



doi: 10.35366/104476

Terapia de electroestimulación para el tratamiento de la atrofia diafragmática inducida por ventilación mecánica

Electrostimulation therapy for the treatment of diaphragmatic atrophy induced by mechanical ventilation

Terapia de eletroestimulação para o tratamento da atrofia diafragmática induzida por ventilação mecânica

Juan Carlos Cárdenas Favela,* Francisco Godínez García,* María Gabriela Beltrán de la Luz,* Cecilia Eloisa Juárez González,* Martha Alicia Hernández González*

RESUMEN

Introducción: La atrofia y disfunción del músculo diafragmático es frecuente en pacientes sometidos a ventilación mecánica. La terapia de electroestimulación diafragmática transcutánea (TEDT) ha demostrado mejorar la fuerza en pacientes con debilidad muscular; sin embargo, no ha sido evaluada como tratamiento para la atrofia en la disfunción diafragmática inducida por ventilación mecánica (DDIVM).

Objetivo: Determinar si la TEDT puede mejorar el grosor diafragmático de los pacientes que se encuentran bajo ventilación mecánica.

Material y métodos: Se realizó un ensayo clínico aleatorizado en dos grupos independientes: un grupo intervención con 15 pacientes y un grupo control con 17 pacientes. El grupo de intervención recibió TEDT con sesiones de 20 minutos cada seis horas en las 72 horas subsiguientes a su inclusión al estudio. El grosor diafragmático basal fue medido mediante ecografía en ambos grupos, después de la TEDT para el grupo intervención y 72 horas después en el grupo control.

Resultados: De los 32 pacientes evaluados se documentó una media de grosor diafragmático inicial para el grupo control de 2.04 ± 0.43 mm y de 1.9 ± 0.52 mm para el grupo intervención con un valor de $p = 0.652$. Posterior a la intervención, se registró una media de grosor diafragmático final de 1.7 ± 0.43 mm para el grupo control y 2.3 ± 0.55 mm para el grupo intervención con un valor de $p = 0.002$ al comparar ambos grupos.

Conclusión: Se encontró diferencia estadísticamente significativa en ambos grupos al aplicar la TEDT, evidenciando un aumento del grosor diafragmático basal en el grupo intervención y disminución del mismo en el grupo control.

Palabras clave: Ventilación mecánica, atrofia diafragmática, terapia de electroestimulación diafragmática, grosor diafragmático.

ABSTRACT

Introduction: Muscle involvement in critically ill patients is present in the majority of those admitted to the intensive care unit, including alteration of the diaphragmatic muscle, especially during mechanical ventilation (MV). Transcutaneous diaphragmatic electrostimulation therapy (TEDT) has been shown to improve respiratory strength in patients with muscle weakness. However, it has not been evaluated as a treatment for atrophy in Ventilation-Induced Diaphragmatic Dysfunction (DDIVM).

Objective: To determine if TEDT can improve diaphragmatic thickness in patients undergoing mechanical ventilation.

Material and methods: A randomized clinical trial was carried out in two independent groups: an intervention group with 15 patients and a control group with 17 patients. The intervention group received TEDT with sessions of 20 minutes every 6 hours in the 72 hours after their inclusion in the study. Baseline diaphragm thickness was measured by ultrasound in both groups, after TEDT for the intervention group and 72 hours later in the control group.

Results: Of the 32 patients evaluated, a mean initial diaphragmatic thickness was documented for the control group of 2.04 ± 0.43 mm and of 1.9 ± 0.52 mm for the intervention group with a p value of 0.652. After the intervention, a mean final diaphragmatic thickness of 1.7 ± 0.43 mm was recorded for the control group and 2.3 ± 0.55 mm for the intervention group with a p value of 0.002 when comparing both groups.

Conclusion: A statistically significant difference was found in both groups when applying TEDT, showing an increase in baseline diaphragmatic thickness in the intervention group and a decrease in it in the control group.

Keywords: Mechanical ventilation, diaphragmatic atrophy, diaphragmatic electrostimulation therapy, diaphragmatic thickness.

RESUMO

Introdução: Atrofia e disfunção do músculo diafragmático é comum em pacientes submetidos à ventilação mecânica. A terapia de estimulação elétrica diafragmática transcutânea (TEDT) demonstrou melhorar a força em pacientes com debilidade muscular, mas não foi avaliada como tratamento para atrofia na disfunção diafragmática induzida pela ventilação (DDIVM).

Objetivo: Determinar se a TEDT pode melhorar a espessura diafragmática de pacientes com ventilação mecânica.

Material e métodos: Realizou-se um ensaio clínico randomizado em 2 grupos independentes: um grupo intervenção com 15 pacientes e um grupo controle com 17 pacientes. O grupo intervenção recebeu TEDT com sessões de 20 minutos a cada 6 horas por 72 horas após a inclusão no estudo. A espessura diafragmática basal foi medida por ultra-som em ambos os grupos, após TEDT para o grupo de intervenção e 72 horas depois no grupo controle.

Resultados: Dos 32 pacientes avaliados, (17 grupo controle, 15 grupo intervenção) documentou-se uma média da espessura diafragmática basal para o grupo controle de 2.04 ± 0.43 mm e 1.9 ± 0.52 mm para o grupo intervenção com um valor de $p = 0.652$. Após a intervenção, foi registrada uma espessura média final do diafragma de 1.7 ± 0.43 mm para o grupo controle e 2.3 ± 0.55 mm para o grupo intervenção, com valor de $p = 0.002$ na comparação entre os dois grupos.

Conclusão: Encontrou-se diferença estatisticamente significativa em ambos os grupos na aplicação do TEDT, mostrando aumento da espessura basal do diafragma no grupo intervenção e diminuição da mesma no grupo controle.

Palavras-chave: Ventilação mecânica, atrofia diafragmática, terapia de eletroestimulação diafragmática, espessura diafragmática.

INTRODUCCIÓN

La alteración muscular en el paciente crítico es un problema frecuente en la mayoría de los pacientes que ingresan al Servicio de Medicina Crítica. La atrofia y disfunción, en particular del músculo diafragmático, se ha estudiado en los últimos años y se ha demostrado plenamente en pacientes sometidos a ventilación mecánica (VM).¹ Casi 40% de los pacientes ventilados mecánicamente presentarán dificultades para el retiro del soporte. Un retraso en la desconexión puede implicar una estancia prolongada, peor pronóstico,² así como aumento de la mortalidad en casi 12% respecto a los pacientes que no la presentan.³ Hasta 80% de los pacientes que cursan su estancia en una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) pueden desarrollar disfunción diafragmática al ingreso o durante la estancia posterior. La evidencia clínica ha revelado que agrava la neumonía asociada al ventilador, provoca fallo de la extubación, aumenta la mortalidad hospitalaria y la dependencia del ventilador, así como los costos en salud.⁴

* Unidad Médica de Alta Especialidad del Bajío T1, IMSS. León, Guanajuato, México.

Recibido: 25/09/2020. Aceptado: 19/03/2021.

Citar como: Cárdenas FJC, Godínez GF, Beltrán LMG, Juárez GCE, Hernández GMA. Terapia de electroestimulación para el tratamiento de la atrofia diafragmática inducida por ventilación mecánica. Med Crit. 2022;36(1):50-54. <https://dx.doi.org/10.35366/104476>

Tabla 1: Características basales al inicio del estudio.

Características	Grupo intervención N = 15 n (%)	Grupo control N = 17 n (%)	p
Edad (años)*	51.3 ± 18.5	49.6 ± 21.4	0.8
Sexo			
Femenino	6 (40.0)	8 (47.1)	0.6
Masculino	9 (60.0)	9 (52.9)	
Índice de masa corporal (media)	27.3 ± 4.1	28.3 ± 4.5	0.5
Modalidad de ventilación mecánica			
Controlado por volumen	14 (93.3)	15 (88.2)	0.6
Controlado por presión	1 (6.7)	2 (11.8)	
Relación PaO ₂ /FiO ₂ *	199.2 ± 38.0	217 ± 166.4	0.4
PEEP*	5.4 ± 1.05	5.4 ± 0.93	0.9
Diabetes mellitus	4 (26.7)	4 (23.5)	0.8
Hipertensión arterial sistémica	7 (46.7)	9 (52.9)	0.7
Enfermedad renal crónica	7 (46.7)	4 (23.5)	0.1
Sepsis	7 (46.7)	4 (23.5)	0.1
Uso de vasopresor	3 (20.0)	3 (17.6)	1.0
Días de ventilación al momento del ingreso al estudio*	4.9 ± 3.1	3.8 ± 3.3	0.1

* Valores expresados en media ± desviación estándar.

PEEP = presión positiva al final de la espiración.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño. Se trata de un ensayo clínico aleatorizado, llevado a cabo en un hospital de atención terciaria y aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica de la Unidad Médica de Alta Especialidad del Bajío T1, Instituto Mexicano del Seguro Social, en el periodo de mayo de 2019 a noviembre de 2019. Se incluyeron en el estudio pacientes hospitalizados en la Unidad de Cuidados Intensivos, mayores a 18 años, que se encontraban bajo soporte ventilatorio y que aceptaron bajo consentimiento informado la aplicación de electroestimulación diafragmática.

Aleatorización y tamaño de la muestra. Se realizó aleatorización de los casos mediante método de sobres cerrados. El tamaño de la muestra se calculó con base en los resultados publicados por Raúl Ruiz Pérez y colaboradores.¹⁴ Se obtuvo, por lo tanto, un poder de la prueba de 80% y un nivel de significancia de 0.05, con una muestra calculada de 40 pacientes divididos en dos grupos independientes: un grupo de intervención y un grupo control (20 pacientes por grupo). Durante el proceso se reclutaron 32 pacientes en total: 17 del grupo control y 15 del grupo intervención (*Tabla 1*); se alcanzó un poder estadístico del 80%. El grupo intervención recibió electroestimulación diafragmática transcutánea mediante dispositivo de rehabilitación Life-Care de 4 canales basado en el protocolo de electroestimulación estipulado por Geddes y colegas,¹⁵ el cual establece que la estimulación diafragmática se realiza con cuatro electrodos de silicón-carbono de 5 × 5 cm, dos electrodos situados en el tercer espacio intercostal cerca del apéndice xifoides y en el séptimo espacio intercostal en la línea medio axilar, con una duración de 20 minutos cada sesión, otorgando a estos pacientes cuatro sesiones al día (cada seis horas) durante los tres días posteriores a su ingreso al estudio.

Intervención. Para la electroestimulación se programaron los siguientes parámetros: tipo de corriente EMS (electro-estimulación-muscular), corriente bifásica y sincrónica, frecuencia 30 Hz, ancho de pulso 250 microsegundos, rampa 5s (contracción), trabajo 1:2 (descanso), intensidad a demanda del paciente (contracción palpable/visible), tiempo por sesión: 20 minutos cuatro veces al día. Duración de la intervención: tres días. Se realizó una medición ultrasonográfica del diafragma al momento del ingreso del paciente al estudio y tres días después del inicio de la intervención. Para medir el grosor diafragmático se utilizó un transductor microconvexo de 10 MHz localizando a través del séptimo espacio intercostal la línea media axilar, sitio en el que se identificó la hoja pleural y peritoneal, ambas hiperecoicas, delimitando entre éstas el músculo diafragma y mediante modo M se realizó la medición del grosor en reposo (*Figura 1*); para fines del estudio

En las últimas décadas se ha determinado que la disfunción diafragmática inducida por la ventilación (DDIV) es una complicación más de la VM.⁵ Estudios previos ya habían descrito que la completa inactividad diafragmática genera una pérdida rápida y progresiva de la función.^{6,7} La DDIV se define como la pérdida de la capacidad para generar fuerza en conjunto con lesión y atrofia muscular tras el inicio de la VM.⁸ La importancia clínica de la DDIV radica en su pronta aparición y afecta hasta 65% de los pacientes ventilados.⁹ Existen ensayos clínicos que han evaluado la terapia de electroestimulación diafragmática transcutánea (TEDT), tal es el estudio de Cancellero y colaboradores, quienes en 2012 realizaron un ensayo clínico aleatorizado en el que se realizaron pruebas de función pulmonar mediante espirometría antes y después de la intervención, mostrando un aumento en la presión inspiratoria máxima, así como en la saturación de oxígeno a diferencia del grupo control.¹⁰

El presente estudio evaluó el uso de la terapia de electroestimulación diafragmática como tratamiento de la atrofia diafragmática inducida por VM, tal intervención ya ha sido evaluada en estudios previos, concluyendo mejoría en parámetros respiratorios y seguridad en la implementación; sin embargo, no ha sido estudiada como tratamiento de la atrofia diafragmática inducida por la VM.¹¹⁻¹³

se consideró normal un grosor diafragmático en reposo de $2 \text{ mm} \pm 0.02$. Las medidas se realizaron al momento de la inclusión del paciente al estudio y después de tres días de intervención, las mismas mediciones se realizaron en los mismos periodos de tiempo para el grupo control.

RESULTADOS

Se documentaron medias de grosor diafragmático inicial de $1.9 \pm 0.52 \text{ mm}$ en el grupo intervención y 2.04 ± 0.43 en el grupo control, con un valor de $p = 0.652$, traduciendo homogeneidad antes de iniciar la intervención. Las medias de grosor diafragmático final en el grupo intervención fueron de $2.3 \pm 0.55 \text{ mm}$ y de $1.7 \pm 0.55 \text{ mm}$ en el grupo control, con un valor de $p = 0.002$ (Tablas 2 y 3), lo cual muestra diferencia estadísticamente significativa entre los grupos, evidenciando ganancia del grosor en el primero y disminución del mismo en el segundo (Tabla 4 y Figura 2).

DISCUSIÓN

Nuestro estudio encontró una diferencia estadísticamente significativa en el grosor diafragmático posterior a la TEDT. Es importante recordar que la mortalidad aumenta con cada día adicional de ventilación mecánica,¹⁶ por lo que deben continuar todos los esfuerzos para disminuir este riesgo en los pacientes críticamente

enfermos y bajo soporte ventilatorio. Existen estudios en modelos animales que sugieren que mantener el diafragma activo durante la VM reduce el desarrollo de DDIV.¹⁷ Este potencial para prevenir la DDIV requiere ser evaluado en humanos, hace falta una evidencia sólida que demuestre la utilidad del entrenamiento muscular inspiratorio para acelerar el destete de la VM.^{18,19} El entrenamiento muscular inspiratorio es difícil de administrar y estandarizar, a pesar de esto, la capacidad de los marcapasos diafragmáticos para reacondicionar la atrofia ha sido validada durante mucho tiempo por los estudios realizados con estimuladores implantados quirúrgicamente en pacientes cuadripléjicos con lesiones medulares cervicales altas.²⁰ En el contexto de paciente ventilado «agudo», los estudios en animales han demostrado que el entrenamiento inspiratorio con marcapasos diafragmático cuando se superpone a VM puede mitigar el desarrollo de DDIV.²¹ El problema es que la implantación quirúrgica no es práctica. La estimulación magnética del nervio frénico tampoco es una opción, puesto que se vuelve engorrosa y no está al alcance de todas las unidades. Hay estudios que justifican el uso de la terapia de electroestimulación diafragmática transcutánea (TEDT), tal es el estudio de Cancellero y colaboradores, quienes en 2012 realizaron un ensayo clínico aleatorizado con el objetivo de demostrar la utilidad de dos protocolos: protocolo Geddes y protocolo con parámetros establecidos por el fabricante Phrenics®. El estudio describe un beneficio para los grupos de inter-

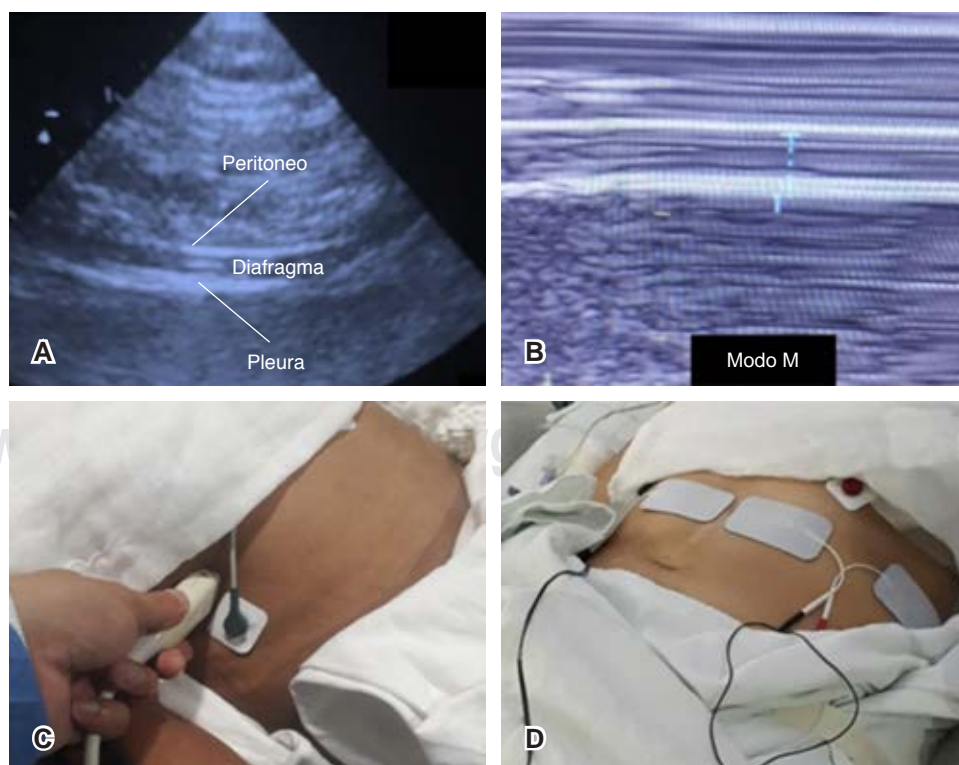


Figura 1: A) Descripción de las estructuras identificadas en la ecografía diafragmática. B) Medición del grosor diafragmático en reposo en modo «M». C) Sitio de colocación del transductor. D) Colocación de electrodos para la TEDT.

Tabla 2: Prueba t de Student de muestras independientes para comparar ambos grupos antes de la intervención.

Grosor diafragmático inicial (mm)	t	Grados de libertad	Significación (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	IC 95%	
						Inferior	Superior
Grupo intervención/control	0.463	30	0.646	0.08118	0.17519	-0.27661	0.43896

No se observó diferencia en ambos grupos en cuanto al grosor diafragmático en mm al iniciar el estudio.

Tabla 3: Prueba t de Student de muestras independientes para comparar ambos grupos después de la terapia de electroestimulación diafragmática transcutánea.

Grosor diafragmático final (mm)	t	Grados de libertad	Significación (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	IC 95%	
						Inferior	Superior
Grupo intervención/control	-3.426	30	0.002	-0.58353	0.17046	-0.93166	-0.23540

Se observó diferencia estadísticamente significativa en el grosor diafragmático final.

Tabla 4: Registro de las medias de grosor diafragmático de ambos grupos antes y después de la intervención.

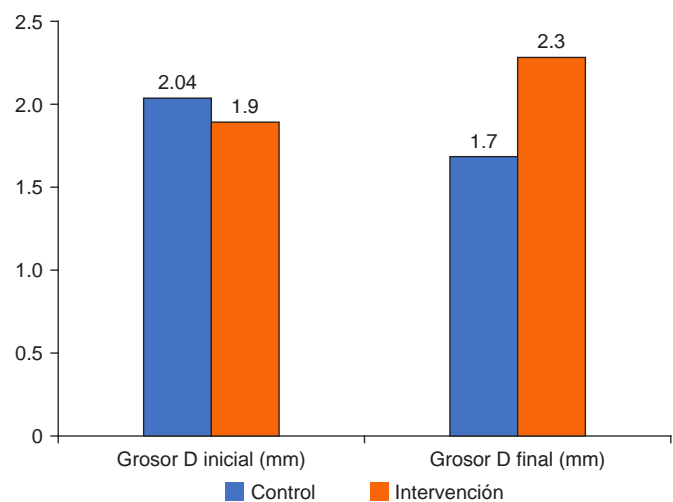
	Grupo	Media \pm DE
Grosor diafragmático inicial (mm)	Intervención	1.9 \pm 0.52
	Control	2.04 \pm 0.43
Grosor diafragmático final (mm)	Intervención	2.3 \pm 0.55
	Control	1.7 \pm 0.43
Sesiones de electroestimulación otorgadas	Intervención	10.2 \pm 1.3
	Control	

No se reportaron eventos adversos asociados a la terapia de electroestimulación diafragmática transcutánea.
DE = desviación estándar.

Intervención, medido a través de pruebas de función pulmonar, encontraron en ambos grupos experimentales un aumento en la presión inspiratoria máxima, así como de la saturación de oxígeno, esto comparado con el grupo control.¹⁰ Otro estudio realizado por Cancellero, en 2013, incluyó a 15 pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica, se dividieron en respondedores y no respondedores a la TEDT, los resultados indicaron un aumento en la SpO₂ de 2% y disminución de la frecuencia cardíaca en ambos grupos,¹¹ no se documentaron efectos adversos relacionados con la terapia de electroestimulación diafragmática. Por último, en un metaanálisis realizado por Burke y su equipo, que incluyó un análisis de 5,962 pacientes, sólo se documentó una quemadura superficial asociada al uso inadecuado del equipo.¹² En nuestro estudio no se documentaron efectos adversos asociados a la TEDT.

CONCLUSIÓN

Los resultados muestran un incremento del grosor diafragmático posterior al uso de TEDT, es decir, menor atrofia

**Figura 2:** Cambios del grosor diafragmático antes y después de la intervención.

en los pacientes bajo ventilación mecánica sometidos a la intervención. Con base en lo anterior, ponemos a consideración su implementación como parte del tratamiento. Es importante realizar estudios posteriores que incluyan valores dinámicos como la excursión diafragmática, fracción de acortamiento y con ello determinar si existe o no mejoría en cuanto a la función muscular al aplicar la TEDT.

REFERENCIAS

1. Irene Dot, Purificación Pérez Terán, Manuel Andrés Samper, et al. Disfunción diafragmática: una realidad en el paciente ventilado mecánicamente. *Arch Bronconeumol.* 2017;53(3):150-156.
2. Hermans G, van den Berghe G. Clinical review: intensive care unit acquired weakness. *Crit Care.* 2015;19:274.
3. Dreyfuss D, Saumon G. State of the art: ventilator-induced lung injury. *Am J Respir Crit Care Med.* 1998;157:294-323.

4. Demoule A, Molinari N, Jung B, et al. Patterns of diaphragm function in critically ill patients receiving prolonged mechanical ventilation: a prospective longitudinal study. *Ann Intensive Care*. 2016;6:75.
5. Jubran A. Critical illness and mechanical ventilation: Effects on the diaphragm. *Respir Care*. 2006;51:1054-1061.
6. Sassoon CSH, Caiozzo VJ, Manka A, et al. Altered diaphragm contractile properties with controlled mechanical ventilation. *J Appl Physiol*. 2002;92:2585-2595.
7. Powers SK, Shanely RA, Coombes JS, et al. Mechanical ventilation results in progressive contractile dysfunction in the diaphragm. *J Appl Physiol*. 2002;92:1851-1858.
8. Marin-Corral J, Dot I, Bogaña M, et al. Structural differences in the diaphragm of patients following controlled vs assisted and spontaneous mechanical ventilation. *Intensive Care Med*. 2019;45(4):488-500.
9. Demoule A, Jung B, Prodanovic H, et al. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, riskfactors, and prognostic impact-a prospective study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;188:213-219.
10. Cancelliero KM, Ike D, Malosá Sampaio LM, et al. Estimulacao diafragmática elétrica transcutânea (EDET) para fortalecimento muscular respiratório: estudo clínico controlado e randomizado. *Fisioter Pesq*. 2012;19(4):303-308.
11. Cancelliero-Gaiad KM, Ike D, Pantoni CB, et al. Acute effects of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation on respiratory pattern in COPD patients: cross-sectional and comparative clinical trial. *Braz J Phys Ther*. 2013;17(6):547-555.
12. Burke D, Gorman E, Stokes D, et al. An evaluation of neuromuscular electrical stimulation in critical care using the ICF framework: a systematic review and meta-analysis. *Clin Respir J*. 2016;10(4):407-420.
13. Esteve V, Carneiro J, Moreno F, et al. The effect of neuromuscular electrical stimulation on muscle strength, functional capacity and body composition in haemodialysis patients. *Nefrologia*. 2017;37(1):68-77.
14. Ruiz Pérez R, Sosa Bolio J, Chávez Morales A, et al. Electroestimulación del músculo diafragma para el retiro temprano de la ventilación mecánica y seguimiento de los cambios en el grosor con ultrasonido. *Med Crit*. 2017;31(4):205-212.
15. Geddes LA, Voorhees WD, Bouland JD. Optimum stimulus frequency for contracting the inspiratory muscle with chest-surface electrodes to produce artificial respiration. *Ann Biomed Eng*. 1990;18(1):103-108.
16. Goligher EC, Dres M, Fan E, et al. Mechanical ventilation-induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes. *Am J Respir Crit Care Med*. 2018;197(2):204-213.
17. Testelmans D, Maes K, Wouters P, et al. Rocuronium exacerbates mechanical ventilation-induced diaphragm dysfunction in rats. *Crit Care Med* 2006;34(12):3018-3023.
18. Elkins M, Dentice R. Inspiratory muscle training facilitates weaning from mechanical ventilation among patients in the intensive care unit: a systematic review. *J Physiother*. 2015;61(3):125-134.
19. Martin AD, Smith BK, Davenport PD, et al. Inspiratory muscle strength training improves weaning outcome in failure to wean patients: a randomized trial. *Crit Care*. 2011;15(2): R84.
20. Le Pimpec-Barthes F, Legras A, Arame A, et al. Diaphragm pacing: the state of the art. *J Thorac Dis*. 2016;8(Suppl 4):S376-386.
21. Masmoudi H, Coirault C, Demoule A, et al. Can phrenic stimulation protect the diaphragm from mechanical ventilation-induced damage? *Eur Respir J*. 2013;42(1):280-283.

Correspondencia:

Juan Carlos Cárdenas Favala

E-mail: jccf1992@gmail.com