







REVISIÓN SISTEMÁTICA

Transcutaneous electrostimulation programming for mechanical ventilation induced diaphragmatic weakness

Programación de la electroestimulación transcutánea en debilidad diafragmática inducida por ventilación mecánica

Elizabeth Patricia Sangoquiza Chicaiza¹  , Stalin Javier Caiza Lema¹  

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad Ciencias de la Salud, Fisioterapia. Ambato, Ecuador.

Citar como: Sangoquiza Chicaiza EP, Caiza Lema SJ. Transcutaneous electrostimulation programming for mechanical ventilation induced diaphragmatic weakness. Salud, Ciencia y Tecnología. 2024;4: 1014. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20241014>

Enviado: 16-01-2024

Revisado: 29-03-2024

Aceptado: 23-05-2024

Publicado: 24-05-2024

Editor: Dr. William Castillo-González 

ABSTRACT

Introduction: diaphragmatic weakness caused by mechanical ventilation includes many different alterations derived from the muscle inactivity during this process. Structurally, the diaphragm undergoes atrophy due to its lack of use. One of the relevant treatments used to aid this muscle's strengthening is the transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) which consists of the superficial application of an electrical current.

Objective: to establish the programming for transcutaneous electrostimulation on mechanical ventilation induced diaphragmatic weakness.

Materials and methods: an exhaustive systematic review of the scientific literature. The data compilation was performed through scientific database, including: Pubmed, Scielo, and Google Scholar. The information was evaluated using the PRISMA method, within the last 5 years.

Results: the results pointed that a two-phase symmetrical stimulation was the predominant pattern. With a stimulation frequency between 30 Hz to 50 Hz, which proved to be effective and beneficial. The electrical pulse duration varied between 200 to 400 microseconds, showing a favorable effect with therapeutic properties.

Conclusions: the use of TENS improves the functional capacity of the diaphragm significantly.

Keywords: Transcutaneous Electrostimulation; Diaphragmatic Weakness; Mechanical Ventilation; Intensive Care Unit.

RESUMEN

Introducción: la debilidad diafragmática causada por la ventilación mecánica abarca diversas alteraciones derivadas por la inactividad del músculo durante este proceso. A nivel estructural, el diafragma sufre de atrofia debido a la falta de uso. Para ayudar a fortalecer este músculo uno de los tratamientos que se destacan es la estimulación eléctrica transcutánea (TENS) que consiste en la aplicación superficial de corriente eléctrica.

Objetivo: establecer la programación de la electroestimulación transcutánea en debilidad diafragmática inducida por ventilación mecánica

Material y Método: una revisión sistemática exhaustiva de la literatura científica. La recopilación de datos se realizó a través de bases de datos científicas como Pubmed, Scielo, Google académico. La información se evaluó mediante el método PRISMA, dentro de los últimos 5 años.

Resultados: los resultados indicaron que la estimulación bifásica simétrica fue el patrón predominante, ya sea con una frecuencia de estimulación que oscilaba entre 30 Hz a los 50 Hz, lo cual se demostró ser efectivo y beneficioso. Respecto a la intensidad de corriente eléctrica la mayoría de los estudios analizados indicaron que aumentaba gradualmente hasta observar una contracción muscular visible. La duración de los pulsos eléctricos varió entre 200 a 400 microsegundos, mostrando un efecto favorable con propiedades

terapéuticas.

Conclusiones: el uso de la electroestimulación transcutánea mejora la capacidad funcional del diafragma de manera significativa.

Palabras clave: Electroestimulación Transcutánea; Debilidad Diafragmática; Ventilación Mecánica, Unidad De Cuidados Intensivos.

INTRODUCCIÓN

La ventilación mecánica invasiva (VMI) restaura y favorece la ventilación y oxigenación de pacientes críticamente enfermos debido a un cuadro de insuficiencia respiratoria facilitando un intercambio gaseoso óptimo. Varios estudios ^(1,2,3,4) indican que la ventilación mecánica en modalidades controladas contribuye al fracaso en el proceso de retiro y extubación al provocar cambios estructurales y daño a las proteínas contráctiles lo que lleva a una disminución de fuerza muscular. Además, este tratamiento conlleva riesgos adicionales como neumonía asociada a la VMI, trastornos neurocognitivos y enfermedades degenerativas como la debilidad muscular propiamente, el diafragma siendo el foco de afectación significativa a lo que se denomina disfunción diafragmática inducida por ventilación mecánica.

Es frecuente la lesión del diafragma durante la VM, lo cual se asocia con un aumento en la morbilidad y mortalidad.⁽⁵⁾ Por ejemplo, en Europa según los resultados de ELOISE (European Mortality and Length Of ICU Stay) la tasa de mortalidad fue de 19,1 %. Por otro lado, un estudio realizado en Ecuador entre 2015 y 2017 en la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín reveló datos importantes: predominó el sexo masculino y los pacientes mayores de 65 años fueron más comunes al ingresar a la UCI. ⁽⁶⁾ Además, se ha observado que más del 80 % de pacientes pueden desarrollar disfunción diafragmática al ingreso o durante la estancia hospitalaria,⁽⁷⁾ una condición estrechamente relacionada con patologías como sepsis, insuficiencia respiratoria, y enfermedades cardiovasculares.⁽⁸⁾

Un método importante y eficaz para fortalecer el diafragma es la estimulación eléctrica transcutánea (TENS) también conocida como estimulación eléctrica nerviosa transcutánea.⁽⁹⁾ Durante este procedimiento, se aplica una corriente eléctrica a través de la piel utilizando electrodos, uno de los cuales acumula temporalmente una carga eléctrica excesiva, este fenómeno desencadena desplazamientos iónicos en el líquido extracelular lo que además, provoca una excitación del sarcolema y conduce a una despolarización de la membrana nerviosa haciendo que el músculo sobre el cual reposa los electrodos respondan con una contracción gracias a la activación en su placa motora a través del nervio vago encargado de la inervación del diafragma.⁽¹⁰⁾

Bajo esta premisa se abre un abanico de interrogantes como la correcta, óptima y eficaz intervención para abordar la disfunción diafragmática, donde la electroestimulación transcutánea es la piedra angular de futuras investigaciones. Por tal razón, la presente revisión tiene como objetivo establecer la programación más adecuada mencionando la intensidad de la corriente eléctrica, la duración de los pulsos eléctricos, la frecuencia de estimulación, y el patrón de estimulación para mejorar la capacidad funcional del diafragma ya que, este músculo se ve mayormente afectado en el ingreso a UCI.

MÉTODOS

Tipo y diseño de estudio

En el presente trabajo se ha llevado a cabo una revisión sistemática de la literatura científica sobre la programación de la electroestimulación transcutánea en debilidad diafragmática inducida por ventilación mecánica dentro de los últimos 5 años.

Estrategia de búsqueda

La indagación y recopilación de información se llevó a cabo mediante el uso de bases de datos científicas, tales como Pubmed, Scielo, Google académico donde se logró localizar artículos vinculados a nuestro tema, utilizando las palabras clave como: “Transcutaneous electrostimulation” “Diaphragmatic weakness” “Mechanical ventilation. Esta búsqueda también se realizó utilizando una combinación de términos MeSH y conectores booleanos: “Transcutaneous electrostimulation AND Diaphragmatic weakness AND Mechanical ventilation”; “Transcutaneous electrostimulation AND “Mechanical ventilation”; “Transcutaneous electrostimulation OR Mechanical ventilation”. Dichos términos serán importantes en la elaboración de nuestra revisión sistemática. La elección de estas bases de datos se basa en la calidad y fiabilidad de la información que ofrecen, la investigación será realizada en el idioma inglés y español debido a su amplia información. Iniciamos nuestra revisión recopilando datos y nos encontramos con un conjunto inicial de 637 artículos.

Criterios de selección y valoración del estudio

Los criterios de inclusión para esta revisión fueron ensayos clínicos aleatorizados (ECA), estudios retrospectivos, estudio prospectivo, que hablaran acerca de la programación de la electroestimulación transcutánea en debilidad diafragmática inducida por ventilación mecánica, artículos en inglés y español, artículos que incluyan a pacientes bajo ventilación mecánica invasiva, indistintamente de la patología, edad o estado de conciencia, y aquellos que proporcionarán acceso gratuito y textos completos. Por otro lado, se excluyeron revisiones sistemáticas y estudios realizados en animales.

Siguiendo las directrices del modelo (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) PRISMA.⁽¹¹⁾ El procedimiento de búsqueda se muestra de la figura 1. Inicialmente, se identificaron 637 artículos para la revisión, una vez aplicados todos los criterios de inclusión y exclusión, y por no aportar información relevante para la investigación, finalmente los artículos incluidos para la revisión sistemática fueron 8.

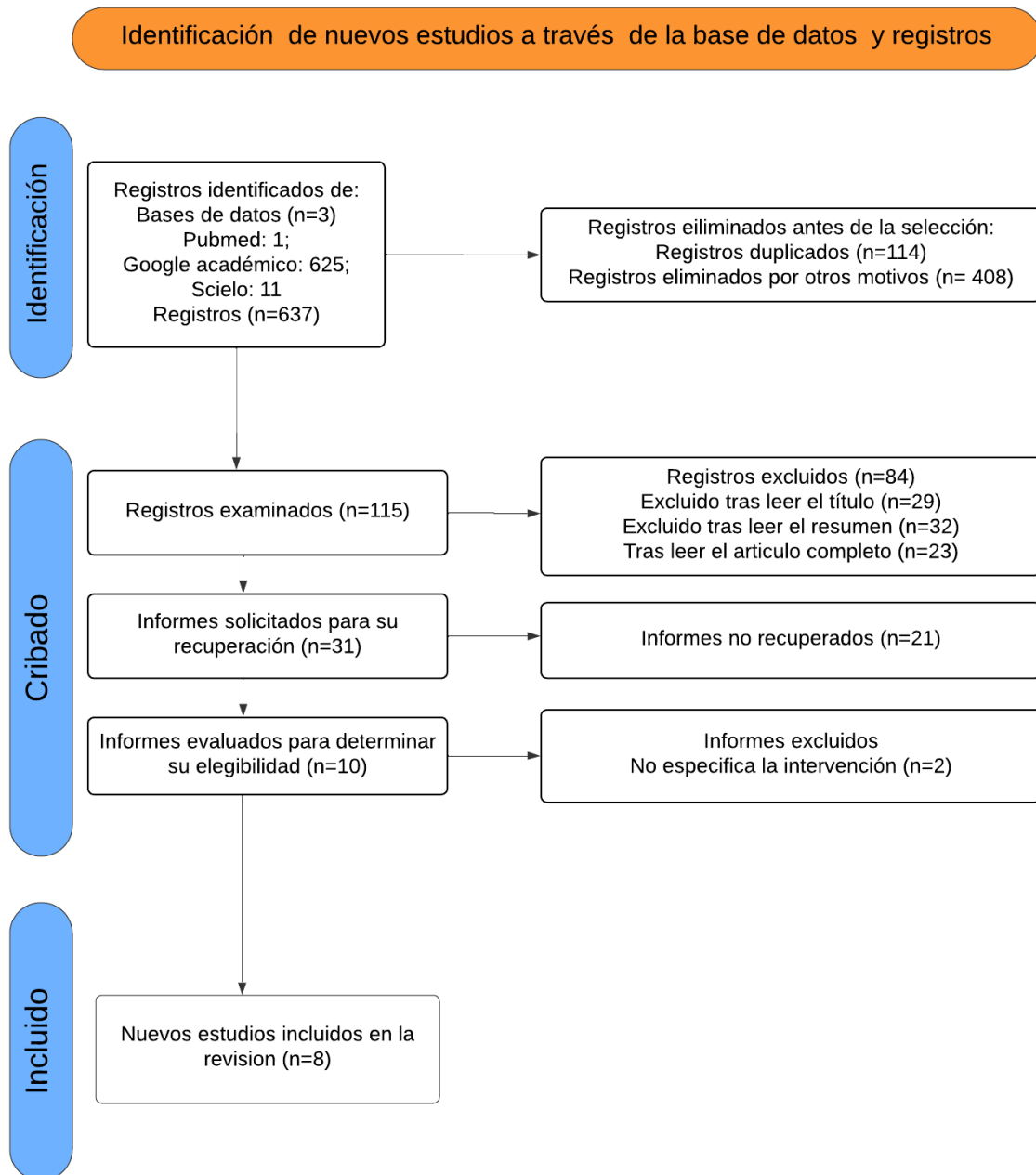


Figura 1. Diagrama de flujo de selección de los estudios PRISMA

Validación de la calidad metodológica

Se utilizó la Escala de Evidencia PEDRo (Physiotherapy Evidence Database). Dicha escala consta de 11 ítems destinados a valorar la calidad metodológica de las investigaciones científicas. Dichos ítems abordan elementos importantes relacionados con el diseño del estudio, la calidad de la información presentada y la validez de los

resultados.⁽¹²⁾

Se evaluó la calidad de la evidencia de los artículos seleccionados, que se detallan en la tabla 1. Mediante el uso de la Escala de PEDRo. De los 8 artículos revisados, se identificó 1 artículo con una calidad excelente, 6 artículos fueron considerados de buena calidad y 1 artículo fue considerado de calidad regular.⁽¹³⁾

Autores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total/10
(Cárdenas J et al., 2022)	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	7/10
(Medrinal et al., 2023)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10/10
(Hsin Y et al., 2022)	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	8/10
(Liu Y et al., 2023)	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	7/10
(Bu-Khaber HA, Abouelela AMZ, Abdelkarim EM 2019)	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	8/10
(Nagy L, Nassef, PhD, SMH M Sc, Awmy F, Rahmy Phd., 2022)	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	7/10
(Wu Y et al., 2024)	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6/10
(Duarte GL et al., 2021)												
(Duarte GL et al., 2021)	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5/10

RESULTADOS

En la tabla 1 se describen los resúmenes de los principales estudios utilizados para esta revisión sistemática.

Autor/Año	Tipo de estudio	Muestra	Intervención	Resultados
(Cárdenas J et al., 2022) ⁽⁷⁾	Ensayo clínico aleatorizado	32 pacientes en dos grupos: (GC=17) y (GI=15), mayores de 18 años, bajo soporte ventilatorio en la UCI.	Se aplicó una corriente bifásica sincrónica a 30 Hz, un ancho de 250 microsegundos con contracción de 5 segundos y relajación de 1:2, la intensidad se ajustó hasta que se observe contracciones musculares visibles. Se realizó durante 20 minutos, 4 veces al día por 3 días. El grupo de intervención recibió TENS mediante el dispositivo de rehabilitación Life-Care	Se registraron medidas del grosor diafragmático de $1,9 \pm 0,52$ mm en el grupo de intervención y $2,04 \pm 0,43$ mm en el grupo control, con un valor $p = 0,652$. Al finalizar, las medias de grosor diafragmático de intervención fueron de $2,3 \pm 0,55$ mm y de $1,7 \pm 0,55$ mm en el grupo control, con un valor $p = 0,002$.
(Medrinal et al., 2023) ⁽¹⁴⁾	Ensayo controlado aleatorizado con doble ciego	66 pacientes distribuidos en una proporción equitativa de 1:1, se incluyeron pacientes ingresados a UCI por neumonía y sin diagnóstico de COVID-19	Se aplicó una corriente interferencial a 50 Hz con impulsos de 300 ms, se ajustó la intensidad para producir una contracción muscular palpable. Cada ciclo consistió en 6 segundos de estimulación y 10 segundos de descanso, este proceso se repitió durante 20 minutos al día, 5 días a la semana.	Se evaluó el engrosamiento del diafragma y se encontró que más del 30 % del grupo TENS y más del 54 % del grupo control tuvieron un engrosamiento mayor al 30 % aunque la diferencia no fue significativa ($p=0,47$). También se analizó el PMI y PEF, pero no se encontró una diferencia importante ($p=0,469$ y $p=0,83$, respectivamente)
(Hsin Y et al., 2022) ⁽⁹⁾	Estudio prospectivo	Los pacientes con sepsis, enfermedades respiratorias cardiovasculares y cáncer recibieron ventilación mecánica durante 21 días y fueron asignados aleatoriamente a dos grupos: uno que recibió TENS ($n=29$) y otro grupo de control ($n=30$)	Se utilizaron pulsos eléctricos bifásicos con una frecuencia de 30 Hz, un ancho de pulso de 400 microsegundos y un tiempo de elevación de 0,7 segundos. La intensidad se incrementó progresivamente hasta que se notó una contracción muscular visible, con una duración de intervención de 30 minutos al día, durante 5 días a la semana. El GI recibió TENS mediante el estimulador comercial Omnistm 500.	Tras la aplicación del TENS se observó un aumento significativo en el Pmax en el grupo de intervención ($p=0,034$). Al finalizar el estudio se observaron cambios del volumen minuto, en el grupo TENS fue mayor al del grupo control ($p=0,008$). Además, se evaluó la tasa de éxito en el destete de la VM entre los dos grupos, en el grupo TENS muestra una tasa de destete más alta (90 %) y en el grupo control (66,7 %) ($p=0,021$).

(Liu Y et al., 2023) ⁽¹⁵⁾	Estudio prospectivo, aleatorio y controlado.	Un total de 80 pacientes con insuficiencia respiratoria bajo ventilación mecánica fueron asignados al azar en dos grupos: (GI=40) y (GC=40)	Se emplea una frecuencia de 50 Hz, un pulso de 300 microsegundos, estos pulsos tienen una fase de elevación de 1 segundo, una fase de estímulo de 3 segundos, una fase de desintegración de un segundo y una fase de relajación de 10 segundos. La intensidad se aumenta hasta observar una contracción muscular visible, durante 30 minutos al día. El GI recibió el tratamiento con un equipo llamado ResPower Respiratory Neuromuscular Stimulator	Después del tratamiento, se observó una variación en la fracción de engrosamiento diafragmático ($p=0,034$) fue más alto que en el GC. La duración de la VM en el GI fue muy corta en comparación con la del GC ($p=0,023$)
(Bu-Khaber HA, Abouelela AMZ, Abdelkarim EM 2019) ⁽¹⁶⁾	Un ensayo prospectivo, aleatorizado controlado con placebo	80 pacientes críticos que estuvieron bajo ventilación mecánica durante más de 24 horas, distribuidos en (GC=40) y (GI=40)	Se administran pulsos eléctricos bifásicos simétricos a una frecuencia de 50 Hz con una duración de pulsos de 200 microsegundos. El tiempo de estimulación es de 15 segundos, incluyendo 1 segundo para la subida y 1 segundo para la caída, a intensidades que puedan provocar contracciones musculares visibles principalmente de 100 a 150 mA. La estimulación se realiza una vez al día durante 1 hora con un periodo de calentamiento de 5 minutos y un periodo de recuperación de 5 minutos. Recibieron tratamiento con un equipo llamado Eldakr Digital Electronic Acupunctoscope	Durante los 3 primeros días de VM no se observaron diferencias significativas en el Medical Research Council (MRC) entre los dos grupos, en el día 4 MRC fue mayor en EMS (46,86) que en el GC (43,70) ($p=0,041$). A los 21 días, MRC fue aún mayor en GI (29,67) que en el GC (19,60) ($p=0,037$). Además, el GI mostró una menor duración en VM (9,01 días) vs GC (11,97 días) ($p=0,048$)
(Nagy L, Nassef, PhD, SMH M Sc, Awmy F, Rahmy Phd., 2022) ⁽¹⁷⁾	Ensayo clínico	30 pacientes del género masculino que fueron ventilados mecánicamente por Insuficiencia respiratoria se dividieron en dos grupos: (GI=15) y (GC=15)	La corriente eléctrica utilizada fue pulsada, bifásica y simétrica, con una frecuencia de 30 Hz y una duración de 200 microsegundos, aplicada en un periodo de 30 minutos. El equipo utilizado fue un estimulador muscular eléctrico digital Flexistem	Tras la aplicación del TENS, se observó un aumento significativo en el pH, la relación PaO ₂ /FiO ₂ y la SaO ₂ ($p<0,05$), mientras que los valores medios de PaO ₂ mostraron aumentos significativos tanto antes como después en ambos grupos, especialmente en el grupo TENS. El porcentaje de cambio fue de 27 % y 13 %. Además, el grupo TENS mostró tendencia a la disminución de la PaCO ₂ (-5,8 y 3,9 %) para el grupo de estudio y grupo control.
(Wu Y et al., 2024) ⁽¹⁸⁾	Estudio retrospectivo	Se registraron 205 pacientes que recibían VM para la función respiratoria tras la Hemorragia intracerebral (HIC) divididos en 2 grupos: (GI=72) (GC=133)	Durante 30 minutos, se aplicó una frecuencia de 50 Hz con una duración de pulsos de 300 milisegundos, un tiempo de subida de 1 segundo, un tiempo de estimulación de 3 segundos, un tiempo de caída de 1 segundos y un tiempo de relajación de 10 segundos. El GI recibió el tratamiento con un equipo llamado ResPower Respiratory Neuromuscular Stimulator	Se observó una reducción significativa en la duración de la VM ($9,8 \pm 2,1$ vs $11,2 \pm 2,6$) ($p<0,01$). También se asoció con una disminución en el periodo de estancia en UCI ($15,67 \pm 3,76$ vs $17,53 \pm 4,28$) ($p=0,002$) y el costo de hospitalización. Además, se asociada a disminución de neumonía por VM (73,61 % vs 86,46) ($p=0,022$) y mejoró la mortalidad a 30 días ($p<0,05$).
(Duarte GL et al., 2021) ⁽¹⁹⁾	Estudio de casos retrospectivos	Pacientes de la UCI sometidos a traqueotomía debido a una lesión de la médula espinal cervical. 4 pacientes recibieron TENS y 6 pacientes	Se aplicó una frecuencia de 30 Hz, un ancho de pulso de 1 milisegundo y un tiempo de subida 0,7 milisegundos, con una intensidad de corriente de 60 miliamperios. Se empleó en una unidad de	La duración total de la ventilación mecánica en el grupo tratado con TENS y PDE fue de 33 ± 15 y 60 ± 22 días, respectivamente. Asimismo, la estancia en UCI fue de 31 ± 18 días para el grupo de TENS y 63 ± 45 días para el grupo PDE.

<p>fueron sometidos a protocolo de destete estándar (PDE)</p>	<p>doble canal con electrodos autoadhesivos, llevando a cabo dos sesiones diarias de 20 minutos durante 7 días. El equipo utilizado fue Phrenics Dualpex Quark</p>
---	--

Abreviaturas: UCI, Unidad de cuidados intensivos; GC, Grupo control; GI, grupo de intervención; PMI, Presión muscular inspiratoria máxima; PEF, Flujo espiración forzado (Flujo de tos pico) ; Pemax, Presión espiratoria máxima; TENS, Electroestimulación transcutánea; SaO₂, Saturación arterial de oxígeno; PaO₂, Presión parcial de oxígeno arterial; PaCO₂, Presión parcial de dióxido de carbono en la sangre arterial; VM, ventilación mecánica; MRC, Medical Research Council; EMS, Estimulación Muscular Eléctrica; PDE, Protocolo destete estándar; HIC, Hemorragia intracerebral.

Se revisaron un total de 8 estudios que involucran a 250 participantes. Los resultados indicaron que la estimulación bifásica simétrica fue el patrón mayormente utilizado ya sea con una frecuencia de estimulación de 30 Hz hasta los 50 Hz resultaron efectivas y beneficiosas.^(7,9,14,15,16,17) Con respecto a la intensidad de la corriente eléctrica, según los estudios analizados gran parte de ellos mencionan que la intensidad se aumenta gradualmente hasta que se observe una contracción muscular visible.^(7,9,14,15,16) La duración de los pulsos eléctricos varió entre 200^(16,17) 250⁽⁷⁾ 300^(14,15,18) y 400 microsegundos,⁽⁹⁾ mostrando un efecto favorable con propiedades terapéuticas.

Según los estudios analizados en nuestra revisión revelaron una variedad de patologías presentes en los pacientes al momento de su ingreso a UCI. Los datos examinados destacaron la prevalencia de enfermedades como sepsis, hipertensión arterial sistémica, enfermedad renal crónica,⁽⁷⁾ neumonía,⁽¹⁴⁾ insuficiencia respiratoria,^(15,17) patologías cardiovasculares, trastornos neurológicos, cáncer,⁽⁹⁾ hemorragia intracraneal,⁽¹⁸⁾ y pacientes sometidos a traqueotomía debido a una lesión de la médula espinal cervical.⁽¹⁹⁾

Las variables más utilizadas para determinar la efectividad del TENS fue el valor del grosor diafragmático, junto con el valor de Pemax, se utilizó también la fracción del engrosamiento diafragmático para indicar la variación en el grosor del diafragma al final de la inspiración y espiración como también el empleo de análisis de gases en sangre. La variable con mayor índice de cambio fue el grosor diafragmático donde antes del tratamiento reflejaron medidas como en GI: $1,9 \pm 0,52$ mm y GC: $2,04 \pm 0,43$ mm ($p=0,652$), posterior al uso del TENS se registró una medida final de GI: $2,3 \pm 0,55$ mm y GC: $1,7 \pm 0,43$ mm ($p=0,002$) lo que presupone la efectividad del TENS.⁽⁷⁾ Además, después de la aplicación de este tratamiento hubo un aumento significativo del Pemax con un valor ($p=0,034$) lo cual indica que hubo una mejora en la función respiratoria de los pacientes.⁽⁹⁾ Mediante el uso del TENS también se observó un aumento en la fracción de engrosamiento diafragmático mayor al 20 %⁽¹⁴⁾ y un incremento del 13,1 % en comparación con el GC ($p=0,0034$).⁽¹⁵⁾ Se observó un aumento en la PaO₂, el pH, SaO₂ y la relación PaO₂/FiO₂ lo que sugiere una mejora en la oxigenación en pacientes ventilados mecánicamente.⁽¹⁷⁾ El análisis minucioso de estas variables destaca la importancia y efectividad del uso del TENS en pacientes bajo VM. Además de mejorar notablemente la función respiratoria y oxigenación, se destaca su capacidad para potenciar la funcionalidad del diafragma.

Los análisis de los estudios muestran que los pacientes admitidos en UCI tras recibir el tratamiento con TENS, su duración en UCI fue de 20,8 días \pm 6,1 días, los días de destete fueron de 8,3 \pm 6,1 días,⁽⁹⁾ también una duración en VM ($p=0,023$) una duración de intubación ($p=0,100$), una duración en UCI de ($p=0,615$) y una duración máxima de estadía hospitalaria de ($p=0,756$).⁽¹⁵⁾ Estos hallazgos sugieren que el tratamiento con TENS puede influir de manera positiva a la duración de la ventilación mecánica, sin afectar significativamente otros aspectos como de la atención hospitalaria y la estadía en la UCI.

En los estudios clínicos que se llevaron a cabo para investigar los efectos del TENS, se emplearon distintos equipos como Life-Care,⁽⁷⁾ Omnistm 500,⁽⁹⁾ ResPowr Respiratory Neuromuscular Stimulator,^(15,18) Flexistem Estimulador muscular eléctrico digital,⁽¹⁷⁾ Phrenics Dualpex Quark,⁽¹⁹⁾ Eldakr Digital Electronic Acupunctoscope,⁽¹⁶⁾ los pacientes seleccionados fueron sometidos a sesiones regulares de 20^(7,14,19) a 30^(15,17,18) minutos diarios de entre 3,⁽⁷⁾ 5^(9,14) y 7 días,⁽¹⁹⁾ sus respuestas fisiológicas y clínicas se controlaron cuidadosamente.

El análisis de los resultados primarios revela un panorama detallado de los efectos del TENS en la inspiratoria máxima y flujo espiratorio máximo de tos tuvieron un valor ($p=0,469$).⁽¹⁴⁾ También muestra resultados en la duración de VM ($p<0,01$), días en UCI ($p=0,002$), morbimortalidad mejoró a 30 días ($p<0,05$) costo de atención.⁽¹⁸⁾

DISCUSIÓN

En el presente estudio, los pacientes con debilidad diafragmática inducida por ventilación mecánica mostraron un aumento en su grosor diafragmático, un aumento en la tasa de destete y una mejora en la capacidad funcional del diafragma tras la intervención. En un estudio de Cárdenas et al.⁽⁷⁾ examinaron el uso del TENS para mejorar el grosor diafragmático en pacientes bajo soporte ventilatorio, utilizando las variables como una corriente bifásica simétrica, con un ancho de 250 microsegundos, una frecuencia de 30 Hz y una

intensidad que se ajuste hasta observar una contracción visible, los resultados informaron que en el grupo de intervención hubo un aumento significativo del grosor diafragmático, es decir, menor atrofia muscular en pacientes bajo VM.

Al igual que el estudio de Hsin *et al.*⁽⁹⁾ quienes estudiaron los efectos del TENS en pacientes con ventilación mecánica prolongada utilizando variables como una corriente bifásica, una frecuencia de 30 Hz, un ancho de pulso de 400 microsegundos y una intensidad hasta lograr una contracción palpable, se observó un aumento significativo del Pemax ($p=0,034$) y una mayor tasa de destete (90 % $p=0,021$), por ende, el TENS puede ayudar al destete en esta población, además de promover el fortalecimiento de los músculos respiratorios en pacientes con VM prolongada.

Nuestro estudio se suma al conjunto de investigaciones existentes al respaldar las conclusiones de estudios previos en este tema. Por ejemplo, coincidiendo con los hallazgos de Duarte *et al.*⁽¹⁹⁾ quienes utilizaron una frecuencia de 30 Hz, un ancho de pulso de 1 milisegundo y un tiempo de subida 0,7 milisegundos, con una intensidad de corriente de 60 miliamperios, se logró observar que la aplicación del TENS durante la ventilación mecánica puede ser una estrategia efectiva para acortar la duración de la VM y potencialmente una disminución de la estancia en UCI, lo que podría tener importantes implicaciones para la gestión y resultados clínicos de los pacientes críticamente enfermos. Al sumar nuestros resultados a la literatura científica ya existente, se refuerza el fundamento de conocimiento que respalda el uso del TENS para mejorar la capacidad funcional del diafragma.

Por otro lado, los hallazgos de nuestro estudio contradicen a los resultados de Medrinal *et al.*⁽¹⁴⁾ quienes usaron una corriente interferencial a 50 Hz con impulsos de 300 ms, se ajustó la intensidad para producir una contracción muscular palpable, los autores evaluaron el efecto del TENS en la función del diafragma en pacientes críticamente enfermos con una intervención placebo e informaron que el uso del TENS no prevenía la disfunción del diafragma o la atrofia muscular, ya que, no se observaron mejoras significativas en los resultados que son considerados importantes desde el punto de vista clínico.

En esta investigación se encontró diferentes enfoques para abordar la debilidad diafragmática inducida por ventilación mecánica, entre los cuales se destaca el estudio de Dos Santos *et al.*⁽²⁰⁾ quienes utilizaron una variable de 45 Hz, 400 microsegundos, una corriente simétrica bifásica y una intensidad hasta observar una contracción visible en los músculos femoral, vasto medial y vasto lateral. Es importante destacar que sus hallazgos discrepan con las conclusiones de algunos estudios revisados en nuestra investigación, ya que, su estudio nos dice que la combinación de la estimulación eléctrica neuromuscular con ejercicios (flexión, extensión, abducción, rotación interna y externa de hombro, tobillo, muñeca y cadera) fue bien tolerado por el paciente y condujo a una reducción significativa en la duración de la VM evitando la atrofia del diafragma y promoviendo su fortalecimiento.

Nuestros hallazgos resaltan el empleo de la estimulación del nervio frénico como una alternativa que está tomando fuerza dentro de las UCI para combatir la debilidad del diafragma. Un estudio de Soták *et al.*⁽²¹⁾ descubrieron que este tratamiento produjo resultados significativamente importantes para reducir la velocidad de su atrofia durante la VM, aumenta el grosor del diafragma y mantiene su fuerza muscular. En este estudio, los investigadores utilizaron la guía de ultrasonido para colocar los electrodos de estimulación multipolar cerca del nervio frénico, en el área del cuello. Estos resultados destacan la importancia y el potencial de la estimulación del nervio frénico como una opción terapéutica eficaz para mejorar la función respiratoria y la recuperación de los pacientes en UCI.

Uno de los beneficios que destaca el uso del TENS es su capacidad para acelerar la tasa de destete en pacientes ventilados al mejorar la función respiratoria y reducir la dependencia del soporte ventilatorio, en los estudios analizados la tasa de éxito de destete fue de ($p=0,021$)⁽⁹⁾ y ($p=0,25$).⁽¹⁸⁾ Sin embargo, actualmente no existe suficiente evidencia para respaldar su eficacia en aumentar la probabilidad de una extubación exitosa en pacientes con VM. Por otro lado, es esencial reconocer que el fortalecimiento del diafragma constituye solo una parte del cuidado integral de los pacientes en la UCI. Aspectos cruciales como la gestión óptima del soporte ventilatorio para prevenir complicaciones como el volutrauma, barotrauma y atelectrauma, junto con la administración de apoyo nutricional y una vigilancia médica constante, son elementos esenciales para reducir la tasa de fallo en la extubación y promover una recuperación rápida y exitosa.

CONCLUSIONES

Tras la revisión sistemática de estudios que abordan la programación de la electroestimulación transcutánea en debilidad diafragmática inducida por ventilación mecánica se evidenció que los patrones mayormente utilizados son la corriente bifásica simétrica, la frecuencia de estimulación que se utilizó mayormente es de 30 Hz y 50 Hz, la intensidad se aumenta progresivamente hasta observar una contracción visible y/o palpable y la duración de pulsos eléctricos varió de entre 200 a 400 microsegundos. Estas variables resaltan la habilidad que tiene el TENS para mejorar la capacidad funcional del diafragma facilitando así al proceso de destete. En resumen, el éxito en el tratamiento con el uso del TENS requiere de una comprensión completa y precisa de

sus variables, así como su aplicación cuidadosa para maximizar los beneficios terapéuticos y mejorar la calidad de vida del paciente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vassilakopoulos T. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: the clinical relevance of animal models. *Intensive Care Med* [Internet]. 1 de enero de 2008 [citado 19 de abril de 2024];34(1):7-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0866-x>
2. Vassilakopoulos T, Zakyntinos S, Roussos C. Bench-to-bedside review: Weaning failure - should we rest the respiratory muscles with controlled mechanical ventilation? *Crit Care* [Internet]. 2006 [citado 19 de abril de 2024];10(1):204. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1550863/>
3. Vassilakopoulos T, Petrof BJ. Ventilator-induced Diaphragmatic Dysfunction. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. febrero de 2004 [citado 19 de abril de 2024];169(3):336-41. Disponible en: <https://www.atsjournals.org/doi/10.1164/rccm.200304-489CP>
4. Petrof BJ, Jaber S, Matecki S. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction: Current Opinion in Critical Care [Internet]. febrero de 2010 [citado 19 de abril de 2024];16(1):19-25. Disponible en: <http://journals.lww.com/00075198-201002000-00005>
5. Itagaki T. Diaphragm-protective mechanical ventilation in acute respiratory failure. 2022;69.
6. Salazar Coba SD, Guerrero Toapanta F, Del Pozo G. Caracterización demográfica y epidemiológica de la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín de los años 2014, 2015 y 2016.
7. Cárdenas Favela JC, Godínez García F, Beltrán de la Luz MG, Juárez González CE, Hernández González MA. Terapia de electroestimulación para el tratamiento de la atrofia diafragmática inducida por ventilación mecánica [Internet]. [citado 19 de abril de 2024]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-89092022000100050
8. Ruiz C, Díaz MÁ, Zapata JM, Bravo S, Panay S, Escobar C, et al. Características y evolución de los pacientes que ingresan a una Unidad de Cuidados Intensivos de un hospital público. *Revista médica de Chile* [Internet]. octubre de 2016 [citado 19 de abril de 2024];144(10):1297-304. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-98872016001000009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
9. Hsin YF, Chen SH, Yu TJ, Huang CC, Chen YH. Effects of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation on respiratory function in patients with prolonged mechanical ventilation. *Ann Thorac Med* [Internet]. 2022 [citado 19 de abril de 2024];17(1):14-20. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8809123/>
10. Marcos F, Noelia PFS, Claudia D, Matías G, Eduardo D, Magdalena B, et al. Electroestimulación en el paciente crítico. 2018;18.
11. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol* [Internet]. 1 de septiembre de 2021 [citado 19 de abril de 2024];74(9):790-9. Disponible en: <http://www.revespcardiol.org/es-declaracion-prisma-2020-una-guia-articulo-S0300893221002748>
12. Cascaes da Silva F, Valdivia Arancibia BA, da Rosa Iop R, Barbosa Gutierrez Filho PJ, da Silva R. Escalas y listas de evaluación de la calidad de estudios científicos. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud* [Internet]. septiembre de 2013 [citado 19 de abril de 2024];24(3):295-312. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2307-21132013000300007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
13. Foley NC, Teasell RW, Bhogal SK, Speechley MR. Stroke Rehabilitation Evidence-Based Review: methodology. *Top Stroke Rehabil*. 2003;10(1):1-7.
14. Medrinal C, Machefert M, Lamia B, Bonnevie T, Gravier FE, Hilfiker R, et al. Transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation in mechanically ventilated patients: a randomised study. *Crit Care* [Internet]. 30

de agosto de 2023 [citado 19 de abril de 2024];27:338. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10469422/>

15. Liu Y, Gong Y, Zhang C, Meng P, Gai Y, Han X, et al. Effect of neuromuscular electrical stimulation combined with early rehabilitation therapy on mechanically ventilated patients: a prospective randomized controlled study. *BMC Pulm Med* [Internet]. 21 de julio de 2023 [citado 19 de abril de 2024];23:272. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10362773/>

16. Abu-Khaber HA, Abouelela AMZ, Abdelkarim EM. Effect of electrical muscle stimulation on prevention of ICU acquired muscle weakness and facilitating weaning from mechanical ventilation. *Alexandria Journal of Medicine* [Internet]. 1 de diciembre de 2013 [citado 19 de abril de 2024];49(4):309-15. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2013.03.011>

17. Nagy L. Nassef, Ph.D. SMH M Sc;, Awny F. Rahmy, Ph.D. MMEB. Outcome Measures of Acute Transcutaneous Electrical Diaphragmatic Stimulation in Mechanically Ventilated Patients. *The Medical Journal of Cairo University* [Internet]. 1 de septiembre de 2022 [citado 19 de abril de 2024];90(9):1743-8. Disponible en: https://mjcu.journals.ekb.eg/article_272625.html

18. Wu Y, Wang S, Zhang J, Wang Y, Zhong J, Wang Y. Effects of diaphragm electrical stimulation in treating respiratory dysfunction on mechanical ventilation after intracerebral hemorrhage: A single-center retrospective study. *Medicine* [Internet]. 5 de enero de 2024 [citado 19 de abril de 2024];103(1):e36767. Disponible en: https://journals.lww.com/md-journal/fulltext/2024/01050/effects_of_diaphragm_electrical_stimulation_in.55.aspx

19. Duarte GL, Bethiol AL, Ratti L dos SR, Franco G, Moreno R, Tonella RM, et al. Transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation reduces the duration of invasive mechanical ventilation in patients with cervical spinal cord injury: retrospective case series. *Spinal Cord Ser Cases* [Internet]. 9 de abril de 2021 [citado 19 de abril de 2024];7(1):1-6. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41394-021-00396-4>

20. dos Santos FV, Cipriano Jr G, Vieira L, Güntzel Chiappa AM, Cipriano GBF, Vieira P, et al. Neuromuscular electrical stimulation combined with exercise decreases duration of mechanical ventilation in ICU patients: A randomized controlled trial. *Physiotherapy Theory and Practice* [Internet]. 3 de mayo de 2020 [citado 19 de abril de 2024];36(5):580-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09593985.2018.1490363>

21. Soták M, Roubík K, Henlín T, Tyll T. Phrenic nerve stimulation prevents diaphragm atrophy in patients with respiratory failure on mechanical ventilation. *BMC Pulmonary Medicine* [Internet]. 8 de octubre de 2021 [citado 19 de abril de 2024];21(1):314. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12890-021-01677-2>

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Elizabeth Patricia Sangoquiza Chicaiza.

Curación de datos: Elizabeth Patricia Sangoquiza Chicaiza.

Análisis formal: Elizabeth Patricia Sangoquiza Chicaiza.

Investigación: Elizabeth Patricia Sangoquiza Chicaiza.

Metodología: Elizabeth Patricia Sangoquiza Chicaiza.

Supervisión: Elizabeth Patricia Sangoquiza Chicaiza, Stalin Javier Caiza Lema.

Redacción - borrador original: Elizabeth Patricia Sangoquiza Chicaiza, Stalin Javier Caiza Lema.

Redacción - revisión y edición: Elizabeth Patricia Sangoquiza Chicaiza, Stalin Javier Caiza Lema.