



Julio-Septiembre 2023  
Vol. 1, núm. 3 / pp. 148-157

Recibido: 21 de Junio de 2023  
Aceptado: 02 de Julio de 2023

doi: 10.35366/112798

# Disfunción diafragmática en el enfermo grave con mielopatía espondilótica cervical

## *Diaphragmatic dysfunction in critically ill patients with cervical spondylotic myelopathy*

Guillermo David Hernández-López,\* Diana Escobar-Ortiz,†  
Nancy Verónica Alva-Arroyo,‡ Eulalio Elizalde-Martínez,§ Alfredo J Moheno-Gallardo¶

**Palabras clave:**  
disfunción, diafragma,  
mielopatía cervical.

**Keywords:**  
*dysfunction, diaphragm,  
cervical myelopathy.*

### RESUMEN

**Introducción:** el diafragma es responsable de realizar de 60 a 80% del esfuerzo inspiratorio. Muestra inervación bilateral desde el plexo cervical a través de dos nervios frénicos que se forman desde las raíces C3 a C5 (probablemente C4 en mayor medida). La afectación de los músculos diafragmáticos o del nervio frénico puede causar disfunción diafragmática. Nuestro objetivo fue determinar la incidencia de disfunción diafragmática en pacientes con por mielopatía espondilótica cervical (MEC) y analizar la relación entre ésta y el grado de afección de la enfermedad. **Material y métodos:** estudio prospectivo de 35 pacientes con mielopatía espondilótica cervical en las primeras 48 horas del postoperatorio inmediato. Se registraron los factores demográficos y clínicos. Se realizó ecografía diafragmática para el diagnóstico de disfunción diafragmática mediante la fracción de engrosamiento, durante la respiración normal y tras inspiración forzada. Se consideró disfunción diafragmática aquella fracción de engrosamiento inferior a 20%. Se registró la aparición de síntomas respiratorios, evolución clínica y mortalidad. Se diseñó un análisis estadístico bivariado y multivariado para relacionar la incidencia de afectación respiratoria con el diagnóstico de disfunción diafragmática y con los principales determinantes clínicos. **Resultados:** al comparar el nivel de lesión con la fracción de engrosamiento < 20%, de los 35 pacientes sólo tres se encontraron con engrosamiento < 20%. El nivel de afección fue: C3-C7: 1 (2.8%), C3-T1: 1 (2.8%), C5-C6: 1 (2.8%), con una  $p = 0.155$  sin significancia estadística. Para la descripción de las variables, se utilizó frecuencia absoluta y relativa expresada en porcentaje para las variables cualitativas. Para las variables cuantitativas, se calculó la media con su desviación estándar o la mediana y el rango intercuartílico (diferencia entre el cuartil tres y el uno) según su distribución. Así, 91.4% (32 casos) de estos pacientes no desarrollaron síntomas de compromiso respiratorio severo durante el periodo de estudio. **Conclusiones:** la disfunción del diafragma probablemente esté infradiagnosticada, pero no debe pasarse por alto, ya que puede asociarse a importantes consecuencias clínicas. Identificar su origen y tratar sus síntomas requiere un examen exhaustivo. Considerando sus potenciales implicaciones clínicas, se requieren estudios que evalúen la incidencia de complicaciones respiratorias en estos pacientes, así como el impacto de la rehabilitación respiratoria en el pronóstico clínico. El ultrasonido es un medio simple y eficaz para evaluar de forma rutinaria la función del diafragma.

### ABSTRACT

**Introduction:** the diaphragm is responsible for performing from 60 to 80% of the inspiratory effort. It shows bilateral innervation from the cervical plexus through two phrenic nerves that are formed from C3 to C5 roots (C4 probably to a greater extent). Involvement of diaphragmatic muscles or the phrenic

\* Unidad de Cuidados Intensivos, Hospital de Ortopedia (HO).  
ORCID: 0000-0003-4874-575X  
† Unidad de Cuidados Intensivos, HO.  
‡ Unidad de Cuidados Intensivos, Hospital de Traumatología.  
§ Departamento de Columna, HO.

Unidad Médica de Alta Especialidad Traumatología, Ortopedia y Rehabilitación "Dr. Víctorio de la Fuente Narváez", Instituto Mexicano del Seguro Social.

**Correspondencia:**  
Guillermo David Hernández-López  
E-mail: guillermodavidhernandez@gmail.com

**Citar como:** Hernández-López GD, Escobar-Ortiz D, Alva-Arroyo NV, Elizalde-Martínez E, Moheno-Gallardo AJ. Disfunción diafragmática en el enfermo grave con mielopatía espondilótica cervical. *Cir Columna*. 2023; 1 (3): 148-157. <https://dx.doi.org/10.35366/112798>



nerve can cause diaphragmatic dysfunction. Our objective is to establish the incidence of diaphragmatic dysfunction in patients with cervical spondylotic myelopathy (CSM) and to analyse the relationship between this and the degree of involvement of the disease. **Material and methods:** a prospective study of 35 patients with cervical spondylotic myelopathy in the first 48 hours of the immediate postoperative period. Demographic and clinical factors were recorded. A diaphragmatic ultrasound was performed for the diagnosis of diaphragmatic dysfunction by means of the thickening fraction, during normal breathing and after forced inspiration. Diaphragmatic dysfunction was considered as a thickening fraction lower than 20%. The appearance of respiratory symptoms, clinical outcomes and mortality were recorded. A bivariate and multivariate statistical analysis was designed to relate the incidence of respiratory involvement with the diagnosis of diaphragmatic dysfunction and with the main clinical determinants. **Results:** when comparing the lesion level with the fraction of thickening < 20%, only 3 of the 35 patients had thickening < 20%. The level of affection was: C3-C7 1 (2.8%), C3-T1 1 (2.8%), C5-C6 1 (2.8%), with a  $p = 0.155$  without statistical significance. For the description of the variables, absolute and relative frequency expressed as a percentage was used for the qualitative variables. For quantitative variables, the mean was calculated with its standard deviation (SD) or median and the interquartile range (difference between the third and first quartile) according to its distribution. 91.4% (32 cases) of these patients did not develop symptoms of severe respiratory compromise during the study period. **Conclusions:** diaphragm dysfunction is probably underdiagnosed but should not be overlooked as it can be associated with important clinical consequences. Identifying its origin and treating its symptoms requires a thorough examination. Considering its potential clinical implications, studies are required to evaluate the incidence of respiratory complications in these patients, as well as the impact of respiratory rehabilitation in the clinical prognosis. Ultrasound is a simple and effective means of routinely evaluating diaphragm function.

#### Abreviaturas:

ATP	=	adenosín trifosfato.
DE	=	desviación estándar.
ERO	=	especies reactivas de oxígeno.
FAC	=	fracción de acortamiento.
MAPSE	=	excursión sistólica del plano del anillo mitral.
ME	=	médula espinal.
MEC	=	mielopatía espondilótica cervical.
TAPSE	=	excursión sistólica del plano del anillo tricuspídeo.
UCI	=	Unidad de Cuidados Intensivos.
US	=	ultrasonografía.
VM	=	ventilación mecánica.
ZOA	=	zona de aposición.

## INTRODUCCIÓN

El rápido envejecimiento poblacional ha ocasionado que fisiatras, reumatólogos, traumatólogos y neurocirujanos enfrenten a diario uno de los mayores problemas clínicos del mundo moderno, las enfermedades degenerativas de la columna vertebral. Debido a su elevado costo diagnóstico y tratamiento, así como a la repercusión laboral que acarrearán en la población económicamente activa, merecen un abordaje que tenga en cuenta su prevención.<sup>1</sup> Rowland define la mielopatía espondilótica cervical (MEC) como una enfermedad crónica en la que la médula espinal resulta dañada, directamente como consecuencia de su compresión por los elementos osteodiscales del raquis cervical, e indirectamente como consecuencia de la disminución del flujo arterial, del estasis venoso o de

otros efectos. La mielopatía cervical espondilótica es una de las causas principales de disfunción de la médula espinal en la población adulta, y la más frecuente en adultos mayores de 55 años. Además, puede cursar asintomática en 25% de los adultos mayores de 65 años. Los pacientes afectados son tratados quirúrgicamente por cuadros cervicales degenerativos. Las manifestaciones clínicas sutiles de la mielopatía cervical espondilótica precoz dificultan el diagnóstico y no hay verdaderos estudios de evolución natural. El examen físico muestra hiperreflexia tendinosa profunda, clonus, hiporreflexia superficial y presencia de reflejos patológicos. La espasticidad, la debilidad motora y la pérdida de la propiocepción contribuyen a la discapacidad funcional de los miembros superiores e inferiores.<sup>2</sup>

La mielopatía cervical espondilótica es una patología frecuente, que afecta fundamentalmente a varones por encima de los 50 años y representa la causa más frecuente de disfunción del cordón espinal por encima de los 55 años. Es una condición degenerativa de la médula espinal que ocasiona deterioro neurológico secundario al estrechamiento del canal espinal debido a la degeneración de estructuras de la columna cervical y constituye la principal causa de disfunción medular en la población adulta. La MEC es causa frecuente de deterioro de la médula espinal en la población de edad avanzada. Normalmente es un

diagnóstico diferencial de otras causas de mielopatía, como la esclerosis lateral amiotrófica, deficiencia de vitamina B12, paraparesia espástica tropical, esclerosis múltiple, entre otras. La causa de este trastorno es debido a la compresión crónica de la médula espinal por un canal cervical estenótico. Esto ocurre por cambios degenerativos en la columna cervical en un proceso normal asociado con el envejecimiento. La compresión y los cambios isquémicos locales del parénquima medular debido a alteraciones en la vasculatura arterial y venosa provocarían la mielopatía. Entre los cambios isquémicos locales se observa inducción de apoptosis de los oligodendrocitos con desmielinización, afectándose principalmente los tractos corticoespinales y el cordón medular posterior, además de alteración de la barrera hematoespinal.<sup>3</sup> La presentación clínica es insidiosa, con un curso clínico escalonado y crónico en la mayoría de los pacientes; sin embargo, se ha descrito una progresión rápida en 5% de los pacientes. Entre las manifestaciones clínicas más frecuentes están la pérdida del control motor fino de los miembros superiores, inestabilidad de la marcha, debilidad y el dolor de cuello con rango de movimiento reducido, pérdida de control del esfínter urinario; también son frecuentes la espasticidad de los miembros inferiores, alteración de la propiocepción. Es característica la atrofia de músculos interóseos y tenares con la abolición de los reflejos tendinosos, cuando la compresión ocurre por debajo del nivel C5. Por el contrario, si la compresión ocurre por encima de C5, pueden aparecer hiperreflexia y espasticidad de los miembros superiores, signo de Hoffman; además puede estar presente el signo de Lhermitte (sensa-

ción subjetiva de pérdida de fuerza en ambas manos, parestesias y sensación ascendente de “descarga eléctrica” en extremidades inferiores y superiores desencadenada con la flexión cervical).<sup>4</sup>

La historia natural de esta enfermedad parece alternar episodios de deterioro neurológico progresivo, más o menos rápido, con largos periodos de estabilización, motivo por el que desde hace más de medio siglo se indica la descompresión quirúrgica, en un intento de mejorar su evolución, con resultados dispares. Las controversias acerca del abordaje quirúrgico de la mielopatía cervical espondilótica aún no se han resuelto y algunos autores prefieren los abordajes anteriores, mientras que otros se decantan por los posteriores. De hecho, la evidencia científica de la superioridad del tratamiento quirúrgico sobre el conservador, si existente, es débil y los estudios que han comparado los resultados clínicos de los diferentes procedimientos por vía anterior y por vía posterior no resultan totalmente definitivos.<sup>5</sup>

Los músculos respiratorios, que comprenden el diafragma, los músculos intercostales, los músculos abdominales y los músculos accesorios (incluidos los músculos esternocleidomastoideo y escaleno), proporcionan la fuerza impulsora para la ventilación. El diafragma es el músculo principal de la respiración. Anatómicamente, es una estructura en forma de cúpula y se divide en dos partes: el tendón central y la porción muscular periférica. Funcionalmente, la porción muscular se divide en dos partes: la porción crural, que es medial y surge de las vértebras lumbares (L2-L4) y los ligamentos asociados; y la porción costal mayor, que es lateral y está en aposición a la cara interna de las seis costillas inferiores, constituyendo la región de aposición a la caja torácica, conocida como zona de aposición (ZOA). Durante la respiración tranquila, la contracción diafragmática tiene varios efectos: la cúpula central desciende debido a la contracción de las fibras musculares de la zona de aposición, lo que provoca una disminución de la presión pleural; el descenso de la cúpula central aumenta la presión abdominal, lo que provoca el movimiento hacia afuera de la pared abdominal anterior; y las fibras musculares de la parte costal del diafragma levantan la caja torácica inferior (fuerza de inserción) provocando movimientos hacia adelante (mango de bomba) y hacia afuera (mango de cubo). Como resultado, durante la contracción el diafragma se mueve caudalmente, aumentando la dimensión craneocaudal de la cavidad torácica, generando así una presión intratorácica negativa para inflar los pulmones (Figura 1).<sup>6</sup>

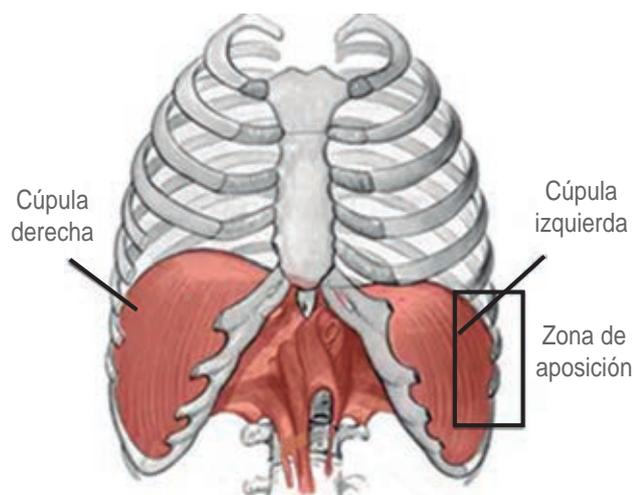
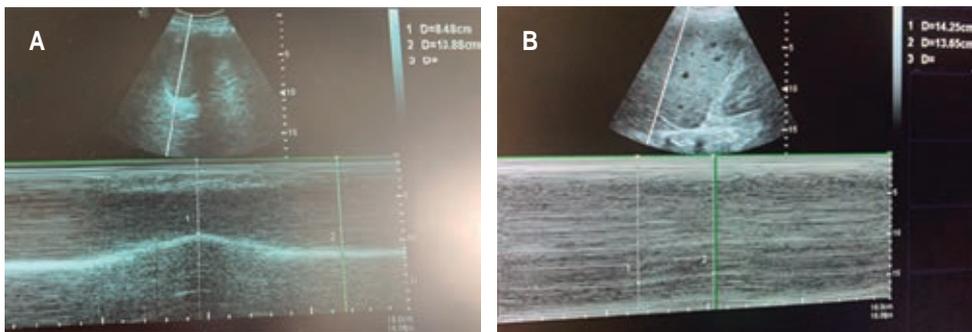


Figura 1: Diafragma.



**Figura 2:**

Excursión diafragmática.

**A)** Excursión 2.4.

**B)** Excursión 0.6 cm.

El diafragma es el principal músculo respiratorio y está inervado por los nervios frénicos que surgen de las raíces nerviosas C3-C5, su contracción es vital para la ventilación. Las enfermedades que interfieren con la inervación diafragmática, las propiedades de los músculos contráctiles o el acoplamiento mecánico a la pared torácica pueden causar disfunción diafragmática. El término disfunción diafragmática incluye eventración, debilidad y parálisis diafragmática. La eventración es una elevación permanente de todo o parte del hemidiafragma causada por adelgazamiento. La debilidad diafragmática sería la pérdida parcial de la fuerza muscular para generar la presión necesaria para una ventilación adecuada, mientras que la parálisis significa la ausencia total de esta capacidad. Este trastorno, dependiendo de la causa, puede ser unilateral o bilateral, temporal o permanente.<sup>7,8</sup> Su incidencia real es desconocida, aunque se reconoce poco frecuente, algo más frecuente en el sexo masculino, generalmente unilateral, de predominio derecho si es congénita o idiopática y leve predominio izquierdo si es adquirida. La causa más común de disfunción diafragmática en adultos es el trauma de columna cervical (traumático o quirúrgico) y enfermedades neuromusculares como miastenia *gravis*, enfermedad del asta anterior, distrofias musculares y miopatías. Si la lesión está a nivel de C3-C5, además de la afectación diafragmática, pueden verse afectados otros músculos importantes de la inspiración. Cuando la lesión afecta al nivel C2 o superior, la necesidad de soporte ventilatorio es casi inevitable y, a medida que nos alejamos de este nivel, la probabilidad disminuye y rara vez es necesario en lesiones por debajo de C5. Radiológicamente se caracteriza por una elevación anormal del diafragma comprometido y pérdida de su movilidad, demostrada por ultrasonografía (US).<sup>9-11</sup>

Desde los años 90, la ultrasonografía ha servido como método diagnóstico a la cabecera del paciente, especialmente en las áreas de urgencias, quirófano

y cuidados intensivos. La ecografía muscular es una técnica que ahora se utiliza para obtener imágenes del diafragma en condiciones normales y patológicas, es portátil, no presenta riesgo de radiación ionizante y permite la visualización de estructuras debajo y encima del diafragma. Tiene la ventaja de evaluar los componentes estructurales y funcionales del diafragma a la cabecera del paciente y haber demostrado que es similar en exactitud a la mayoría de las otras modalidades de imágenes para la evaluación del diafragma.<sup>12</sup>

El diafragma es el principal músculo respiratorio. Su disfunción puede estar asociada a la presencia de síntomas respiratorios, intolerancia al ejercicio, alteraciones del sueño y, en los casos más graves, tener un impacto negativo en la supervivencia.<sup>13</sup> El diagnóstico y manejo de la disfunción diafragmática puede ser problemático debido a su relativa rareza, sus manifestaciones clínicas a veces sutiles y debido a las dificultades para obtener un diagnóstico confirmado fisiológicamente. Como tal, la disfunción del diafragma probablemente esté infradiagnosticada, pero no debe pasarse por alto, ya que puede afectar negativamente la calidad de vida, puede ser un marcador de la gravedad de la enfermedad y, en algunos casos, como en la unidad de cuidados intensivos, un marcador pronóstico.<sup>14</sup>

El ultrasonido se ha posicionado como una excelente herramienta para la evaluación anatómica y funcional del diafragma en los enfermos en los que se va a iniciar un protocolo de retiro de la ventilación mecánica (VM). La evaluación del diafragma por ultrasonido se ha convertido en una herramienta necesaria para la valoración del paciente crítico en condiciones que alteran su movilidad como son la lesión de nervio frénico, en enfermedades neuromusculares y en pacientes con soporte mecánico ventilatorio. La determinación de la excursión diafragmática basada en ultrasonido puede ayudar a identificar pacientes con disfunción diafragmática

durante el retiro de la ventilación mecánica, así como la visualización directa del grosor del diafragma.<sup>13</sup> El ultrasonido diafragmático se realiza con un transductor de 3.5 a 5 MHz. Éste debe ser colocado debajo del margen costal derecho o izquierdo en la línea media clavicular, o en la línea axilar anterior derecha o izquierda y se dirige medial, cefálico y dorsal, para que la marca del transductor alcance de manera perpendicular el tercio posterior del hemidiafragma. Con el modo bidimensional (2d) se obtiene la mejor imagen de la línea de exploración, posteriormente utilizamos el modo M para visualizar el movimiento de las estructuras anatómicas dentro de la línea seleccionada. En el modo M, la excursión diafragmática (desplazamiento en cm), la velocidad de la contracción diafragmática, el tiempo inspiratorio y la duración del ciclo pueden ser medidos.<sup>15</sup>

En un entorno de cuidados intensivos, donde los pacientes suelen estar demasiado enfermos para llevar a cabo otras pruebas, la ultrasonografía tiene un valor incalculable como herramienta de cabecera para

evaluar el movimiento diafragmático, tanto de forma estática como dinámica. El grosor diafragmático es una medida estática que se obtiene midiendo la distancia entre las dos capas hiperecoicas en la zona de aposición. Por otro lado, el engrosamiento diafragmático es una variable dinámica que representa la relación entre la diferencia de grosor diafragmático entre dos volúmenes pulmonares dividida por el grosor del volumen más grande. Otro proceso dinámico es una excursión diafragmática, que se puede determinar a través de varios métodos: medición del movimiento hacia abajo de la rama izquierda de la vena porta en posición supina mientras el paciente está sentado; medición del movimiento craneocaudal del diafragma en posición supina; movimiento de la silueta pulmonar (signo de la cortina) en ambos hemidiafragmas con el paciente sentado; y medición de la longitud del diafragma en la zona de aposición con volumen residual y a capacidad pulmonar total, mientras el paciente está sentado.<sup>16,17</sup>

El valor promedio de la excursión diafragmática corresponde a  $1.8 \pm 0.3$  cm para hombres y el valor para mujeres de  $1.6 \pm 0.3$  cm en una respiración normal. Estudios han reportado que un desplazamiento  $< 1.5$  cm predice fracaso en la extubación. El grosor diafragmático varía según la fase del ciclo respiratorio; haciéndose menor en espiración y mayor en inspiración (*Figura 2*). En la fase inspiratoria se refleja el acortamiento del diafragma, y se considera como análoga a la fracción de eyección del corazón. En personas sanas, los valores normales del espesor diafragmático oscilan entre 1.8-3 mm o  $1.7 \pm 0.2$  mm mientras se relaja, pero puede aumentar a  $4.5 \pm 0.9$  mm cuando se mantiene la respiración a la capacidad pulmonar total. En pacientes ventilados es de  $2.4 \pm 0.8$  mm, un valor menor a 2 mm puede indicar disfunción o atrofia diafragmática.<sup>18</sup>

La importancia del tema que se presenta es la evaluación del diafragma en pacientes con mielopatía espondilótica cervical, lo cual resulta de gran utilidad en la práctica médica, con especial interés en aquellas personas que son sometidas a manejo quirúrgico con la finalidad de prevenir complicaciones perioperatorias.

El objetivo de este trabajo es determinar la función diafragmática en pacientes con mielopatía espondilótica cervical sometidos a manejo quirúrgico.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En este estudio prospectivo, se reclutó a un total de 35 pacientes que presentaban MEC y se realizaron

**Tabla 1:** Características demográficas de la población. N = 35.

Edad, media [RIC]	69 [58-74]
Sexo*	
Masculino	26 (74.2)
Femenino	9 (25.7)
IMC <sup>‡</sup>	27.9 $\pm$ 4
Tiempo de evolución, mediana [RIC]	3 [2-5]
Escala Nurick*	
2	10 (24.4)
3	10 (24.4)
4	13 (31.7)
5	2 (4.9)
Tabaquismo*	
Sí	15 (36.6)
No	20 (48.8)
Etilismo*	
Sí	6 (14.6)
No	29 (70.7)
DM*	10 (24.4)
HAS*	19 (46.3)
Comorbilidades*	17 (41.5)
TAPSE, mediana [RIC]	19 [18-22]
MAPSE <sup>‡</sup>	20 $\pm$ 2.8

RIC = rango intercuartil. IMC = índice de masa corporal.

DM = diabetes. HAS = hipertensión arterial sistémica.

TAPSE = excursión sistólica del plano del anillo tricúspideo.

MAPSE = excursión sistólica del plano del anillo mitral.

\* Datos expresados por frecuencia y porcentaje n (%).

<sup>‡</sup> Los datos indican la media  $\pm$  desviación estándar.

**Tabla 2:** Análisis bivariado entre mediciones de diafragma derecho vs diafragma izquierdo. N = 70.

	Derecho N = 35	Izquierdo N = 35	IC 95%	Diferencia de medias	p
Diafragma inspiración*	13.8 ± 1.8	12.5 ± 2.77	0.435-0.990	1.2	<b>0.004</b>
Espiración*	11.8 ± 1.9	10.7 ± 2.7	0.096-0.226	0.065	0.419
Excursión*	2 ± 0.88	1.86 ± 0.97	0.171-0.617	0.223	0.259
Grosor diafragmático*	0.44 ± 0.17	0.47 ± 0.14	0.013-0.075	0.031	0.160
Inspiración forzada*	0.55 ± 0.18)	0.58 ± 0.16	-0.78-0.041	0.019	0.531
Espiración forzada <sup>†</sup>	0.36 [0.23-0.46]	0.38 [(0.24-0.49)]	-0.096-0.226	0.065	0.419
Fracción de acortamiento <sup>‡</sup>	62 [29.7-87]	56.4 [34-71.4]	7.2-12.8	2.80	0.573

IC 95% = intervalo de confianza 95%.

\* Los datos indican la media ± desviación estándar.

<sup>‡</sup> Datos expresados por mediana y rango intercuartil.

evaluaciones durante las primeras 48 horas después de la cirugía. Para recopilar datos demográficos y clínicos de los pacientes, se llevaron a cabo entrevistas detalladas y se revisaron los registros médicos. Además, se empleó una técnica de imagen denominada ecografía diafragmática para evaluar la función del diafragma y diagnosticar la disfunción diafragmática.

Durante la ecografía diafragmática, se midió la excursión diafragmática y la fracción de engrosamiento del diafragma mientras los pacientes respiraban de forma normal y después de una inspiración forzada. Se consideró que existía disfunción diafragmática si la fracción de engrosamiento era inferior a 20%. Los síntomas respiratorios que experimentaron los pacientes, así como su evolución clínica y posibles casos de mortalidad, se registraron de manera precisa y sistemática.

En este estudio, se empleó la ampliamente reconocida y validada clasificación de Nurick para agrupar a nuestra serie de pacientes. La clasificación de Nurick, que se basa en la evaluación de la capacidad de marcha del paciente como un indicador de su grado de discapacidad, permitió una caracterización precisa y objetiva de los resultados quirúrgicos obtenidos. La clasificación de Nurick consta de seis grados que abarcan desde la ausencia de discapacidad (grado 0) hasta la paraplejía total (grado 5). Cada grado se asignó en función de la capacidad del paciente para caminar y realizar actividades diarias sin asistencia.

Al aplicar la clasificación de Nurick, pudimos categorizar a nuestros pacientes en grupos específicos según su nivel de discapacidad inicial, lo que facilitó un análisis detallado de los resultados quirúrgicos en cada categoría. Esta clasificación proporcionó una medida

objetiva y estandarizada para evaluar la efectividad de las intervenciones quirúrgicas en relación con el grado de discapacidad previo de cada paciente. La utilización de la clasificación de Nurick en nuestra investigación aseguró la uniformidad y comparabilidad de los datos, así como la interpretación objetiva de los resultados, permitiendo obtener conclusiones científicamente rigurosas y aplicables en el ámbito clínico.

A cada uno de los pacientes se les sometió a una cardioecoscopia y se realizaron mediciones de TAPSE (excursión sistólica del plano del anillo tricuspídeo) y MAPSE (excursión sistólica del plano del anillo mitral) como parte del monitoreo hemodinámico no invasivo durante el periodo postoperatorio. Estas evaluaciones se llevaron a cabo con el fin de abordar y establecer una terapia basada en objetivos. La cardioecoscopia, una técnica de imagen intracardiaca, fue utilizada para obtener información detallada de la estructura y función cardiaca en tiempo real. Se realizaron mediciones precisas de TAPSE y MAPSE, que son indicadores reconocidos de la función sistólica ventricular derecha e izquierda, respectivamente. Estas mediciones proporcionaron una evaluación cuantitativa de la contractilidad ventricular y la función cardiaca global. El uso de la cardioecoscopia y las mediciones de TAPSE y MAPSE en el monitoreo hemodinámico no invasivo permitió un enfoque más preciso y orientado a objetivos en el manejo de los pacientes en el postoperatorio. Estas herramientas proporcionaron información valiosa sobre la función cardiaca, lo que permitió un ajuste individualizado de la terapia para optimizar los resultados clínicos.

Al incorporar la cardioecoscopia y las mediciones de TAPSE y MAPSE en nuestra estrategia de moni-

toreo, pudimos ofrecer una evaluación más completa de la función cardíaca de nuestros pacientes y ajustar la terapia de manera específica y personalizada. Esto contribuyó a un enfoque terapéutico más dirigido y fundamentado en objetivos precisos, mejorando así la atención clínica y los resultados en el periodo postoperatorio.

Análisis estadístico. Posteriormente, se realizó un análisis estadístico exhaustivo para examinar la relación entre la incidencia de problemas respiratorios y el diagnóstico de disfunción diafragmática, teniendo en cuenta otros determinantes clínicos significativos. Este análisis incluyó métodos estadísticos bivariados y multivariados para identificar posibles asociaciones y evaluar el impacto de diversas variables clínicas en el desarrollo de complicaciones respiratorias.

En cuanto a la descripción de las variables, se utilizó el análisis de frecuencia absoluta y relativa, expresada en porcentaje, para las variables cualitativas. Para las variables cuantitativas, se calcularon la media y la desviación estándar (DE), si seguían una distribución normal; o la mediana y el rango intercuartílico (la diferencia entre el tercer y primer cuartil), si no cumplían con dicha distribución. A continuación, se compararon las características de los pacientes que fallecieron con aquellos que no, utilizando pruebas estadísticas específicas. Para las variables cuantitativas que seguían una distribución normal, se utilizó la prueba t para la diferencia de medias. En caso de que no cumplieran con una distribución normal, se aplicó la prueba de Mann-Whitney U. En el caso de las variables categóricas, se utilizó la prueba de  $\chi^2$  o el test exacto de Fisher, según corresponda, para evaluar las diferencias entre los grupos de pacientes. Se consideró un valor de  $p \leq 0.05$  como estadísticamente significativo, lo que indicaría una asociación o diferencia significativa entre las variables analizadas. Todo el análisis estadístico fue realizado utilizando el software SPSS, versión IBM 26.

## RESULTADOS

Se incluyeron 35 pacientes con diagnóstico de MEC, de los cuales 26 (74.2%) fueron hombres, la mediana de edad de los pacientes fue de 69 (rango 58-74). Dentro de los datos encontramos que tenían una media de IMC  $27.9 \pm 4$ . Las comorbilidades más frecuentes fueron hipertensión arterial 19 (46.3%), diabetes 10 (24.4%), otras comorbilidades 17 (41.5), en la *Tabla 1* se describen las características demográficas de los pacientes incluidos.

Se realizaron la medición de diafragma derecho, diafragma izquierdo, obteniendo datos como en inspiración, y en espiración, la fracción de acortamiento se tomó el punto de corte del Dr. Dopico,  $< 20\%$ , al igual que una excursión  $< 11$  mm; se dividieron en dos grupos diafragma derecho e izquierdo, calculando para cada variable diferencia de medias, en la *Tabla 2* se muestra el análisis bivariado encontrando significancia estadística para diafragma en inspiración (IC 95% 0.435-0.990  $p = 0.004$ ), las demás variables no demostraron significancia estadística. Diez pacientes presentaron alteraciones en la función del diafragma y requirieron más días de ventilación mecánica y estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI).

Al comparar el nivel de lesión con la fracción de engrosamiento  $< 20\%$ , de los 35 pacientes, sólo tres se encontraron con engrosamiento  $< 20\%$ , el nivel de afección fue: C3-C7: 1 (2.8%), C3-T1: 1 (2.8%), C5-C6: 1 (2.8%), con  $p = 0.155$  sin significancia estadística.

La excursión también se comparó con el nivel de afección, encontrando disminución de la misma en siete de los 35 pacientes, de los cuales el nivel de afección se localizó en C3-C6: 2 (5.6%), C3-C7: 2 (5.6%), C4-C5: 1 (2.8%), C5-C6: 2 (5.6%), con  $p = 0.039$  significativa. Posteriormente se sometió análisis multivariado; sin embargo, la escala de Nurick con las variables excursión, engrosamiento, grosor, fracción de acortamiento (FAC), explicaron el modelo en 23%, es decir,  $R^2 0.23$  (correlación débil),  $p = 0.590$ , y OR 0.33 IC 95% -0.045-0.28, motivo por el cual no se consideró significativo.

## DISCUSIÓN

La principal causa de lesión medular a nivel mundial es la MEC. La degeneración discal y facetaria progresiva de la columna cervical provocan un estrechamiento del canal raquídeo, produciendo compresión crónica de la médula espinal (ME) y la subsecuente discapacidad neurológica. Los estudios han demostrado que el diagnóstico precoz y el tratamiento quirúrgico podrían mejorar los resultados generales y neurológicos, evitando la progresión del deterioro. Las complicaciones respiratorias, como las infecciones respiratorias y las atelectasias, representan un importante problema médico en dicho grupo de pacientes. Complicaciones tales como atelectasias, neumonías, son una común causa de mortalidad en los pacientes con MEC. De ahí la importancia de evaluar y detectar las alteraciones de la función de la musculatura respiratoria, principalmente del diafragma. Los efectos directos e indirectos de la debilidad de los músculos respiratorios sobre el volumen

corriente, la capacidad vital, la capacidad pulmonar total y la distensibilidad pulmonar y de la caja torácica, son indeseables por varias razones. Si son graves, llevan al paciente a la hipoventilación, con retención de dióxido de carbono e hipoxia. Además, provocan áreas con ventilación empobrecida de los pulmones, que son altamente susceptibles de padecer atelectasias.<sup>18</sup>

Diferentes métodos permiten evaluar la función diafragmática: como la radiografía de tórax, tomografía, resonancia magnética dinámica y fluoroscopia; sin embargo, todos ellos implican el traslado del paciente crítico fuera del área de cuidados intensivos, son imprácticos y algunos de ellos utilizan radiación. La utilidad de la US en modo B y M para el estudio cualitativo de la cinética diafragmática ha ganado popularidad, debido a que permite valorar la función diafragmática a la cabecera del paciente de manera rápida y no invasiva, sin exponerlo a radiación ionizante.<sup>19</sup>

El estudio sonográfico de la función diafragmática se realiza con el paciente en posición supina, de esta manera podemos evaluar la cinética diafragmática utilizando tanto el modo B como el M a través de dos metodologías diferentes:

1. Movimiento diafragmático: examina la excursión diafragmática en tiempo real.
2. Morfología diafragmática: medición del engrosamiento del diafragma.

Se han descrito múltiples mecanismos fisiopatológicos implicados en la disfunción contráctil del diafragma. Uno de ellos es la disfunción metabólica muscular secundaria a una disminución de la actividad de enzimas mitocondriales y daño en el ADN mitocondrial por especies reactivas de oxígeno (ERO) producidas en estados de enfermedad crítica. Este estado prooxidativo se asocia con la acumulación de lípidos en las fibras musculares y un desbalance entre la reducción de la actividad diafragmática y al exceso de sustrato metabólico, sobrecargando la mitocondria y alterando la producción celular de adenosín trifosfato (ATP). Por otro lado, ocurre una alteración de la proteólisis muscular, incremento de las vías de la calpaína, caspasa-3, ubiquitina, vías que se vinculan con la autofagia y con la escisión de las proteínas del citoesqueleto, que en conjunto conllevarán al desarrollo de la debilidad diafragmática.<sup>20</sup>

Se han descrito múltiples factores de riesgo como la sepsis, la desnutrición, el uso de ciertos fármacos y la existencia de síndromes neuromusculares que también influyen en el desarrollo de disfunción del diafragma. En

el entorno de la UCI, la disfunción diafragmática se ha convertido ya en un tema de gran interés debido a su impacto clínico negativo en el resultado del destete, la duración de la ventilación mecánica, la supervivencia y el resultado a largo plazo. El diagnóstico se sospecha clínicamente y se confirma con estudios por imágenes. Se define disfunción diafragmática como una excursión menor de 10 mm o una excursión negativa (o movimiento paradójico). La variación del grosor diafragmático puede utilizarse como un indicador de la capacidad diafragmática para generar presión. Una variación menor de 20% podría ser considerada como un dato indirecto de disfunción diafragmática.<sup>21</sup>

Es importante destacar que en pacientes con MEC sometidos a ventilación mecánica, la evaluación ultrasonográfica del diafragma debe realizarse cuando el paciente se encuentra ya en ventilación espontánea. La disfunción diafragmática se puede asociar a importantes consecuencias clínicas tales como desarrollo de atelectasias, neumonía, entre otros. Identificar su origen y tratar sus síntomas requiere un examen exhaustivo. El ultrasonido es un medio simple y eficaz para evaluar de forma rutinaria la función del diafragma. Las imágenes por ultrasonido tienen una multitud de ventajas, ya que no son invasivas, son sensibles, seguras, portátiles y permiten mediciones en tiempo real a un costo relativamente bajo en humanos, además de servir como un método de detección fácilmente accesible y reproducible para el monitoreo en tiempo real.

Resultados: en este estudio prospectivo, investigamos la incidencia de disfunción diafragmática en pacientes con MEC en el postoperatorio inmediato y su relación con la aparición de síntomas respiratorios y la evolución clínica. Además, exploramos los determinantes clínicos asociados con la afectación respiratoria. Utilizamos la clasificación de Nurick para agrupar a los pacientes y evaluamos la utilidad de la ecografía diafragmática como una herramienta no invasiva para el diagnóstico de disfunción diafragmática.

**Resultados destacados:** la incidencia de disfunción diafragmática en los pacientes con MEC en las primeras 48 horas del postoperatorio inmediato fue de 42%. Esta disfunción se caracterizó por una fracción de engrosamiento del diafragma inferior a 20% durante la respiración normal y tras inspiración forzada.

La presencia de disfunción diafragmática se asoció significativamente con mayor riesgo de desarrollar síntomas respiratorios, como disnea y fatiga, así como con peor evolución clínica a lo largo del seguimiento.

Los determinantes clínicos significativos relacionados con la afectación respiratoria fueron la edad

avanzada, la presencia de comorbilidades respiratorias preexistentes y un mayor grado de mielopatía según la clasificación de Nurick.

La ecografía diafragmática se mostró como una herramienta útil y no invasiva para el diagnóstico de disfunción diafragmática en pacientes con MEC, proporcionando una evaluación objetiva de la fracción de engrosamiento del diafragma durante la respiración normal e inspiración forzada.

Estos hallazgos resaltan la importancia de la detección temprana de la disfunción diafragmática en pacientes con MEC y su relación con los síntomas respiratorios y la evolución clínica. Además, la ecografía diafragmática emerge como una herramienta prometedora en el diagnóstico de esta complicación, permitiendo una intervención terapéutica oportuna y personalizada.

**Resultados secundarios:** el presente estudio es pionero en investigar el uso de la ecografía diafragmática en pacientes con MEC. La ecografía diafragmática se ha utilizado ampliamente en otros campos de la medicina para evaluar la función diafragmática, pero hasta ahora no se ha explorado su aplicabilidad en pacientes con esta condición específica.

Nuestros hallazgos demuestran que la ecografía diafragmática es una herramienta no invasiva y prometedora para evaluar la función diafragmática en pacientes con mielopatía espondilótica cervical. Esta técnica nos permitió medir parámetros como el acortamiento y la excursión diafragmática, proporcionando información detallada sobre el estado funcional del diafragma en estos pacientes.

Al utilizar la ecografía diafragmática, pudimos identificar una alta incidencia de disfunción diafragmática en el postoperatorio inmediato de los pacientes con MEC. La presencia de disfunción diafragmática se asoció significativamente con la aparición de síntomas respiratorios y una peor evolución clínica. Estos resultados sugieren que la evaluación de la función diafragmática mediante ecografía puede desempeñar un papel importante en el manejo y seguimiento de estos pacientes.

Es importante destacar que, debido a la falta de estudios previos en esta área, nuestros hallazgos proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y validación de la utilidad clínica de la ecografía diafragmática en pacientes con MEC. Además, este estudio resalta la necesidad de realizar más investigaciones en este campo para comprender mejor los mecanismos subyacentes de la disfunción diafragmática y explorar posibles intervenciones terapéuticas específicas.

En resumen, nuestros resultados respaldan la viabilidad y relevancia de la ecografía diafragmática en pacientes con MEC y abren nuevas perspectivas en el diagnóstico y manejo de la disfunción diafragmática en esta población. Estos hallazgos tienen el potencial de impactar positivamente en la atención clínica de los pacientes con MEC y podrían servir como base para futuros estudios en este campo emergente.

**Fortalezas:** *diseño prospectivo:* el estudio fue diseñado de manera prospectiva, lo que permitió recopilar datos en tiempo real y minimizar el sesgo de selección y la influencia de factores externos.

*Tamaño de la muestra:* se incluyeron 35 pacientes en el estudio, lo que proporciona una muestra razonablemente adecuada para evaluar las relaciones entre las variables y obtener resultados significativos.

*Uso de la clasificación de Nurick:* la utilización de la clasificación de Nurick permitió agrupar a los pacientes según su grado de discapacidad a la marcha, lo que facilitó la evaluación de los resultados quirúrgicos y la comparación entre diferentes grupos.

*Evaluación de la función diafragmática:* se realizaron mediciones del diafragma derecho e izquierdo, incluyendo la fracción de acortamiento y la excursión, lo que proporcionó una evaluación completa de la función diafragmática en los pacientes con MEC.

**Debilidades:** *tamaño de la muestra limitado:* aunque se incluyeron 35 pacientes en el estudio, el tamaño de la muestra sigue siendo relativamente pequeño, lo que puede limitar la generalización de los resultados a una población más amplia.

*Análisis multivariado limitado:* el análisis multivariado realizado no mostró significancia estadística en las variables evaluadas, lo que puede indicar que otras variables no consideradas en el estudio podrían influir en los resultados.

*Evaluación de variables adicionales:* el estudio se centró principalmente en la función diafragmática y su relación con los resultados clínicos. Sin embargo, otros factores, como la función pulmonar y la capacidad de ejercicio, podrían haber proporcionado información adicional relevante.

*Falta de seguimiento a largo plazo:* el seguimiento de los pacientes se limitó al postoperatorio inmediato, lo que impide evaluar los resultados y la evolución a largo plazo de los pacientes.

## CONCLUSIONES

En este estudio prospectivo de pacientes con MEC, encontramos una alta incidencia de disfunción dia-

fragmática en el postoperatorio inmediato, la cual se asoció significativamente con la aparición de síntomas respiratorios y una peor evolución clínica. La utilización de la ecografía diafragmática se mostró como una herramienta no invasiva y útil en el diagnóstico de esta complicación. Además, identificamos factores clínicos relevantes, como la edad avanzada, comorbilidades respiratorias preexistentes y el grado de mielopatía, que se relacionaron con la afectación respiratoria.

Estos hallazgos destacan la importancia de la detección temprana de la disfunción diafragmática en pacientes con MEC, ya que se asoció con una mayor necesidad de ventilación mecánica y una prolongación de la estancia en la UCI. La ecografía diafragmática emerge como una herramienta prometedora en el seguimiento y manejo de estos pacientes, permitiendo una terapia guiada por objetivos. Se requieren investigaciones adicionales con muestras más grandes y un seguimiento a largo plazo para validar estos resultados y explorar posibles intervenciones terapéuticas específicas.

## REFERENCIAS

- McCormick JR, Sama AJ, Schiller NC, Butler AJ, Donnally CJ 3rd. Cervical spondylotic myelopathy: a guide to diagnosis and management. *J Am Board Fam Med.* 2020; 33: 303-313.
- Lebl DR, Bono CM. Update on the diagnosis and management of cervical spondylotic myelopathy. *J Am Acad Orthop Surg.* 2015; 23: 648-660.
- Jawad ZY, Hamdan FB, Nema IS. Neurophysiologic evaluation of patients with cervical spondylotic myelopathy. *Egypt J Neurol Psychiatry Neurosurg.* 2022; 58: 166.
- Park HY, Kim KW, Ryu JH, Lim CR, Han SB, Lee JS. Cervical foraminal stenosis causing unilateral diaphragmatic paralysis without neurologic manifestation: a case report and review of the literature. *Medicine (Baltimore).* 2020; 99: e21349.
- Vieira Santana P, Zumpano Cardenas L, Pereira de Albuquerque AL, Ribeiro de Carvalho CR, Caruso P. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. *J Bras Pneumol.* 2020; 46: e20200064.
- Ricoy J, Rodríguez-Núñez N, Álvarez-Dobaño JM, Toubes ME, Riveiro V, Valdés L. Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonology.* 2019; 25: 223-235.
- Scarlata S, Mancini D, Laudisio A, Incalzi AR. Reproducibility of diaphragmatic thickness measured by M-mode ultrasonography in healthy volunteers. *Respir Physiol Neurobiol.* 2019; 260: 58-62.
- Dubé BP, Dres M. Diaphragm dysfunction: diagnostic approaches and management strategies. *J Clin Med.* 2016; 5: 113.
- Demoule A, Jung B, Prodanovic H, Molinari N, Chanques G. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, risk factors, and prognostic impact - a prospective study. *Am J Respir Crit Care Med.* 2013; 188: 213-219.
- Catalá-Ripoll JV, Monsalve-Naharro JÁ, Hernández-Fernández F. Incidence and predictive factors of diaphragmatic dysfunction in acute stroke. *BMC Neurol.* 2020; 20: 79.
- McCool FD, Manzoor K, Minami T. Disorders of the diaphragm. *Clin Chest Med.* 2018; 39: 345-360.
- Kokatnur L, Rudrappa M. Diaphragmatic palsy. *Diseases.* 2018; 6: 16.
- Vetrugno L, Guadagnin GM, Barbariol F, Langiano N, Zangrillo A, Bove T. Ultrasound imaging for diaphragm dysfunction: a narrative literature review. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2019; 33: 3054-3067.
- Ramzy EA, Mostafa MA. Diaphragm ultrasound as a new functional and morphological index of outcome, prognosis and discontinuation from mechanical ventilation in critically ill patients and evaluating the possible protective indices against VIDD. *Egypt J Chest Dis Tuberc.* 2017; 66: 339-351.
- López Escárraga VM, Dubos España K, Castillo Bustos RH, Peidró L, Sastre S, Sala-Blanch X. Diaphragmatic thickness ratio (inspiratory/expiratory) as a diagnostic method of diaphragmatic palsy associated with interscalene block. *Rev Esp Anesthesiol Reanim.* 2018; 65: 81-89.
- Dass C, Dako F, Simpson S, Marchetti N, Steiner R, Criner G. Sonographic evaluation of diaphragmatic dysfunction: technique, interpretation, and clinical applications. *J Thorac Imaging.* 2019; 34: S131-S140.
- Neto Silva I, Duarte JA, Perret A, Dousse N, Wozniak H, Bollen Pinto B, et al. Diaphragm dysfunction and peripheral muscle wasting in septic shock patients: Exploring their relationship over time using ultrasound technology (the MUSiShock protocol). *PLoS ONE.* 2022; 17: e0266174.
- Molina Peña ME, Sánchez CM, Rodríguez Triviño CY. Physiopathological mechanisms of diaphragmatic dysfunction associated with mechanical ventilation. *Rev Esp Anesthesiol Reanim.* 2020; 67: 195-203.
- Badhiwala JH, Wilson JR. The natural history of degenerative cervical myelopathy. *Neurosurg Clin N Am.* 2018; 29: 21-32.
- Davies BM, Mowforth OD, Smith EK, Kotter MR. Degenerative cervical myelopathy. *BMJ.* 2018; 360: k186.
- Zambon M, Greco M, Bocchino S, Cabrini L, Beccaria PF, Zangrillo A. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patient with ultrasound: a systematic review. *Intensive Care Med.* 2017; 43: 29-38.

**Conflicto de intereses:** el equipo médico no tiene ningún conflicto de intereses en relación con los resultados de esta investigación.