encendidos (incluido 1 s de tiempo de subida y 1 s de caída) a intensidades capaces de causar contracciones visibles (principalmente 100-150 MA), no se encontraron complicaciones significativas, mostró ser una técnica segura, barata y fácilmente aplicable, por otro lado la estimulación eléctrica muscular no pudo evitar la aparición de la debilidad muscular adquirida pero puede minimizar su grado, además hubo tendencia a un destete más fácil en el grupo de EMS versus el grupo control (Abu, Zaki, Mohammed, 2013).

Además en el artículo *Electric Muscle Stimulation for Weaning from Mechanical Ventilation in Elder Patients with Severe Sepsis and Acute Respiratory Failure e A Pilot Study*. 17 pacientes que requirieron ventilación mecánica por más de 72 horas los cuales recibieron (EENM) con un estimulador comercial (HELEX 573 ® , compañía EverProsperous, Taiwán) con electrodo adhesivo (4.7 cm x 4.7 cm) en ambos cuádriceps (vasto medial) y bíceps, 32 minutos por día, 5 días a la semana, la corriente de salida del estimulador fue de 0–75 mA en ondas bifásicas con una frecuencia portadora de 1500 Hz, contaron con fase de calentamiento y enfriamiento, este estudio reveló que la (EENM) era factible y segura, esta podría ser la única forma de inducir una contracción muscular activa y prevenir la debilidad muscular por inactividad en pacientes no cooperantes o

sedados, para los pacientes con sepsis grave e insuficiencia respiratoria aguda la debilidad general era una complicación frecuente, pero no acortó la duración del soporte ventilatorio (Sheng, Chao, Rong, Kuang, 2017).

Finalmente en el artículo Electroestimulación del músculo diafragma para el retiro temprano de la ventilación mecánica y seguimiento de los cambios en el grosor con ultrasonido. Se realizó electroestimulación en 23 pacientes del hospital general de México, se dividieron en 3 grupos (A, B, C), los del grupo A fueron manejados con electroestimulación dos veces al día durante 15 minutos, los del grupo B fueron manejados con electroestimulación tres veces al día durante 15 minutos y los pacientes del grupo C fueron manejados con electroestimulación cuatro veces al día durante 15 minutos, en todos se realizó un registro con ultrasonido del grosor de músculo diafragma al inicio y a las 72 horas, de estos tres grupos, los que mostraron menos diferencias en sus resultados fueron los grupos A y B con valor de p de 0.823; y entre el grupo B y C con una diferencia de p de 0.144, de los grupos analizados, el último, con más sesiones de electroestimulación, demostró resultados benéficos en el incremento del grosor del músculo diafragma, lo que se vio reflejado en la disminución de la presión soporte del ventilador (Ruiz et al., 2017).

Tabla 2. Artículos sobre electroestimulación diafragmática en pacientes con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva: modalidad de electroestimulación no invasiva.

| Artículo | Tipo de estudio | Población | Nombre del estimulador neuromuscular | Grupo muscular | Parámetros | Resultados |
|---|--------------------|----------------------------|--|--|--|---|
| Abdominal Functional Electrical Stimulation to Assist Ventilator Weaning in Acute Tetraplegia: A Cohort Study | Estudio de cohorte | 10 pacientes tetrapléjicos | Estimulador neuromuscular programable (Rehastim v1, Hasomed, Alemania) | Puntos motores del recto abdominal y los músculos oblicuos externos en ambos | Duración del programa: ocho semanas Tiempo: 20 minutos por día en la primera semana, 30 | Aumento del volumen corriente Los pacientes que recibieron |

Electroestimulación diafragmática en el paciente con VMI.

| | | | | | | | |
|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------|---|--|
| | | | | | lados del cuerpo | minutos por día en la tercera semana y 40 minutos por día en la quinta y séptima semana | este entrenamiento o fueron destetados de la ventilación mecánica en promedio 11 días más rápido |
| | | | | | | Corriente: bifásica | |
| | | | | | | Frecuencia: 30 Hz | |
| | | | | | | Intervalo: 30-105 mA | |
| | | | | | | Anchura de impulso de 100 μ s (se ajustó a lo largo de cada sesión de entrenamiento o observando la fatiga muscular 100 - 500 μ s), | |
| Effect of electrical muscle stimulation on prevention of ICU acquired muscle weakness and facilitating weaning from mechanical ventilation | Ensayo prospectivo, aleatorizado, controlado con placebo | 80 pacientes, divididos en 2 grupos | Acupunctoscopia electrónica digital | Cuádriceps en ambos miembros inferiores | Tiempo: 60 minutos | Corriente: bifásica | No pudo evitar la aparición de la debilidad muscular adquirida pero puede minimizar su grado |
| | | | | | | Frecuencia: 50 Hz | |
| | | | | | | Duración de pulso de 200 μ s, 15 s encendidos (incluido 1 s de tiempo de subida y 1 s de caída) | Hubo tendencia a un destete más fácil en el grupo de EMS versus el grupo de control. |
| | | | | | | Intensidades capaces de causar contracciones visibles (principalmen | |

Electroestimulación diafragmática en el paciente con VMI.

| | | | | | | | |
|---|---|---------------------|--|---|---|---|---|
| <p>Electric Muscle Stimulation for Weaning from Mechanical Ventilation in Elder Patients with Severe Sepsis and Acute Respiratory Failure e A Pilot Study</p> | <p>Estudio piloto</p> | <p>17 pacientes</p> | <p>HELEX 573 ® , compañía EverProsperous, Taiwán</p> | <p>Ambos cuádriceps (vasto medial) y bíceps</p> | <p>te 100-150 MA)</p> | <p>Tiempo:32 minutos por día, 5 días a la semana Corriente: bifásica Frecuencia: 1500 Hz Intensidad: 0–75 mA</p> | <p>Esta podría ser la única forma de inducir una contracción muscular activa y prevenir la debilidad muscular por inactividad en pacientes no cooperantes o sedados No acortó la duración del soporte ventilatorio</p> |
| <p>Electroestimulación del músculo diafragma para el retiro temprano de la ventilación mecánica y seguimiento de los cambios en el grosor con ultrasonido</p> | <p>Experimental, prospectivo, transversal y analítico</p> | <p>23 pacientes</p> | <p>Electroestimulador nano maca BioAura</p> | <p>4 electrodos distribuidos en los puntos anteriores y laterales del diafragma</p> | <p>Intensidad: 10-300mA Grupo A fueron manejados con electroestimulación dos veces al día durante 15 minutos Grupo B fueron manejados con electroestimulación tres veces al día durante 15 minutos Grupo C fueron manejados con electroestimulación cuatro veces al día durante 15 minutos</p> | <p>El último grupo demostró resultados benéficos en el incremento del grosor del músculo diafragma, lo que se vio reflejado en la disminución de la presión soporte del ventilador.</p> | |

Elaboración propia

Capítulo 5. Discusión

De acuerdo con los artículos encontrados y respondiendo a nuestra pregunta problema ¿Qué parámetros se han implementado en la electroestimulación diafragmática en pacientes con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva?, la literatura sugiere dos modalidades: modalidad invasiva y no invasiva para implementar la electroestimulación en este grupo de pacientes.

Realizar el destete de la ventilación en corto plazo ha sido una meta para los profesionales de muchas de las unidades de cuidado intensivo, ya que al disminuir los tiempos de duración en VM, se reducen los riesgos asociados a este tipo de terapia así como también la estancia hospitalaria. Por otra parte, los cambios favorables en las variables hemodinámicas, que se comprometen por la presión positiva intratorácica, impuesta por la VM inducido por el destete, un determinante fisiopatológico importante del fracaso del destete en pacientes específicos también ha sido objeto de varios estudios, lo cual debe observarse muy de cerca.

En la mayoría de los resultados planteados de los estudios encontrados, se evidencia que la disfunción diafragmática ha surgido como un determinante probable, del weaning difícil de VM. Esto lleva a la idea de que restaurar la resistencia del diafragma podría ser clínicamente útil. Los resultados de estos estudios nos llevan a pensar que la fuerza del diafragma puede mejorar con el entrenamiento muscular reclutando fibras por medio de la electroestimulación y por ende facilitar el destete. Evans y col, (2019) por ejemplo, nos refieren que la estimulación frénica mediante estimulación intramuscular del diafragma, ha facilitado el destete del ventilador en trastornos neuromusculares con función motora frénica alterada, especialmente en la lesión de la médula espinal y puede ofrecer

beneficios de rehabilitación para restaurar la actividad espontánea del diafragma, la estimulación del diafragma debe promover el destete del ventilador en mayor grado que el uso de terapia de reemplazo de enzimas intravenosas (ERT) solo.

Modo de electroestimulación invasivo

Cabe destacar que de los artículos hallados sobre la electroestimulación diafragmática en modalidad invasiva solo uno reporta haber realizado el procedimiento, sin embargo la muestra es muy pequeña, contando con 3 pacientes para llegar a ser implementado, se destaca que este artículo tuvo como participante un paciente pediátrico diferenciándolo de los demás artículos que solo trabaja con población adulta. Los hallazgos de este estudio demostraron que la estimulación eléctrica directa sobre el músculo del diafragma, disminuye la dependencia del ventilador mecánico. Las ganancias en la respiración independiente fueron acompañadas por actividad espontánea del diafragma no estimulado, para contrarrestar la hipoventilación crónica (Smith et al., 2016).

Por otra parte Evans y col (2019) plantearon un protocolo, aun sin intervención en el cual ofrecen una parametrización estándar de aplicación por medio de estimulación sobre el nervio frénico a través de un catéter desechable ingresado con inserción subcutánea por catéter subclavio izquierdo en la vena cava superior, con estimulación hacia los nervios frénicos izquierdo y derecho mediante electrodos de estimulación, con una muestra calculada 44 pacientes a quienes se realizara el tratamiento, sugiriendo que una muestra de este tamaño debería ser suficiente para detectar diferencias entre el éxito y el fracaso entre los pacientes. Será el primer estudio en abordar específicamente la disfunción diafragmática inducida por ventilador (VIDD) como la causa de la falla de destete y probar la hipótesis de que la nueva terapia, estimulación temporal del diafragma transvenoso (TTVDP) puede acelerar el destete de la VM. Con esta hipótesis revisaran el probable papel fisiopatológico de la disfunción diafragmática adquirida en la UCI en pacientes difíciles de destetar y por la capacidad conocida de estimulación del diafragma para corregir la atrofia del desuso diafragmático en pacientes dependientes de VM a largo plazo (Evans et al., 2019).

Estos 2 artículos difieren en su aplicación siendo el primero sobre el punto motor del músculo en este caso el diafragma y el segundo sobre el nervio frénico. Con respecto a los parámetros usados, los pulsos tienen una intensidad de hasta 13.5 mA y una duración de 200–300 μ s; pueden administrarse con una frecuencia de 4 Hz para el procedimiento de mapeo y 15 Hz para la terapia de estimulación del diafragma (Evans et al., 2019), en comparación al artículo contrario donde trabajan sobre el músculo con frecuencias de 11 a 15 Hz tomaron muestras a 20 kHz durante intervalos de 1 minuto durante cada condición, la intensidad se basó según tolerancia de cada paciente que ocurrió entre 5 a 8 mA (Smith, et al., 2016). No es posible establecer una comparación entre los resultados dado que el protocolo aún se encuentra en fase de investigación.

Modo de electroestimulación no invasivo

Los datos encontrados en los artículos, muestran diferentes grupos poblacionales a los que se les implementó esta modalidad, como lo son: pacientes tetraplégicos, pacientes con sepsis grave e insuficiencia respiratoria aguda, pancreatitis, postoperatorios, entre otras patologías. El grupo muscular a trabajar se dividió en los puntos motores del cuádriceps, bíceps, recto abdominal, oblicuos y en el diafragma. Respecto a los parámetros implementados en los diferentes estudios, se encuentra que la corriente bifásica fue la de elección en la mayoría de estos, excepto en un artículo el cual no refería el tipo de onda utilizada (Ruiz et al., 2017), siguiendo con la descripción de estos parámetros se manejaron frecuencias entre 30 Hz (McCaughey et al., 2015), 50Hz (Abu et al., 2013) y 1500 Hz (Sheng et al., 2017), intervalos de 30-105 mA (McCaughey et al., 2015), 100-150 mA (Abu et al., 2013), 0-75 mA (Sheng et al., 2017) y 10-300mA (Ruiz et al., 2017), respecto a la amplitud del impulso dos de los artículos refieren que utilizaron entre 100 μ s (McCaughey et al., 2015) y 200 μ s (Abu et al., 2013). Por último el tiempo empleado varió entre los artículos así como las semanas de cada estudio, encontrándose en el primer artículo: 20 minutos por día en la primera semana, 30 minutos por día en la tercera semana y 40 minutos por día en la quinta y séptima semana (McCaughey et al., 2015), en el segundo artículo se implementó por 60 minutos (Abu et al., 2013), en el tercer

artículo por 32 minutos (Sheng et al., 2017) y en el cuarto y último artículo se observó que los pacientes se dividieron por grupos de la siguiente manera: Grupo A, fueron manejados con electroestimulación dos veces al día durante 15 minutos, Grupo B fueron manejados con electroestimulación tres veces al día durante 15 minutos y Grupo C fueron manejados con electroestimulación cuatro veces al día durante 15 minutos (Ruiz et al., 2017), como se puede observar los parámetros implementados en los estudios fueron diferentes, pero a pesar de esto se evidenciaron resultados favorables en el grupo de intervención de cada artículo, demostrando una tendencia a un destete más fácil, un aumento del volumen corriente, incremento del grosor del músculo diafragma, disminución de la presión soporte del ventilador y por último y no menos importante esta intervención puede minimizar el grado de debilidad muscular en los pacientes.

En este trabajo se puede observar diferencias entre los parámetros implementados de los distintos artículos revisados, tanto en el modo invasivo, como en el no invasivo. Se debe tener en cuenta que para poder llevar a cabo la electroestimulación invasiva se requiere de un equipo multidisciplinario dada la complejidad en su implementación, considerando que se deben implantar electrodos de manera quirúrgica. En este tipo de modalidad el fisioterapeuta debería participar en la monitorización y registro horario de los avances que se observen en la mecánica ventilatoria determinando así la progresión que podría llegar a facilitar el weaning.

Por el contrario, en la electroestimulación no invasiva se proporciona un mayor número de evidencia además de un fácil acceso a los recursos y equipos tecnológicos, cabe destacar que a pesar de estas diferencias, los artículos en su gran mayoría demostraron múltiples beneficios en los pacientes como el éxito en la extubación, de igual manera pacientes que estén bajo sedación la aplicación de esta técnica logra contracciones involuntarias manteniendo su actividad muscular, por lo que se considera que esta técnica debería ser implementada en las diferentes UCI que tengan la posibilidad de brindar esta herramienta. Sin embargo la evidencia soporta que el ejercicio activo-asistido por parte del paciente acompañado de la electroestimulación facilita el proceso de rehabilitación (Santamaría y Pacheco 2010). Dentro de la revisión, los artículos postulan

el trabajar diferentes grupos musculares haciendo énfasis en aquellos que son anti gravitatorios y principales de la respiración debido a que son los que sufren mayor afectación secundaria al reposo prolongado en cama y al proceso de VM (Ibarra et al., 2017). Se recomienda que las intensidades que se aplican sean guiadas por la tolerancia del paciente, y en aquellos pacientes que se encuentren bajo efectos de sedación la evidencia de la contracción muscular sea la pauta de la intensidad aplicada.

La corriente bifásica fue la más utilizada en los artículos, esta es una corriente de baja frecuencia que brinda la posibilidad de estimular específicamente a las motoneuronas responsables de la contracción muscular, la forma de onda es rectangular garantizando su máxima eficacia. Por otro lado las duraciones del impulso más adecuadas para el fortalecimiento muscular son las que oscilan entre 200 a 400 us pues se estimulan selectivamente las fibras nerviosas motoras A-a (Albornoz Cabello, 2006). De acuerdo a la revisión los autores se inclinaron por el uso de duraciones de impulso entre 100 us y 200 us.

Con respecto a la frecuencia, señalan que una frecuencia de 50 a 100 Hz es eficaz para estimular tanto a las motoneuronas A-a1 que inervan a las fibras musculares fásicas como a las motoneuronas A-a2 responsable de la inervación de las fibras musculares tónicas (Kayvan y Nicola, 2011). Se evidencia que solo uno de los artículos trabajó ese rango. En aquellos casos en que se requiere utilizar frecuencias de mayor amplitud una de las causas pudo deberse a que el paciente cursa con un periodo prolongado de inmovilización en la UCI con alto compromiso en el desempeño muscular determinando el uso de frecuencias que generen contracciones musculares más adecuadas.

Se sugiere que el uso de la electroestimulación sea implementada diariamente por lo menos una vez al día promoviendo los avances del weaning de la VM con duraciones no mayores a 30 minutos de los cuales los 5 primeros minutos son destinados a la preparación de la fibra muscular (fase de calentamiento), seguido de una fase central donde se aumente la intensidad y se alcance el fortalecimiento muscular (que puede oscilar en unos 20 minutos de la sesión) con un cierre de 5 minutos que produzca la

relajación de las fibras musculares (fase de relajación) (Mondragón, Ferrer y Quintero 2015).

Otros estudios

Es debido mencionar que en otros artículos se evidencia la implementación de la electroestimulación no invasiva en pacientes con EPOC, en los cuales se observa una desventaja mecánica en el músculo diafragmático, además de una disminución de las fibras tipo II y un aumento de la capacidad oxidativa de todas las fibras, de acuerdo a ello, en el estudio de Martinelli et al. (2016) tomaron la corriente rusa como una alternativa para tratar a estos pacientes debido a que genera beneficios a nivel muscular promoviendo un aumento en la resistencia y la fuerza de estos, para esto colocaron electrodos entre el séptimo y octavo espacio intercostal utilizando los siguientes parámetros: tiempo de contracción 1-6 segundos, tiempo de relajación el doble del tiempo de contracción, frecuencia de 2500 Hz, con un tiempo de 18 minutos, dos veces por semana con un total de 30 sesiones, identificándose una disminución en los valores de la presión inspiratoria máxima (PIM) y la presión espiratoria máxima (PEM); sin embargo esto no fue estadísticamente significativo ($p < 0.05$), debido a que se esperaba un aumento de la MIP. Adicionalmente en el artículo Acute effects of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation on respiratory pattern in COPD patients: cross-sectional and comparative clinical trial, se estudiaron individuos con el mismo cuadro clínico, pero la diferencia radicó en la distribución de los electrodos, los cuales fueron colocados en el tercer y séptimo espacio intercostal, se utilizó una onda bifásica, una frecuencia de 30Hz, duración de pulso de 0,4 ms, tiempo de subida 0,7 segundos a una intensidad en la que fuera visible la contracción, con una duración de 20 minutos, este estudio concluyó un aumento en los volúmenes pulmonares y en la saturación de oxígeno (Cancelliero et al., 2013). Por último en el artículo Efeitos da estimulação diafragmática transcutânea sincronizada em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC): estudo piloto, con una muestra de seis pacientes con la patología mencionada anteriormente, recibieron estímulos mediante electrodos en el punto motor del nervio frénico ubicado entre el séptimo y octavo espacio intercostal, se realizaron 10

sesiones con una onda que tenía un perfil trapezoidal las cuales tenían una duración de pulso de 90 μ s, frecuencia de 2,04 Hz, la intensidad se ajustó de acuerdo a la sensibilidad de cada paciente, variando con cada aplicación y con una duración de 20 minutos mostrando que todos los participantes tuvieron un aumento en la (MIP) de 66.67 a 91.67 cmH₂O y un aumento en el (MEP) de 92.50 a 116.67 cmH₂O, demostrando ser una opción prometedora (Percy, Rafaela y Valenga, 2012).

En relación con varios autores que han estudiado este tipo de rehabilitación con la electroestimulación, aplicada en el paciente enfermo crítico, se difiere que es de gran utilidad en los diferentes cuadros patológicos asociados a la estancia en UCI. La evidencia demuestra su aplicación no solamente en los músculos de las extremidades sino también en los músculos respiratorios, ayudando al paciente en su proceso de rehabilitación.

Capítulo 6. Conclusiones

De acuerdo a la revisión elaborada, se encontró que la electroestimulación en modalidad invasiva es una de las alternativas para la intervención en el paciente con difícil destete de la ventilación mecánica en UCI. Esta modalidad requiere de un equipo multidisciplinario dada la complejidad en su implementación, considerando que se deben implantar electrodos de manera quirúrgica, además del uso de equipos de monitoreo externos especializados.

La literatura proporciona un mayor número de evidencia con respecto al uso e implementación de la modalidad no invasiva, debido al fácil acceso a los recursos y equipos tecnológicos diseñados con este fin. Asimismo los fisioterapeutas pueden recibir entrenamiento de dichos equipos realizando la prescripción desde su formación profesional.

Electroestimulación diafragmática en el paciente con VMI.

Con relación a los parámetros de programación, el tipo de corriente de mayor uso fue la bifásica. Esta modalidad permite contracciones enérgicas en músculos grandes con escasa molestia, además la posibilidad de programar secuencias en varios canales.

Respecto a los otros parámetros (frecuencia, tiempo de duración, pulsación, intensidad, etc) los autores proponen diferentes rangos de aplicación, no se encuentra concordancia entre la literatura revisada. Por esta razón el fisioterapeuta que realiza electroestimulación deberá establecer criterios de manejo acordes a las necesidades de su paciente con el apoyo de los referentes mencionados.

Una de las dificultades en la elaboración del presente trabajo radicó en la escasez de literatura referente al uso de electroestimulación en el paciente con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva.

Recomendaciones

Se sugiere que en el desarrollo de la práctica de esta estrategia terapéutica se generen registros por parte de los fisioterapeutas con el fin de tener más evidencia respecto a los parámetros empleados con frecuencia en este grupo de pacientes y así poder generar estudios experimentales y/o protocolos que sustenten la aplicación de la modalidad de electroestimulación no invasiva, considerando que esta modalidad es más asequible, de fácil aplicación y que gracias a la formación profesional del fisioterapeuta quien cuenta con las competencias praxiológicas se garantiza un adecuado manejo y por ende la seguridad en la atención del paciente con difícil weaning de la ventilación mecánica invasiva.

REFERENCIAS

Abu, H., Zaki, A. & Mohammed, E. (2013). Effect of electrical muscle stimulation on prevention of ICU acquired muscle weakness and facilitating weaning from mechanical ventilation. Elsevier. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2013.03.011>

Albornoz, M., Maya, J., & Marhuenda, J. (2016). Electroterapia práctica , 1a ed. 15-20. España: Elsevier. Recuperado de <https://www.elsevier.com/books/electroterapia-practica/albornoz-cabello/978-84-9022-479-3>

Albornos Cabello, M. (2006). Niveles de percepción en el fortalecimiento muscular con corrientes rectangulares bifásicas simétricas. (Trabajo de grado). Universidad de Sevilla. España.

Arcas Patricio, M. (2006). Fisioterapia respiratoria. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=IJQRrErIYacC&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Bernardo-Peña, L. (2010). La revisión bibliográfica. Proyecto de indagación. Recuperado de https://www.javeriana.edu.co/prin/sites/default/files/La_revision_bibliografica.mayo_.2010.pdf

Belda, F & Llorens, J. (2009). Ventilación mecánica en anestesia y cuidados críticos. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=hqUQEfRInEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Bloch, S., Lee, J., Syburra, T., Rosendahl, U., Griffiths, M., Kemp, P., & Polkey, M. (2015). Increased expression of GDF-15 may mediate ICU acquired weakness by down-regulating muscle microRNAs. *Thorax*. Volumen (70), [p 219-228]. Doi <http://dx.doi.org/10.1136/thoraxjnl-2014-206225>.

Callahan, L., Supinski, G., Callahan, L. & Supinski, G. (2009). Sepsis-induced myopathy. *Crit Care Med*, Vol. 37, 354-367. Doi: <http://dx.doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181b6e439>

Cancelliero, K., Ike, D., Pantoni, C., Mendes, R., Borghi, A. & Costa, D. (2013). Acute effects of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation on respiratory pattern in COPD patients: cross-sectional and comparative clinical trial. Elsevier. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-35552012005000121>

Castro Gutierrez, S., Castro Gutierrez D., & Vera Rondon S. (2008). Destete ventilatorio un enfoque fisioterapeutico. *Movimiento científico*. Vol. 2, 2ª ed. Doi: <https://doi.org/10.33881/2011-7191.%25x>

De la cámara, M. & Pardos, A. (2016). Revisión de los beneficios físicos de la electroestimulación integral. Doi: [http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2016/1\).123.03](http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2016/1).123.03)

Díaz, M., Ospina, G. & Salazar, C. (2014). Disfunción muscular respiratoria: una entidad multicausal en el paciente críticamente enfermo sometido a ventilación mecánica. *Archivos De Bronconeumología*, Vol. 50, 73-77. Doi: doi.org/10.1016/j.arbres.2013.03.005

Dot, I., Pérez-Teran, P., Samper, M. & Masclans, J. (2017). Disfunción diafragmática: una realidad en el paciente ventilado mecánicamente. *Archivos De Bronconeumología*, Vol. 53, 150-156. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2016.07.008>

Enright, P., Kronmal, R., Manolio, T., Schenker, M. & Hyatt, R. (1994). Respiratory muscle strength in the elderly. Correlates and reference values. Cardiovascular Health Study Research Group. *Am J Respir Crit Care Med*, Vol. 149, 430-438. Doi: <http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.149.2.8306041>

Evans, D., Shure, D., Clark, L., Criner, G., Dres, M., Gama de Abreu, M., Laghi, F., McDonagh, D., Petrof, B., Nelson, T. & Similowski, T. (2019). Temporary transvenous diaphragm pacing vs. standard of care for weaning from mechanical ventilation: study protocol for a randomized trial. Pubmed. Doi: 10.1186/s13063-018-3171-9

Forcillo, M., Picon, S., Destefanis, C., Gaggioli, M., Distefano, E., Botto, M., Villafane, C., Bertozzi, S. & Baez, G. (2018). Electroestimulación en el paciente crítico. Revista americana de medicina respiratoria, Vol. 18, 272-279. Recuperado de http://www.ramr.org/articulos/volumen_18_numero_4/revision_bibliografica/revision_bibliografica_electroestimulacion_en_el_paciente_critico.pdf

Giraldo Estrada, H. (2008). EPOC diagnóstico y tratamiento integral con énfasis en la rehabilitación pulmonar. Ed 3ª. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=bVz3C1RKju4C&pg=PA197&lpg=PA197&dq=El+diafragma+es+el+principal+m%C3%BAsculo+respiratorio,+aunque+para+que+su+funci%C3%B3n+sea+%C3%B3ptima+requiere+tambi%C3%A9n+de+la+participaci%C3%B3n+coordinada+y+secuencial+de+otros+m%C3%BAsculos.&source=bl&ots=1Z_8CKsTU&sig=ACfU3U3pbIWF6K9Ixhw9BpiasNbPqtG6Ww&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwibx5-W--vqAhVCXK0KHVVgDu0Q6AEwDHoECAoQAQ#v=onepage&q=El%20diafragma%20es%20el%20principal%20m%C3%BAsculo%20respiratorio%20aunque%20para%20que%20su%20funci%C3%B3n%20sea%20%C3%B3ptima%20requiere%20tambi%C3%A9n%20de%20la%20participaci%C3%B3n%20coordinada%20y%20secuencial%20de%20otros%20m%C3%BAsculos.&f=false

Gutiérrez Muñoz, F. (2011). Ventilación mecánica. Acta Médica Peruana, Vol. 28, 87-104. Recuperado, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172011000200006&lng=es&tlng=es.

Gómez, L. & Bernal, O. (2013). Caracterización de los pacientes críticos ventilados en la Fundación Santa Fe de Bogotá 2009 a 2013. (Trabajo de grado, universidad del rosario). Recuperado de: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4633/GomezCortes-LeonardoAndres-2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gomez Marcelo, M. (2006). Introducción a la metodología de la investigación científica. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=9UDXPe4U7aMC&dq=alcance+descriptivo+en+una+investigacion&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. & Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. 6ª ed. México: McGraw -Hill.

Herrero, J., García, O., Morante, J. & García, J. (2006). Parámetros del entrenamiento con electroestimulación y efectos crónicos sobre la función muscular, volumen (XXIII). Recuperado de https://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/Revision_Parametros_455_116.pdf

Herrero, A., Martin, J., Benito, P., Gonzalo, I., Chulvi, I. & Garcia, D. (2015). Posicionamiento de la National Strength and Conditioning Association-Spain. Entrenamiento con electroestimulación de cuerpo completo, Vol. 8. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2015.05.004>

Hernández, D. (2013). El diafragma una visión desde la osteopatía Monografía pasantía. (Trabajo de investigación). Universidad nacional de Colombia. Bogotá D.C.

Hernández, L., Cerón, R., Escobar, D., Graciano, L., Gorordo, L., Merinos, G., Castañón, J., Amezcua, M., Cruz, S., Garduño, J., Lima, M. & Montoya, J. (2017). Retiro de la ventilación mecánica. Medicina crítica (Colegio Mexicano de Medicina Crítica), Vol.

31, 238-245. Recuperado en 26 de julio de 2020. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-89092017000400238&lng=es&tlng=es.

Ibarra, J., Fernández, M., Aguas, E., Pozo, A., Castro., Antillanca, B. & Quidequeo, D. (2017). Efectos del reposo prolongado en adultos mayores hospitalizados An. Fac. med, Vol. 78. Doi: <http://dx.doi.org/10.15381/anales.v78i4.14268>

Kayvan, S. & Nicola, M. (2011) Efecto del entrenamiento de electroestimulación sobre la fuerza muscular y el rendimiento deportivo. Revista de Fuerza y Acondicionamiento, Vol. 33, 70-75. doi: 10.1519 / SSC.0b013e3182079f11

Martinelli, B., Papille dos Santos, L., Regina Barrile, S., Tiemi Iwamoto, H., Gimenes, C. & Cavalcanti Rosa, D. (2016). Estimulação elétrica transcutânea diafragmática pela corrente russa em portadores de DPOC. Doi: 10.1590/1809-2950/14854823042016

MacIntyre, N. R., Epstein, S. K., Carson, S., Scheinhorn, D., Christopher, K. & Muldoon, S. (2005). Management of patients requiring prolonged mechanical ventilation: Report of a NAMDRC consensus conference, Vol 128, 3937-3954. doi: 10.1378 / cofre.128.6.3937.

McCaughey, A., Berry, H., McLean, A., Allan, D & Gollee, H. (2015). Abdominal Functional Electrical Stimulation to Assist Ventilator Weaning in Acute Tetraplegia: A Cohort Study. Pubmed. Doi: 10.1371/journal.pone.0128589

Mondragón, M., Ferrer, C., Quintero, D. (2015). Efectividad de la electroestimulación y la fisioterapia en el paciente crítico. (Trabajo de grado). Recuperado de http://ns3112306.ip-213-251184.eu/bitstream/10946/2761/1/Efectividad_Electroestimulacion.pdf

Muñoz, R. & Vásquez, B. (2017). Diafragma: Trayectoria Histórica del Término y de sus Descripciones Anatómica y Funcional. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n4/0717-9502-ijmorphol-35-04-01614.pdf>

Naguib, M., Lien, C., & Meistelman, C. (2016). Farmacología de los bloqueantes neuromusculares. Retrieved 21 May 2020, 958- 963. Recuperado de https://teleduccion.medicinaudea.co/pluginfile.php/178264/mod_resource/conten

Net, A. & Benito, S. (2000). Ventilación mecánica. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=c2i6dPBocQUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Orozco, M. & Gea, J. (1997). El diafragma. Vol. 33, 56. Recuperado de <file:///C:/Users/admin/Downloads/S0300289615305676.pdf>

Peñuelas, O., Frutos-Vivar, F., Fernández, A., Anzueto, S. Epstein, C., Apezteguía, Gonzalez, M., Nin, N., Raymonds, K. & Desmery P. (2011). Characteristics and outcomes of ventilated patients according to time to liberation from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.*, Vol. 184, 430-437. Doi <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.201011-1887OC>

Percy, N., Rafaela, J. & Valenga, M. (2012). Efeitos da estimulação diafragmática transcutânea sincronizada em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC): um estudo piloto. Elsevier. Doi: <https://doi.org/10.4322/rbeb.2012.018>

Pombo, M., Rodríguez, J., Brunet, X & Requena, B. (2004). La electroestimulación entrenamiento y periodización. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=tVGRDwAAQBAJ&pg=PP1&dq=electroestimulacion&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj67oiJnPHqAhULJt8KHQ61BkkQ6AEwAHoECAYQAg#v=onepage&q=electroestimulacion&f=false>

Powers SK, Kavazis AN, McClung JM (2007). Oxidative stress and disuse muscle atrophy. *J Appl Physiol*, Vol. 102. DOI: 10.1152 / japplphysiol.01202.2006

Rady, M., Johnson, D., Patel, B., Larson, J. & Helmers, R. (2006). Corticosteroids influence the mortality and morbidity of acute critical illness. *Crit Care*, Vol 10, p.101. Doi <http://dx.doi.org/10.1186/cc4971>.

Ramos, L. & Benito, S. (2012). *Fundamentos de la ventilación mecánica*. 1ª ed. Recuperado de https://books.google.com.co/books/about/Fundamentos_de_la_ventilaci%C3%B3n_mec%C3%A1nica.html?id=3icBD88rFO0C&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Ruiz, R., Sosa, J., Chávez, A., Sandia, A. & Hernández, A. (2017). Electroestimulación del músculo diafragma para el retiro temprano de la ventilación mecánica y seguimiento de los cambios en el grosor con ultrasonido. *Medigraphic*. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/pdfs/medcri/ti-2017/ti174e.pdf>

Ruiz Vargas, J., (2002). Tórax. En Ruiz Vargas, J., *Anatomía Topográfica*, 33-34, México. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=juzheCDXLvMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Sheng, S., Chao, L., Rong, L. & Kuang, C. (2017). Electric Muscle Stimulation for Weaning from Mechanical Ventilation in Elder Patients with Severe Sepsis and Acute Respiratory Failure – A Pilot Study. *Elsevier*. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijge.2017.01.001>

Smith, B., Fuller, D., Martin, D., Lottenberg, L., Islam, S., Lawson, L., Onders, R. & Byrne, B. (2016). Diaphragm Pacing as a Rehabilitative Tool for Patients With Pompe

Disease Who Are Ventilator-Dependent: Case Series. Pubmed. Doi: 10.2522/ptj.20150122

Sanchez Pastrana, M., Andrade Mendez, B., & Celis Melgar, C. (2010). Perfil epidemiológico de pacientes que ingresan a la unidad de cuidado intensivo adulto, (Trabajo de grado). Universidad surcolombiana. Recuperado de <https://contenidos.usco.edu.co/salud/images/documentos/grados/T.G.Enfer.Cuidado-Critico/5.T.G-Brayant-Andrade-Mendez,-Claudia-Patricia-Celis-Melgar-2010.pdf>

Santamaría, A & Pacheco, C. (2010). Electroestimulación con ejercicios físicos para aumentar la fuerza rápida del cuádriceps Revista Xihmai, volumen (5). Recuperado de <http://www.lasallep.edu.mx/revistas/index.php/xihmai/article/view/150/127>

Tapias L., Tapias V. & Tapias, L. (2009). Hernias Diafragmáticas: Desafío Clínico Y Quirúrgico. Revista Colombiana De Cirugía, Vol. 24, 95-105. [Fecha De Consulta 20 De Mayo De 2020]. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3555/355534489005>

Uehara, M., Plank, L. & Hill, G. (1999). Components of energy expenditure in patients with severe sepsis and major trauma: A basis for clinical care. Crit Care Med, Vol. 27, 1295-1302. Doi: 10.1097 / 00003246-199907000-00015.

Van den Berghe, G., Wouters, P., Weekers, F., Verwaest, C., Bruyninckx, F., Schetz, Vlasselaers, D., Ferdinande, P., Ferdinande P. & Bouillon, R. (2001). Intensive insulin therapy in critically ill patients .N Engl J Med, Vol. 345, 1359-1367. Doi: <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa011300>

Valenzuela, V., Pinochet R., Escobar C., Márquez A., Riquelme, R. & Cruces, P. (2014). Disfunción diafragmática inducida por ventilación mecánica. Revista chilena de pediatría, Vol. 85(4), 491-498. Doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062014000400014>

Electroestimulación diafragmática en el paciente con VMI.

Anexos

Anexo A. Matriz de artículos 1

| MATRIZ DE ARTICULOS N° 1 | | | | | | |
|--------------------------|--|---------------|---------|---|------|---|
| N° | Ecuacion de busqueda | Base de datos | Idioma | Título | Año | Link |
| 1 | ((electrical stimulation, transcutaneous) AND diaphragm) OR Ventilator Weaning | Mediagráfico | Español | Presión intraabdominal y ventilación artificial mecánica. Hospital "Arnaldo Milán Castro". 2014-2015 | 2018 | https://www.mediagraphic.com/pdfs/revh-abciemed/hcm-2018/hcm184f.pdf |
| 2 | | Mediagráfico | Español | Respuesta de la musculatura del piso pélvico a la estimulación eléctrica transcutánea del nervio pudendo durante la biorretroalimentación para incontinencia urinaria de urgencia | 2018 | https://www.mediagraphic.com/pdfs/uro-2018/ur183e.pdf |
| 3 | | Mediagráfico | Español | Electroestimulación del músculo diafragma para el retiro temprano de la ventilación mecánica y seguimiento de los cambios en el grosor con ultrasonido | 2017 | https://www.mediagraphic.com/pdfs/med-criti-2017/hi174e.pdf |
| 4 | | Mediagráfico | Español | Súper Techtron HP 400 con electroterapia TENS en la disminución de peso corporal. Presentación de caso | 2016 | https://www.mediagraphic.com/pdfs/sim-ed/cmi-2016/cmi161m.pdf |

Elaboración propia

Anexo B. Matriz de artículos 2

| N° | Base de datos | Título | Tipo de estudio | País | Autor/es | Año | Palabras clave | Metodología |
|----|---------------|--|----------------------|--------|--|------|---|---|
| 1 | Mediagráfico | Electroestimulación del músculo diafragma para el retiro temprano de la ventilación mecánica y seguimiento de los cambios en el grosor con ultrasonido | Estudio experimental | México | Raul Ruiz Perez, Jorge Sosa Bollo, Alfonso Chaves Morales, Maria Argentina Sandia Zerpa, Antonio Hernandez Bastida | 2017 | Diafragma, electroestimulación, atrofia, ventilación mecánica | En la unidad de terapia intensiva de la nueva torre quirúrgica del Hospital experimental, prospectivo, transversal y analítico, en una población de grupo etario entre 19 y 75 años de edad, con una media de 40 años, el grupo «A» se les aplicó terapia de electroestimulación del músculo diafragma, en el grupo «B», tres sesiones al día de 15 minutos cada una, y minutos cada una. Cada impulso del electroestimulador fue de una intensidad con base en el grado de tolerancia del paciente, el cual se encontraba aun con tubo endotraqueal, pero que cumplió con todas las condiciones de ventilación mecánica. |

Elaboración propia

Anexo C. Continuación de matriz de artículos 2

| Parametros | Poblacion | Link | Referencias en normas APA | Nivel de evidencia |
|---|---|---|---|-----------------------------------|
| Indica el tipo de electroestimulación, el tiempo y número de sesiones | Pacientes entre los 19 y 75 años de edad con una media de 40 años | https://www.mediagraphic.com/pdfs/med-criti-2017/hi174e.pdf | Ruiz R; Sosa J; Chaves A; Sandia M; Hernandez A (2017) Electroestimulación del músculo diafragma para el retiro temprano de la ventilación mecánica y seguimiento de los cambios en el grosor con ultrasonido. Medicina crítica, 31(4): 205-212 | Grado de recomendación: A/ NE: 1A |

Elaboración propia

Anexo D. Matriz de artículos 3

| Nº | BASE DE DATOS | TITULO | AÑO | AUTOR | PAIS | TIPO DE ESTUDIO | PALABRAS CLAVE | METODOLOGIA |
|----|---------------|---|------|---|----------------|---|--|---|
| 1 | Pubmed | Temporary transvenous diaphragm pacing vs. standard of care for weaning from mechanical ventilation: study protocol for a randomized trial. | 2019 | Douglas Evans, Deborah Shure, Linda Clark, Gerard J. Crine, Martin Dres, Marcelo Gama de Abreu, Franco Laghi, David McDonagh, Basil Petrof, Teresa Nelson y Thomas Similowski | Estados unidos | prospectivo, multicéntrico, aleatorizado, controlado, abierto | Ventilación mecánica, destete, diafragma, disfunción diafragmática inducida por ventilador, estimulación frénica | Este documento describe la eficacia de una terapia (TTVDP), para mejorar a los pacientes adultos que durante al menos (tratamiento) o grupos es el momento de la (finales secundarios ir ultrasonido en el grupo con el tiempo. Ademas mortalidad a los 30 |

Elaboración propia

Anexo E. Continuación de matriz de artículos 3

| PARAMETROS | CONCLUSIONES | NIVEL DE EVIDENCIA | LINK | REFERENCIA NORMAS APA |
|--|---|-----------------------------------|---|--|
| Intensidad de hasta 13.5 mA (se incrementará hasta el nivel máximo tolerado por el paciente), duración de 200-300 μ s, frecuencia de 4 Hz para el procedimiento de mapeo y 15 Hz para la terapia de estimulación del diafragma en sí, 4 series de 10 estimulaciones, se realizarán tres sesiones de terapia (con un total de 120 estimulaciones) diariamente con periodos de | Se evidenció éxito en la extubación de los pacientes sin reintubación dentro de las 48 horas, diferencia en la presión inspiratoria máxima y en los cambios en la fracción de engrosamiento del diafragma | Grado de recomendación A/ N.E: 1A | https://www.ncbi.nlm.nih.gov/ezproxy.umng.edu.co/pubmed/30654837 | Evans, D., Shure, D., Clark, L. y col. Estimulación temporal del diafragma transvenoso versus atención estándar para el destete de la ventilación mecánica: protocolo de estudio para un ensayo aleatorio. |

Elaboración propia