



UNIVERSIDAD

NACIONAL

AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
HOSPITAL GENERAL "DR. MANUEL GEA GONZÁLEZ"**

"Comparación de las medidas del grosor diafragmático torácico por tomografía computada antes y durante la ventilación mecánica en pacientes críticamente enfermos con *hallazgos tomográficos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19* en el Hospital General "Dr. Manuel Gea González" durante el periodo del 1° de junio del 2020 al 1° de junio del 2021".

TÉSIS:

PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN IMAGENOLÓGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA.

PRESENTA:

DR. FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ NÁJERA

ASESOR:

DRA. BEATRIZ YESENIA CORTES GARCÍA

MÉDICO ADSCRITO DE LA DIVISIÓN DE RADIOLOGÍA E IMAGEN DEL HOSPITAL GENERAL "DR. MANUEL GEA GONZÁLEZ"

CIUDAD DE MÉXICO FEBRERO DE 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNAM - Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

HOSPITAL GENERAL "DR. MANUEL GEA GONZÁLEZ"

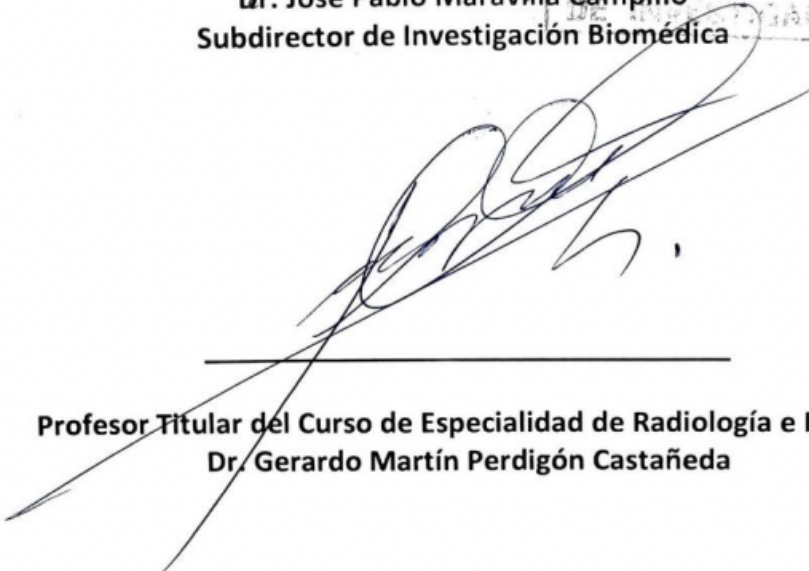
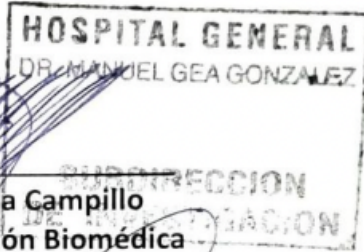
AUTORIZACIONES



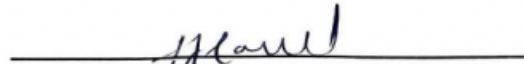
Dr. Héctor Manuel Prado Calleros
Director de Enseñanza e Investigación



Dr. José Pablo Maravilla Campillo
Subdirector de Investigación Biomédica

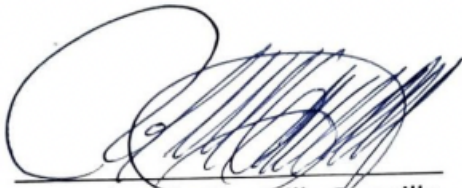


Profesor Titular del Curso de Especialidad de Radiología e Imagen
Dr. Gerardo Martín Perdigón Castañeda



Asesor de Tesis y Médico Adscrito de la División de Radiología e Imagen
Dra. Beatriz Yesenia Cortes García

Este trabajo de tesis con número de seguimiento: 73-21 presentado por el Dr. Francisco Javier Hernandez Najera, se presenta en forma con visto bueno por la tutora principal de la tesis la Dra. Beatriz Yesenia Cortes Garcia con fecha febrero de 2022 para su impresión final.



Dr. José Pablo Maravilla Campillo
Subdirector de Investigación Biomédica

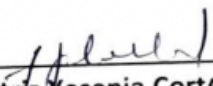



Dra. Beatriz Yesenia Cortes García
Investigador Principal

“Comparación de las medidas del grosor diafragmático torácico por tomografía computada antes y durante la ventilación mecánica en pacientes críticamente enfermos con *hallazgos tomográficos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19* en el Hospital General “Dr. Manuel Gea González” durante el periodo del 1° de junio del 2020 al 1° de junio del 2021”.

Este trabajo fue realizado en el Hospital General “Dr. Manuel Gea González” en la División de Radiología e Imagen bajo la dirección del Dr. Francisco Javier Hernández Nájera y con el apoyo de la Dra. Beatriz Yesenia Cortes García así como adscritos de la División y amigos quienes orientaron y aportaron a la conclusión de este trabajo.

COLABORADORES:


Dra. Beatriz Yesenia Cortes García
Investigador Principal interno


Dr. Francisco Javier Hernández Nájera
Investigador Asociado Principal

INDICE

- 1. RESUMEN**
- 2. INTRODUCCIÓN**
- 3. MATERIAL Y MÉTODOS**
- 4. RESULTADOS**
- 5. DISCUSIÓN**
- 6. CONCLUSIÓN**
- 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**
- 8. ANEXOS E IMÁGENES.**

1. RESUMEN

TÍTULO DEL PROYECTO: “Comparación de las medidas del grosor diafragmático torácico por tomografía computada antes y durante la ventilación mecánica en pacientes críticamente enfermos con *hallazgos tomográficos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19* en el Hospital General “Dr. Manuel Gea González” durante el periodo del 1° de junio del 2020 al 1° de junio del 2021”.

INVESTIGADOR PRINCIPAL: Dra. Beatriz Yesenia Cortes García.

INVESTIGADOR ASOCIADO PRINCIPAL: Dr. Francisco Javier Hernández Nájera.

INTRODUCCIÓN: La ventilación mecánica (VM) es parte fundamental para el tratamiento de pacientes con insuficiencia respiratoria, sin embargo tal tratamiento puede traer consigo múltiples efectos adversos y complicaciones a nivel pulmonar y sistémico lo cual aumenta la estancia hospitalaria, incrementa los costos y una mayor morbimortalidad.

Se ha confirmado que uno de los efectos secundarios de la VM que más relación tiene con el alargamiento del proceso de destete y por tanto aumento del periodo de intubación, es la llamada disfunción diafragmática inducida por ventilación (DDIVM).

La DDIVM se define como el desarrollo de debilidad diafragmática secundaria a atrofia y disfunción contráctil, la cual afecta hasta un 65% de los pacientes ventilados y esta aparece desde las primeras 18 horas posteriores a la intubación, su diagnóstico es de suma importancia, el cual es difícil debido a que el gold standard es una prueba invasiva. En los últimos años se han publicado múltiples artículos en los cuales se realiza el diagnóstico mediante pruebas no invasivas como son las diferentes modalidades de imagen.

La valoración radiológica torácica siempre inicia con la realización de Rayos X, sin embargo no se utiliza para el diagnóstico de DDIVM ya que tiene baja especificidad, el mismo caso es para estudios dinámicos con fluoroscopia por sí solos.

La mayoría de los estudios realizados en México y el mundo utilizan parámetros ultrasonográficos para el diagnóstico no invasivo de la DDIVM. Se puede realizar una medición del grosor de la parte costal diafragmática así como parámetros dinámicos de la respiración sin embargo, este estudio tiene limitaciones sobre todo porque tiene que ser realizado por personal ampliamente capacitado y aun así

existen dificultades técnicas principalmente secundarias a la mínima o nula cooperación del paciente entre otros.

Ante la necesidad de un método diagnóstico no invasivo y que no sea dependiente de la experiencia del operador, se justifica la utilización de la tomografía computada para valorar el grosor diafragmático torácico, principalmente de la parte crural y su relación con la DDIVM, por tal motivo en este estudio se medirá el grosor de la crura diafragmática y su adelgazamiento con la ventilación mecánica de pacientes pre y post intubación, esto con el fin de tener un grosor promedio del mismo y confirmar este fenómeno en pacientes mexicanos durante la pandemia por COVID 19.

OBJETIVO GENERAL: Comparar las medidas del grosor diafragmático torácico por tomografía computada antes y durante la ventilación mecánica en pacientes críticamente enfermos con *hallazgos tomográficos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19* en el Hospital General “Dr. Manuel Gea González”.

MATERIAL Y MÉTODOS: Se realizó un estudio observacional, retrospectivo, longitudinal y retrolectivo del expediente radiológico y clínico de 26 pacientes con edades entre 31 y 81 años con tomografía computada de tórax con hallazgos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19; antes y/o durante la ventilación mecánica, en pacientes críticamente enfermos con hallazgos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19. En las cuales se realizó una medición del pilar diafragmático en corte axial a nivel del origen del tronco celiaco (borde anterior del canal espinal a nivel de la primera vértebra lumbar). Así como se revisó el expediente de los pacientes para determinar las variables edad y sexo así como defunción durante la hospitalización, tratamiento con corticoesteroides y la presencia de comorbilidades como diabetes mellitus e hipertensión arterial. Posteriormente se realizó una base de datos en el programa SPSS con lo cual se realizaron los análisis estadísticos y las gráficas.

RESULTADOS: Se incluyeron un total de 26 pacientes de los cuales el 65.3%(n=17) fueron del sexo masculino y 34.61% (n=9) fueron del sexo femenino, con una media de edad de 58.15 ± 12.642 años, Los descensos durante la hospitalización en nuestro estudio fue del 23% (n=6). Se encontró que el grosor promedio del pilar derecho es de 5.6 ± 1.2 mm, el promedio del pilar izquierdo es 5.0 ± 1.1 mm antes de la ventilación mecánica; el tiempo promedio entre la tomografía previa y durante la ventilación

mecánica fue de 12.1 ± 5.7 días; con lo que se presentó una disminución en el grosor promedio de 1.1 ± 0.5 mm del lado derecho y de 0.9 ± 0.5 mm del lado izquierdo con un promedio de 2.4 ± 1.0 mm. Mediante T de student entre el total del grosor diafragmático antes y durante la ventilación mecánica arrojó un valor de $P < 0.005$ con IC del 95% por lo que es estadísticamente significativo. Además se observó que a mayor tiempo con ventilación mecánica mayor es la disminución del grosor diafragmático. Las comorbilidades no arrojaron mayor diferencia en el grosor diafragmático. Sin embargo, en pacientes que no recibieron corticosteroides ($n=6$) se observó una mayor disminución del grosor en comparación con los que lo recibieron.

CONCLUSIONES: El grosor diafragmático disminuye en pacientes ventilados con neumonía por COVID-19 con promedio de con un promedio de 2.4 ± 1.0 mm, el cual a mayor tiempo con ventilación mecánica mayor es la disminución del grosor. El uso de corticosteroides podría estar asociado a conservación del grosor diafragmático en pacientes críticamente enfermos con ventilación mecánica por neumonía por COVID-19.

PALABRAS CLAVE: Disminución de grosor diafragmático, ventilación mecánica, COVID-19.

2. INTRODUCCIÓN

La enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) es una enfermedad infecciosa causada por el virus del síndrome respiratorio agudo severo coronavirus 2 (SARS-CoV-2). Los primeros casos humanos de COVID-19 fueron reportados por primera vez en Wuhan, China, en diciembre de 2019. La enfermedad se extendió rápidamente por todo el mundo y fue declarada pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 12 de marzo de 2020.

La mayoría de los pacientes sintomáticos con COVID-19 experimentan una enfermedad respiratoria leve a moderada y se recuperan sin requerir un tratamiento especial. Es importante destacar que más de la mitad de los pacientes con un resultado positivo en la prueba de RT-PCR pueden estar asintomáticos en el momento de la prueba. Las tasas de mortalidad notificadas varían ampliamente, oscilando entre el 0,3% y el 13,1%, depende principalmente de la demografía poblacional, la aplicación de pruebas diagnósticas, los recursos de atención médica disponibles y la integridad y precisión de los datos de mortalidad (1).

El primer caso de COVID-19 en México se detectó el 27 de febrero de 2020. Actualmente hasta el 17 de septiembre del 2021 existen 3,552,983 casos confirmados, de los cuales el 15.84 % requiere hospitalización con porcentaje muy variable de pacientes intubados; se han registrado 270,538 defunciones (2).

Los hallazgos en las imágenes de tórax de COVID-19 se publicaron por primera vez en enero de 2020 e incluyeron afectación pulmonar bilateral y opacidades en vidrio deslustrado en la mayoría de los pacientes hospitalizados. Desde entonces, una gran cantidad de artículos sobre los hallazgos de la TC de tórax en COVID-19 se han publicado a un ritmo rápido. El uso adecuado de la TC de tórax en pacientes con COVID-19 debe basarse en la experiencia y, sobre todo, en la evidencia científica surgida desde el brote de esta enfermedad. La tomografía comenzó a utilizarse como prueba diagnóstica en algunas regiones, por falta del reactivo para la detección química. La Sociedad Fleischner dice que, basados en la experiencia se pudieran utilizar las imágenes para diagnóstico, en especial en los pacientes con una alta probabilidad clínica previa, ya que estas podrían revelar un diagnóstico alternativo a COVID-19. Los hallazgos radiológicos por tomografía tienen una sensibilidad del 94%. Su especificidad es baja, porque los patrones radiológicos en la COVID-19 se solapan con los encontrados en otras infecciones respiratorias virales, como el H1N1, MERS y SARS, entre otros (3).

Se han informado varios hallazgos por tomografía de tórax en más del 70% de los casos de COVID-19 comprobados por RT-PCR, incluidas opacidades en vidrio esmerilado las cuales son bilaterales con predilección de los lóbulos inferiores y segmentos posteriores. En las regiones endémicas de COVID-19, la observación de estos hallazgos en la TC de tórax debe levantar la sospecha de un posible diagnóstico de COVID-19. Se realizó un consenso de expertos radiólogos para estandarizar el lenguaje de informes de COVID-19 para mejorar la comunicación y mejorar la eficiencia del manejo de los pacientes durante esta pandemia como se expresa en la tabla 1 (4).

Tabla 1. Lenguaje de presentación de informes propuesto por el consenso de expertos de la Sociedad de Radiología de América del Norte (RSNA) sobre el informe de los hallazgos de la TC de tórax relacionados con COVID-19: respaldado por la Sociedad de Radiología Torácica, el Colegio Americano de Radiología y la RSNA (4).

Clasificación imagenológica de neumonía por COVID-19	Fundamentos	Hallazgos tomográficos.	Lenguaje sugerido para el reporte.
Apariencia típica	Hallazgos imagenológicos comúnmente informados con mayor especificidad para neumonía por COVID-19.	Áreas de vidrio esmerilado periférico, bilateral con o sin consolidación, y septos interlobulillares visibles (patrón en empedrado). Áreas de vidrio esmerilado multifocal de morfología redondeada con o sin consolidación, y septos interlobulillares visibles (patrón en empedrado). Signo del halo inverso y otros hallazgos de neumonía organizativa (visto posteriormente en la enfermedad).	“Se encuentran hallazgos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19”.
Apariencia indeterminada	Hallazgos inespecíficos de neumonía por COVID-19.	Ausencia de características típicas y presencia de: Áreas de vidrio esmerilado multifocal, difuso, perihiliar o unilateral con o sin consolidación, carente de	“Se encuentran hallazgos imagenológicos que pueden ser vistos en neumonía por COVID-19; sin embargo, son inespecíficos y pueden ocurrir con una variedad de

		una distribución específica y no son redondeadas ni periféricas. Algunas áreas muy pequeñas de vidrio esmerilado con una distribución no periférica, ni redondeada.	procesos infecciosos o no infecciosos”.
Atípico	Hallazgos poco comunes o no informados en neumonía por COVID-19.	Ausencia de hallazgos típicos o indeterminados y presencia de: Consolidación lobar aislada o segmentaria sin vidrio esmerilado. Nódulos pequeños (centrolobulillares, “árbol en gemación”). Cavitación pulmonar. Engrosamiento liso de los septos interlobulillares con derrame pleural.	“Se encuentran hallazgos imagenológicos que han sido informados de manera atípica en neumonía por COVID-19 (se deben considerar diagnósticos alternos)”
Negativo para neumonía	No hay hallazgos de neumonía.	No hay hallazgos tomográficos sugestivos de neumonía.	“No se encuentran hallazgos tomográficos que indiquen neumonía.

La enfermedad por COVID-19 exige cuidados intensivos en 3 a 5 % de los enfermos. En un estudio realizado en el Hospital General de México Dr. Eduardo Liceaga, de 104 pacientes con COVID-19 ingresados en unidad de cuidados intensivos (UCI) 100 fueron sometidos a ventilación mecánica (5).

En un escenario sin pandemia aproximadamente 40% de los pacientes en la unidad de cuidados intensivos requieren ventilación mecánica (VM) y de 20 a 25% presentan dificultades en discontinuar la VM (6).

La ventilación mecánica a través de intubación orotraqueal ha sido utilizada a lo largo de la historia como una herramienta fundamental en el tratamiento de los pacientes con insuficiencia respiratoria, busca mantener una adecuada ventilación alveolar y un intercambio gaseoso efectivo (7-8).

Sin embargo, la ventilación mecánica es claramente un arma de dos filos. A continuación, se describen brevemente las complicaciones más frecuentes de la VM, se presentan en la tabla 2 (9-10):

Tabla 2. Complicaciones más frecuentes de la ventilación mecánica.

Derivadas de la vía aérea artificial:	Traqueomalacia. Estenosis traqueal. Fístula traqueo-esofágica. Obstrucción, desplazamiento o introducción orotraqueal en bronquio derecho. Daño de vía aérea superior.
Hemodinámicas:	Elevación de la presión intratorácica. Reducción de la precarga del ventrículo izquierdo. Aumento de la postcarga del ventrículo izquierdo.
Pulmonares:	Volutrauma: secundario a sobredistensión pulmonar por el volumen de gas insuflado. Barotrauma: por exceso de presión se produce una sobredistensión alveolar con rotura que puede dar lugar a neumotórax, neumomediastino, etc. Atelectrauma: causado por las fuerzas de cizallamiento por la apertura y cierre alveolar. Biotrauma: por liberación de citoquinas inflamatorias a la circulación sistémica pudiendo ocasionar fracaso multiorgánico.

	Toxicidad por oxígeno.
Renales:	Activación del sistema simpático que da lugar a vasoconstricción de la arteriola renal provocando un descenso de la perfusión renal. Oliguria y fracaso renal prerrenal.
Neurológicas:	Elevación de la presión intracraneal por disminución del retorno venoso con elevación de la presión venosa central. Descenso del gasto cardíaco y de la presión arterial media con disminución de la presión de perfusión cerebral.
Infecciosas:	Sinusitis. Traqueobronquitis. Neumonía asociada a VM.
Gastrointestinales:	Vasoconstricción de vasculatura gastrointestinal: hipoperfusión esplácnica, disminución del pH intramucoso, erosión de la mucosa y disminución de la motilidad intestinal. Aumento de presión intraabdominal. Translocación bacteriana e infecciones. Esofagitis o gastritis erosiva, íleo, aumento del residuo gástrico, hemorragia gastrointestinal.
Derivadas de la desnutrición:	Atrofia y debilidad muscular. Alteraciones de la inmunidad celular, favoreciendo la infección. Disminución del surfactante pulmonar que ocasiona atelectasias.

	Descenso de la albúmina con disminución de la presión oncótica, contribuyendo al desarrollo de edema pulmonar.
Neuromusculares:	Disfunción diafragmática inducida por VM. Miopatía, polineuropatía. Atrofia muscular.
Psicológicas-psiquiátricas:	Delirio y ansiedad. Dependencia del respirador y depresión.

Estas complicaciones directas a nivel pulmonar y sistémico conducen a la prolongación de la estancia hospitalaria, incremento de los costos, mayor mortalidad y disminución de la calidad de vida. Resulta entonces crítico tratar de acortar el periodo de VM con el que es soportado un paciente críticamente enfermo (11).

Múltiples estudios han sugerido que la VM tiene un efecto en los músculos respiratorios que conduce a la disfunción y atrofia diafragmática. Mientras el paciente es asistido por el ventilador, el diafragma está relajado, lo que puede causar un trastorno específico denominado disfunción diafragmática inducida por la ventilación mecánica (DDIVM) (12,13). La importancia clínica de la DDIVM radica en su pronta aparición y afecta hasta a un 65% de los pacientes ventilados (14). Levine *et al.* demostraron que los pacientes en las primeras 18-69 horas con ventilación mecánica presentaban reducción de más del 50% de las fibras musculares en biopsias diafragmáticas (15).

Se ha demostrado que la DDIVM empeora el pronóstico y se asocia a un fracaso en la extubación (16,15), con un aumento de los días de VM y de la mortalidad (18,19). A pesar de los efectos deletéreos de la DDIVM, no se realiza monitorización rutinaria de la función diafragmática, por lo que probablemente esta entidad se encuentra infradiagnosticada (20).

Goligher *et al.* definen al conjunto de interacciones inadecuadas entre el paciente y el ventilador mecánico, los cuales resultan en daño muscular y pérdida de la capacidad para generar fuerza o debilidad diafragmática como miotrauma diafragmático, han descrito 4 posibles mecanismos:

1. Sobre asistencia ventilatoria o carga insuficiente que corresponde al mecanismo de miotrauma más frecuente, afectando cerca del 50% de los pacientes ventilados mecánicamente. Su aparición ocurre debido a un esfuerzo respiratorio insuficiente principalmente causado por un soporte ventilatorio excesivo. Esta ausencia o niveles bajos de esfuerzo respiratorio favorecen la aparición de atrofia diafragmática por desuso y consecuentemente debilidad muscular.

2. Baja asistencia ventilatoria o exceso de carga que ocurre cuando este nivel de asistencia no es capaz de disminuir el trabajo muscular respiratorio para mantener la ventilación y favorece la presencia de un nivel de esfuerzo respiratorio excesivo que podría producir una lesión diafragmática por sobrecarga.

3. Miotrauma excéntrico la cual es por la contracción excéntrica de un músculo que es definida como una activación muscular durante su elongación o bien mientras los puntos de inserción se separan. En este sentido, una contracción excéntrica del diafragma ocurriría ante la activación muscular durante la fase espiratoria mientras el músculo vuelve a su posición de reposo. En ventilación mecánica, este tipo de contracciones musculares pueden ocurrir en casos específicos de asincronía paciente-ventilador.

4. Miotrauma espiratorio el cual se relaciona directamente a la aplicación de presión positiva al final de espiración (PEEP) y sus efectos derivados (Ej. un aumento en el volumen pulmonar al final de la espiración). En este sentido, la aplicación de PEEP favorece un desplazamiento caudal del diafragma, aplana el domo diafragmático, disminuye su curvatura y altera la relación longitud/tensión de las fibras musculares durante el ciclo ventilatorio (21).

Dentro de los factores asociados a la disfunción muscular respiratoria en el paciente con VM se tienen los siguientes:

- *Edad*: La fuerza, masa y estructura del músculo esquelético cambian con la edad. A los 70 años se presenta una reducción de la masa muscular de hasta 30% y esto genera una disminución

de la fuerza periférica de hasta el 40% (6). En un estudio multicéntrico prospectivo que incluyó pacientes ventilados mecánicamente en las unidades de cuidados intensivos, encontraron que la edad promedio fue de 57 años y en los pacientes que se encontraban en ventilación mecánica prolongada fue de 72 años (22).

- *Estado nutricional y metabólico:* Entre el 30 y el 60% de los pacientes de la UCI tienen o tendrán algún grado de desnutrición, debido a las alteraciones metabólicas que conducen a un mayor gasto energético y también a un déficit de nutrientes secundario a la disminución de la absorción o a la disponibilidad de estos durante la enfermedad crítica
- *Comorbilidades:* Las más prevalentes en pacientes críticamente enfermos sometidos a VM son sepsis, diabetes mellitus, hipertensión e infarto agudo de miocardio (21).
- *Tratamientos farmacológicos:* como el uso de glucocorticoides los cuales a altas dosis se han asociado a trastornos neuromusculares que producen disfunción muscular periférica y respiratoria. En pacientes con VM se observó que estos retrasan el destete de VM y aumentan la necesidad de traqueostomía (11).

Las dificultades para el retiro del soporte ventilatorio se presentan entre el 20 y 25% de los pacientes bajo VM, los músculos de la respiración tienen un papel fundamental para el éxito o el fracaso del proceso de destete (25). El retiro de VM en pacientes con debilidad muscular relacionada puede ser complicado, por lo que el estudio de la disfunción diafragmática en estos pacientes es de relevancia (27).

El diagnóstico de la DDIVM es difícil, debido a la localización del diafragma y la dificultad que entraña valorar sus propiedades contráctiles. El gold standard en la evaluación de la función diafragmática, es la determinación de la presión transdiafragmática, mediante la estimulación magnética cervical del nervio frénico. Requiere la colocación de un balón gástrico y otro esofágico, para la medición de la presión esofágica y de la presión gástrica, así como la ubicación de electrodos a nivel cervical que estimulan el nervio frénico. Su principal limitación es que es una técnica invasiva y no disponible en la mayoría de unidades de medicina intensiva. Esta importante limitación ha hecho que se desarrollen mediciones alternativas fiables, accesibles y menos invasivas para la valoración y seguimiento de la funcionalidad diafragmática sobre todo con técnicas de imagen (28,29).

Modalidades o técnicas en Imagenología:

El diafragma es el único músculo esquelético esencial para la vida, actuando junto a los pulmones para lograr un intercambio gaseoso efectivo (18). Se caracteriza por ser un músculo de grosor fino en su parte costal y de mayor grosor en su parte crural, con forma de domo y que separa la cavidad torácica de la abdominal. Sus fibras musculares se irradian desde una estructura tendinosa central hasta insertarse periféricamente en las estructuras esqueléticas. El músculo del diafragma tiene dos componentes principales definidos en su punto de origen: la parte crural (vertebral) también conocida como pilares diafragmáticos y su parte costal (esternocostal). La parte costal del diafragma surge del proceso xifoides, el extremo inferior del esternón y los cartílagos costales de las seis costillas inferiores. Estas fibras costales se dirigen cranealmente creando una zona de aposición. La parte crural se adhiere a la superficie ventral de los cuerpos vertebrales lumbares y al fibrocartílago intervertebral de las tres primeras vértebras lumbares en el lado derecho y a los dos primeros cuerpos vertebrales lumbares en el lado izquierdo (24).

Pueden existir variantes anatómicas como lo son la duplicación parcial del diafragma que puede afectar a los pilares. Se cree que es el resultado de una sincronización incorrecta en la interacción de las yemas pulmonares y el septum transversum. La condición se asocia con malformaciones cardiovasculares y mal desarrollo pulmonar ipsilateral. La discontinuidad del diafragma entre los pilares y los ligamentos arqueados laterales es una variación normal que se encuentra en el 11% de los pacientes normales y no debe confundirse con la rotura diafragmática (25).

Debido a que el movimiento y engrosamiento diafragmático tienen un papel fundamental durante la respiración espontánea, la apreciación de este músculo es esencial en la evaluación e implementación del proceso de retiro de la VM (45). La medición del grosor de este músculo se describió desde 1989 y ha sido utilizada para evaluar la contracción diafragmática en sujetos sanos y en el diagnóstico de parálisis diafragmática, entre otros usos (46).

La radiografía antero-posterior es la técnica radiográfica más solicitada en la Unidad de Cuidados Intensivos. Es una técnica rápida y sencilla, aporta información valiosa sobre el estado clínico del

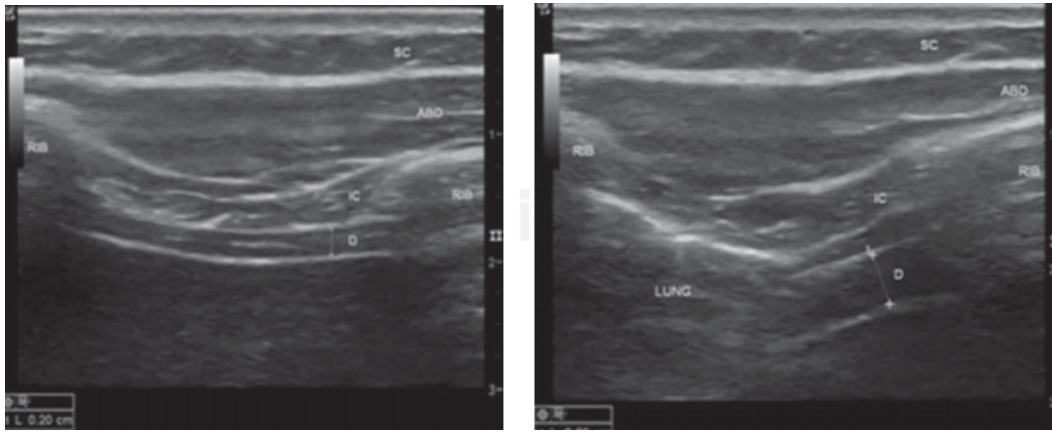
paciente de manera inmediata, ya que no precisa preparación previa ni utiliza elementos invasivos para su obtención. Está indicada como técnica de primera elección en el estudio del aparato respiratorio, vía aérea y parénquima pulmonar, ya que aporta una visión general de forma rápida y precisa del estado cardio respiratorio del paciente, así como de la enfermedad (30).

La elevación de ambos hemidiafragmas, como se observa comúnmente en pacientes que son dependientes del ventilador, puede interpretarse como un débil esfuerzo inspiratorio o volúmenes pulmonares bajos, tiene baja especificidad para el diagnóstico de la disfunción diafragmática (31).

La evaluación diafragmática mediante fluoroscopia se utiliza en casos de parálisis, disfunción y eventración diafragmática, no es valorable el grosor del mismo por este método de estudio (32). Sukkasem *et al.* asociaron la atrofia de la parte crural diafragmática representado por la tomografía computarizada y el diagnóstico fluoroscópico de parálisis hemidiafragmática en pacientes con sospecha de disfunción diafragmática (43).

Tradicionalmente el ultrasonido es la técnica de imagen utilizada para la evaluación del diafragma principalmente de su parte costal. Hay varios parámetros que se han propuesto para evaluar el diafragma por ecografía: el grosor diafragmático, la fracción de engrosamiento diafragmático y el desplazamiento o excursión diafragmática. Se observa el diafragma en modo B como dos líneas paralelas hiperecoicas (pleura y peritoneo) con una franja hipoecoica en medio (diafragma) como en la figura 1. Tiene un grosor que varía en función de la fase del ciclo respiratorio.

En modo M, se observa cómo cambia el grosor diafragmático, el cual es mayor en inspiración. El grosor del diafragma durante la espiración no forzada en pacientes ventilados es de 2.4 ± 0.8 mm, indicando atrofia valores por debajo de 2 mm (21).



A.

B.

Figura 1. Ultrasonido en Modo B. Imagen “A” con diafragma (D) al final de la inspiración, imagen “B” con diafragma (D) al final de la espiración el cual aumenta su grosor. ABD = Músculo abdominal, D = Diafragma, IC = Intercostal, SC = Tejido subcutáneo. (26).

Ferrari *et al.* estudio el índice predictivo de destete de VM después de una prueba de ventilación espontánea, reportó que un cambio de grosor diafragmático se asoció a falla en el destete o falla de la discontinuación de la ventilación mecánica a las 48 horas (33).

Sin embargo sus principales desventajas son: la experiencia del operador principalmente a la hora de lograr una adecuada ventana para observar el diafragma, la presencia de artefactos los cuales disminuyen su certeza diagnóstica y la variabilidad de equipos a los que se tienen acceso (34). La exploración ecográfica del diafragma tiene alto grado de complejidad y aumenta en pacientes con poca o nula cooperación como lo es el caso con pacientes con VM (35). Hasta un 10% de los pacientes no pueden ser evaluados por ecografía debido a una ventana acústica deficiente (36).

En México existen diversos estudios que utilizan el ultrasonido para medir el grosor diafragmático como el de Tanaka *et al.*, en el cual concluyen que la medición del grosor diafragmático por ultrasonido es un parámetro útil para predecir el éxito o el fracaso de la extubación (27). Ninguno ha utilizado la tomografía computada como estudio de elección.

La necesidad de un diagnóstico precoz de DDIVM y de una técnica accesible y no invasiva justifica el empleo creciente de la tomografía para la evaluación del adelgazamiento diafragmático principalmente a nivel de los pilares o parte crural diafragmática (37).

La introducción de la Tomografía computada (TC) helicoidal y la nueva tecnología de detectores de matriz en la década de 1990, ha mejorado la precisión de la TC en el diagnóstico de lesiones diafragmáticas. De hecho, los informes anteriores sugieren que la TC convencional tiene una sensibilidad variable de 14% -61% y una especificidad del 76% -99% en el diagnóstico de lesión diafragmática. La TC helicoidal ha demostrado ser más valiosa en la detección de lesiones diafragmáticas con una sensibilidad del 71% y una especificidad del 100% (38).

Sukkasem *et al.* en imágenes axiales de tomografía computada utilizaron el grosor de la parte crural del diafragma con un valor < 2.5 mm para predecir parálisis hemi diafragmática, con una sensibilidad del 100%, una especificidad del 86%, un valor predictivo positivo (VPP) del 33% y un valor predictivo negativo (VPN) del 100%, en la predicción de parálisis hemi diafragmática para el hemidiafragma derecho y una sensibilidad del 100%, una especificidad del 64%, un VPP del 35% y un VPN del 100% para el hemidiafragma izquierdo (39).

Jung *et al.* utilizaron un software tomográfico de volumetría que calculó todo el volumen del diafragma mediante el cual concluyeron que, en pacientes con VM el volumen diafragmático disminuyó un $11 \pm 13\%$ en pacientes no sépticos y un $27 \pm 12\%$ en pacientes sépticos (40). Sin embargo el acceso a dicho software es de difícil acceso y alto costo.

Evaluado por TC el diafragma en su parte crural mide 4.8 ± 0.6 mm (41), no varía significativamente con la edad y el sexo para una fase específica de la respiración, por lo tanto la tomografía computada es una modalidad de imagen confiable para la evaluación diafragmática (11).

Se ha demostrado que la medición del grosor diafragmático en tomografía computarizada, tiene éxito en la evaluación del diafragma en pacientes con esclerosis lateral amiotrófica, detectando el adelgazamiento diafragmático debido a la terapia con ventilación mecánica y el diagnóstico de parálisis unilateral del diafragma. La principal limitación en la medición del grosor diafragmático por tomografía

es la ausencia de un consenso sobre ubicaciones de medición fiables (puntos). Esto puede conducir a la variabilidad en el rendimiento de las mediciones del grosor diafragmático (41,44).

El mejor sitio para llevar a cabo esta medición es en cortes axiales a nivel del origen del tronco celíaco, en el borde anterior del canal espinal, a nivel de la primera vértebra lumbar como se muestra en la figura 2.

En el plano coronal el grosor diafragmático presentó una amplia variación para cada punto de medición intra e interobservador (41).

Lee *et al.* realizó el primer estudio para evaluar el espesor del diafragma de pacientes con VM, mediante tomografía computada el cual disminuyó significativamente tanto en el lado izquierdo como en el derecho con una reducción media de aproximadamente el 10% (37).

Ni Y-N *et al.* concluyeron que a menor pérdida de grosor del diafragma medido por TC hay una menor tasa de re intubación y mortalidad hospitalaria (42).

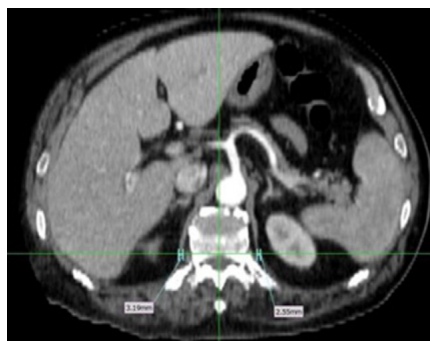


Figura 2. Ejemplo de medición de los pilares diafragmáticos en tomografía axial en ventana para mediastino a nivel del origen del tronco celíaco, en el borde anterior del canal espinal a nivel de la primera vértebra lumbar (37).

Es importante mencionar que el retiro de ventilación mecánica debe evaluarse diariamente por el médico hasta que el paciente esté listo para éste, como ya se mencionó la prolongación de la intubación conlleva riesgos, incrementa el tiempo de estancia y costos para el paciente. Por otro lado,

un retiro de ventilación mal valorado o hecho inadecuadamente propiciará mayor porcentaje de falla en la extubación, requiriendo reintubación en horas posteriores y con esto un aumento en la mortalidad del paciente (26).

Los métodos de imagen utilizados para la evaluación del diafragma, como lo es la radiografía de tórax, la cual es accesible, pero tiene la desventaja de tener poca visibilidad de los órganos y tejidos internos, es el estudio con menor resolución espacial y evalúa las estructuras en un solo plano. El ultrasonido por su parte es también accesible sin embargo es el método con mayores dificultades técnicas pues depende de la experiencia del operador y la pericia que tiene el mismo para obtener las imágenes a través de los espacios intercostales ya que el hueso limita la visibilidad del mismo así como los movimientos respiratorios no controlados de un paciente crítico. La resonancia magnética también es utilizada para la evaluación diafragmática siendo el estudio más preciso y detallado sin embargo sus desventajas son, que tiene un alto costo, pocas veces se cuenta con esta tecnología en los Centros Hospitalarios, así como un largo tiempo de adquisición, lo cual aumenta el riesgo de complicaciones en pacientes críticos al estar fuera de la UCI. Por lo tanto la tomografía al ser un método de estudio más accesible, menos costoso, de rápida adquisición, permite observar órganos, tejidos blandos y óseos por igual, con un alto detalle anatómico, así como la facilidad de realizar reconstrucciones en alta resolución, en todos los planos (coronal, sagital, axial y oblicuo) así como tridimensionales, se convierte en la herramienta de elección para evaluar el diafragma.

Después de realizar una búsqueda de artículos científicos respecto del tema, se han encontrado pocas publicaciones a nivel mundial sobre la utilización de la tomografía computada de tórax en pacientes previo y con ventilación mecánica. Por lo cual realizar este tipo de estudio permitirá tener un mayor conocimiento al respecto.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional, retrospectivo, longitudinal y retrolectivo del expediente radiológico y clínico de 26 pacientes con edades entre 31 y 81 años con tomografía computada de tórax antes y/o durante la ventilación mecánica, en pacientes críticamente enfermos con hallazgos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19. En las cuales se realizó una medición del pilar diafragmático

en corte axial a nivel del origen del tronco celíaco (borde anterior del canal espinal a nivel de la primera vértebra lumbar). Así como se revisó el expediente de los pacientes para determinar las variables edad y sexo así como defunción durante la hospitalización, tratamiento con corticoesteroides y la presencia de comorbilidades como diabetes mellitus e hipertensión arterial. Posteriormente se realizó una base de datos en el programa SPSS con lo cual se realizaron los análisis estadísticos y las gráficas. Determinando la diferencia de grosor diafragmático derecho e izquierdo antes y durante la ventilación mecánica mediante medidas de tendencia central y dispersión así como mediante la prueba de T-Student, se consideró una diferencia estadísticamente significativa cuando el valor de p fue menor a 0.005.

4. RESULTADOS

Se incluyeron un total de 26 pacientes con una edad promedio de 58.15 ± 12.642 años con un rango entre 31 y 81 años (Figura 1).

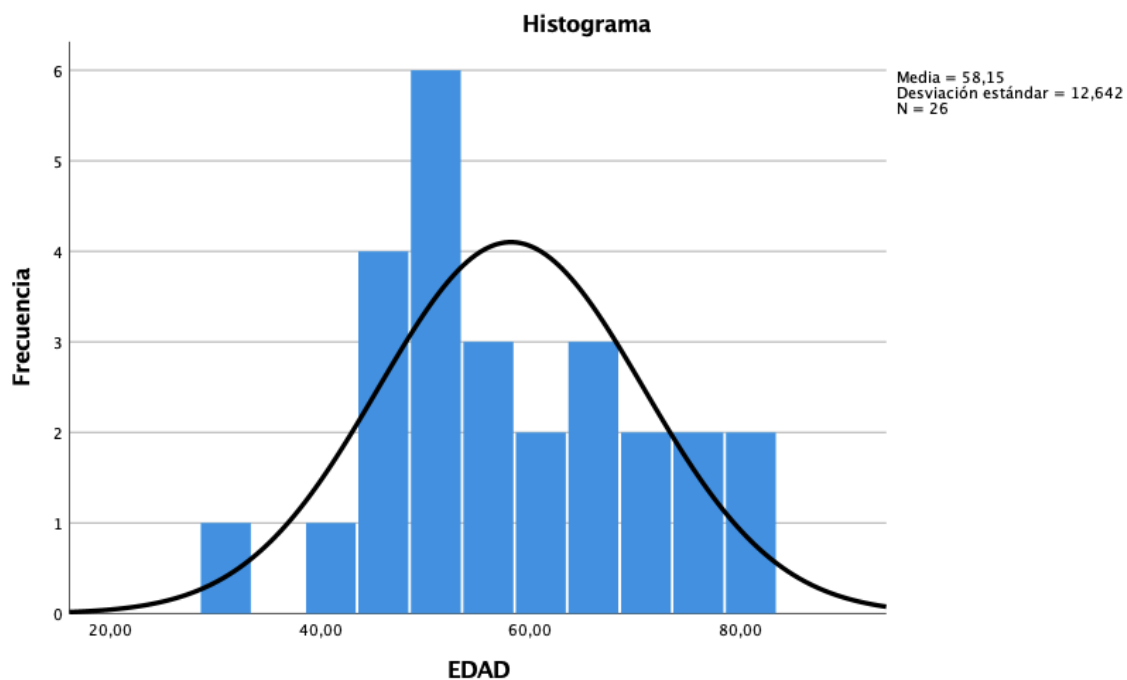


Figura 1. Histograma que muestra la distribución de los pacientes del estudio de acuerdo a su edad

El 65.3%(n=17) fueron del sexo masculino y 34.61% (n=9) fueron del sexo femenino,(Figura 2).

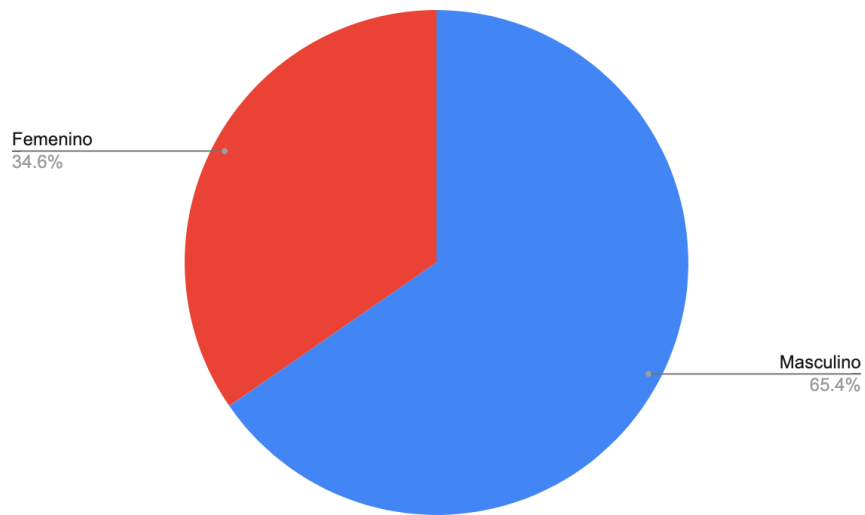


Figura 2. Gráfica de sectores que muestra la distribución de los pacientes del estudio de acuerdo a su sexo

Se encontró que el grosor promedio del pilar derecho es de 5.6 ± 1.2 mm, el promedio del pilar izquierdo es 5.0 ± 1.1 mm, antes de la ventilación (Figura 3 y 4).

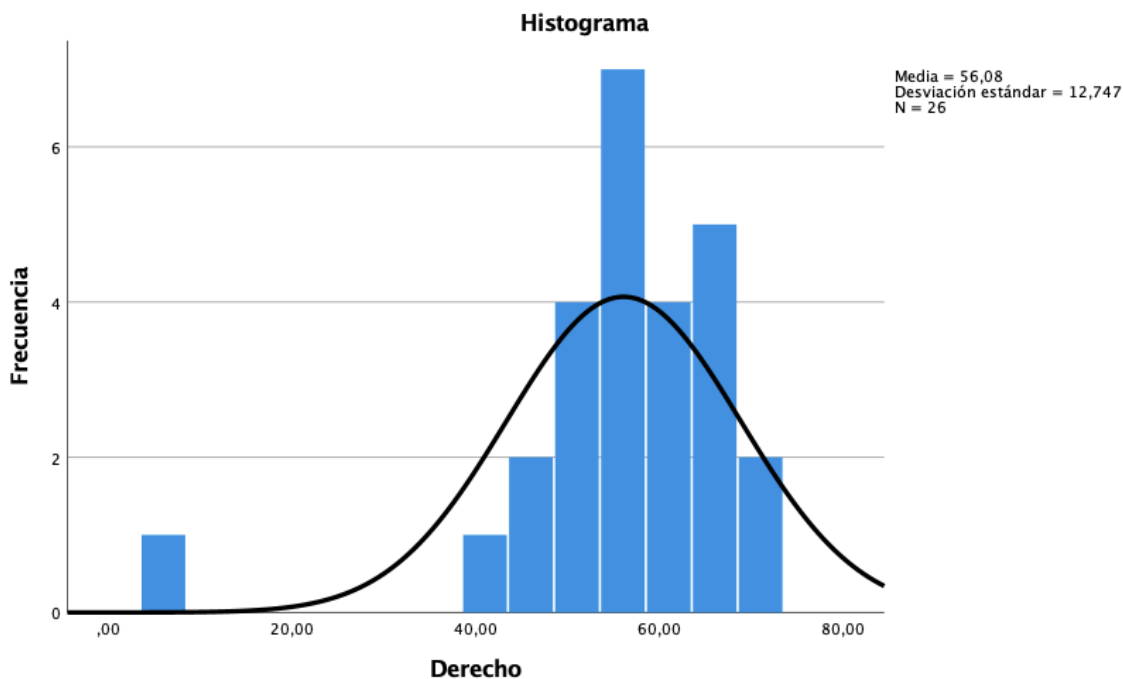


Figura 3. Histograma que muestra el promedio del grosor del pilar diafragmático derecho antes de la ventilación mecánica.

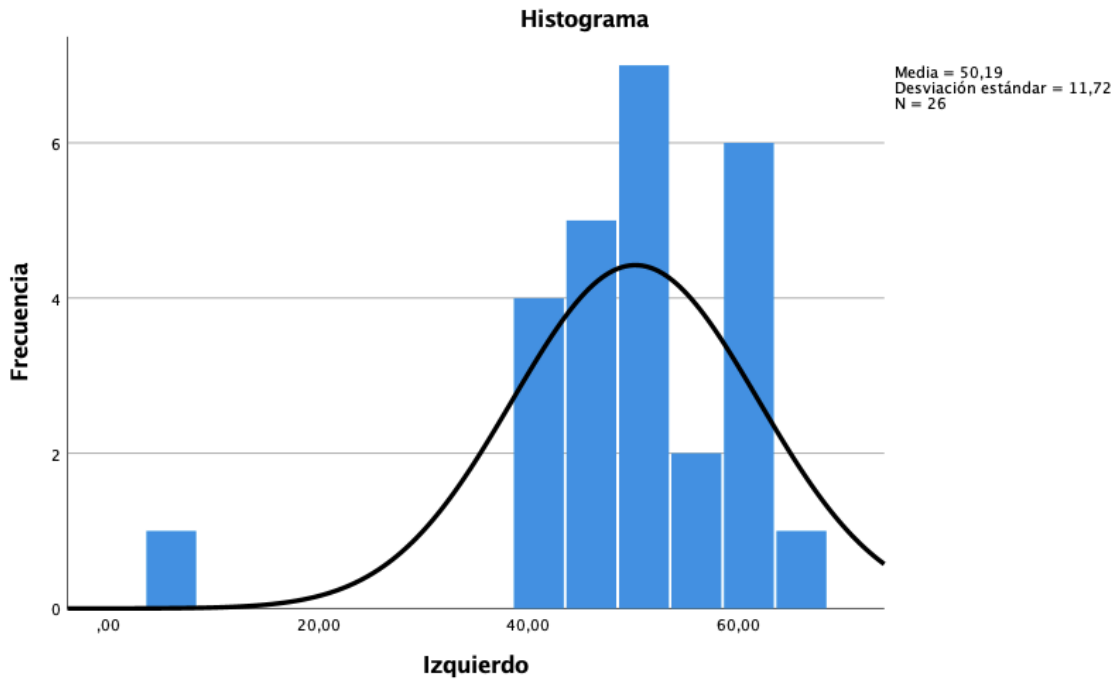


Figura 4. Histograma que muestra el promedio del grosor del pilar diafragmático izquierdo antes de la ventilación mecánica.

Se encontró que el tiempo promedio entre la tomografía previa y durante la ventilación mecánica fue de 12.1 ± 5.7 días (Figura 5).

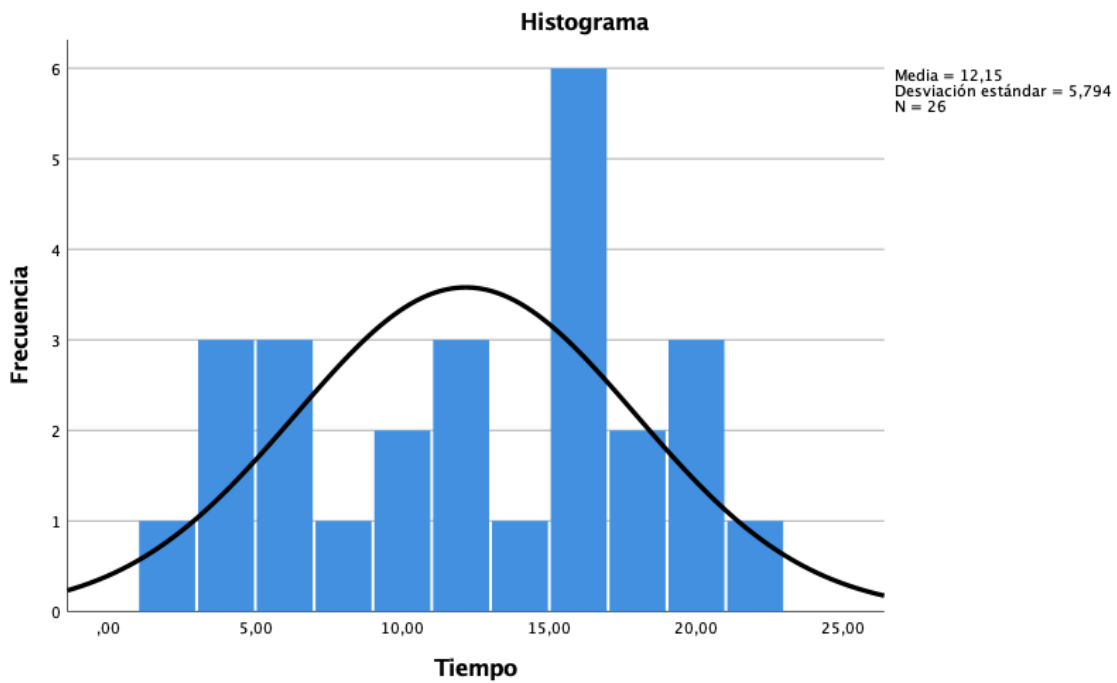


Figura 5. Histograma que muestra el promedio del tiempo entre la tomografía antes y durante la ventilación mecánica.

La disminución en el grosor promedio del pilar diafragmático fue de 1.1 ± 0.5 mm del lado derecho y de 0.9 ± 0.5 mm del lado izquierdo con un promedio de 2.4 ± 1.0 mm (Figuras 6,7 y 8).

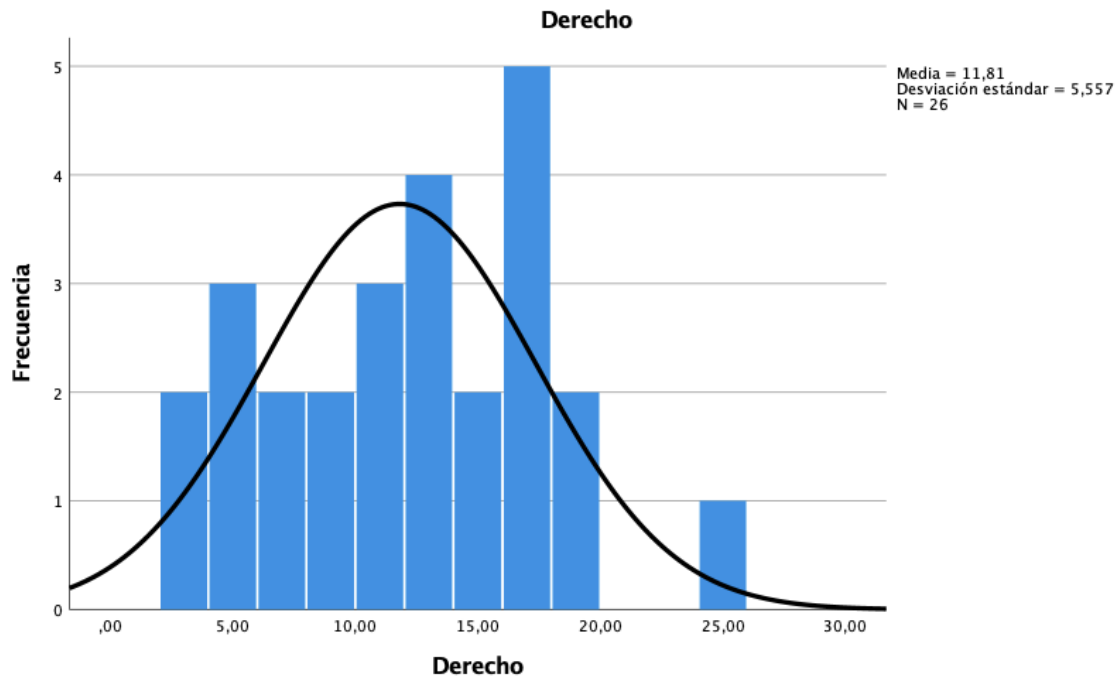


Figura 6. Histograma que muestra el promedio de la disminución del pilar diafragmático derecho.

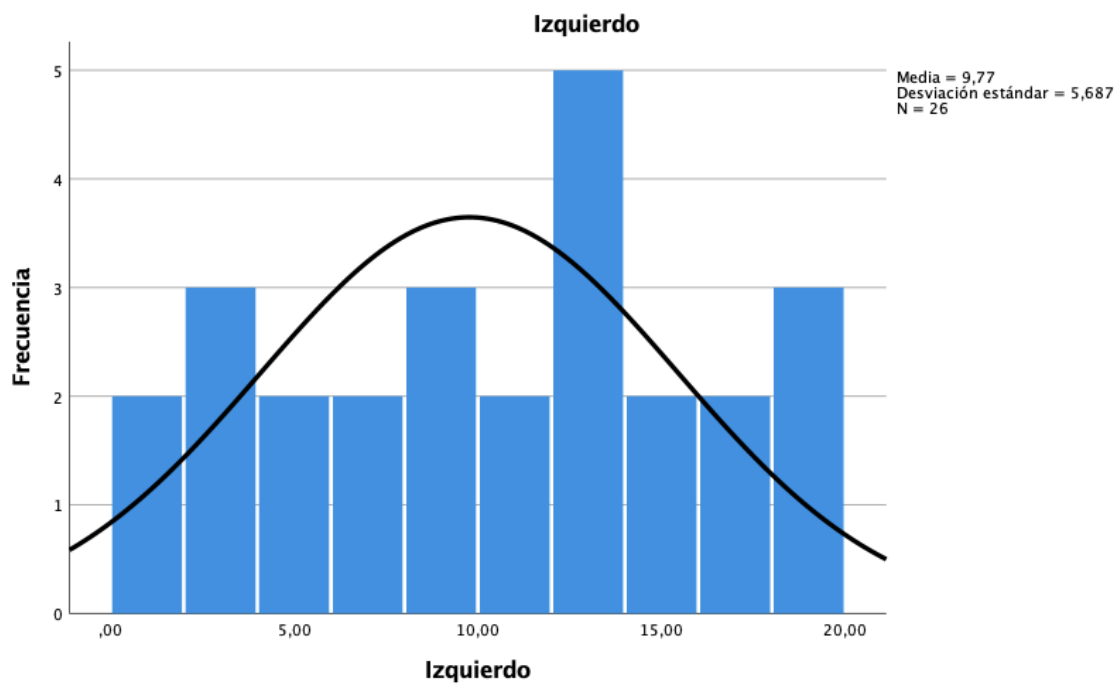


Figura 6. Histograma que muestra el promedio de la disminución del pilar diafragmático izquierdo.

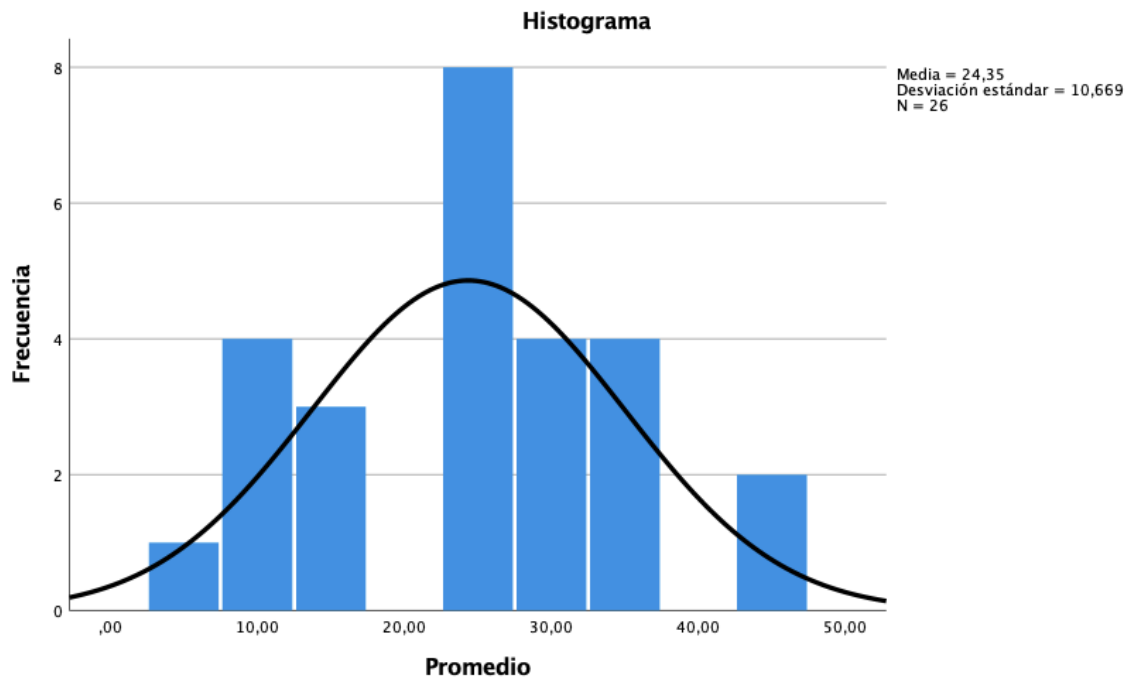


Figura 6. Histograma que muestra el promedio de la disminución del pilar diafragmático bilateral.

Mediante T de student entre el total del grosor diafragmático antes y durante la ventilación mecánica arrojó un valor de $P < 0.005$ con IC del 95% por lo que es estadísticamente significativo.

Prueba de muestras independientes											
Prueba de Levene de igualdad de varianzas				prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Significación P de un factor	P de dos factores	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
										Inferior	Superior
VAR00004	Se asumen varianzas iguales	,042	,838	2,703	50	,005	,009	20,42308	7,55690	5,24459	35,60157
	No se asumen varianzas iguales			2,703	49,429	,005	,009	20,42308	7,55690	5,24024	35,60591

Tabla 1. Muestra las variables independientes entre el grosor diafragmático antes y durante la ventilación mecánica.

5. DISCUSIÓN

En nuestro estudio pudimos corroborar que la edad promedio de pacientes críticos por neumonía por COVID-19 es alrededor de los 60 años con una media de 58 años lo que concuerda con lo reportado en la literatura.

En lo que respecta al sexo encontramos una predilección por pacientes del sexo masculino como lo es reportado en el tablero epidemiológico mexicano del CONACyT y en el reportado por la OMS.

En cuanto a el objetivo principal encontramos que el grosor diafragmático antes de la ventilación mecánica media en promedio en eje axial en el lado derecho fue de 5.6 ± 1.2 mm y en el lado

izquierdo fue de 5.0 ± 1.1 mm, según lo reportado por Lee y cols (2012) que fue en promedio de 7.7 ± 1.4 mm con 13 pacientes y Ufuk y cols (2019) con 44 pacientes fue en promedio de 4.8 ± 0.6 mm; por lo que nuestra sería concuerda con el promedio reportado en la literatura. Efectivamente encontramos una disminución promedio de 2.4 ± 1.0 mm del grosor diafragmático en pacientes ventilados, así como su asociación a mayor adelgazamiento conforme mayor es el tiempo de ventilación. Mediante T de student entre el total del grosor diafragmático antes y durante la ventilación mecánica arrojó un valor de $P < 0.005$ con IC del 95% por lo que es estadísticamente significativo.

Las comorbilidades no arrojaron mayor diferencia en el grosor diafragmático. Sin embargo, en pacientes que no recibieron corticosteroides ($n=6$) se observó una mayor disminución del grosor en comparación con los que lo recibieron.

Este estudio tiene como limitaciones que es un estudio retrospectivo de un solo centro hospitalario por lo que la validez externa de los resultados tiene que verificarse con un estudio poblacional o multicéntrico. Sin embargo, impulsa a la tomografía computada como un método de evaluación diafragmática por lo que consideramos que nuestros resultados aportan información de utilidad al médico tratante en áreas de pacientes críticamente enfermos por COVID-19 para el diagnóstico de disfunción diafragmática inducida por ventilación mecánica, con un método no invasivo. por lo que consideramos que puede ser de gran utilidad para aquellos centros que no cuentan con los métodos invasivos especializados como lo es en la mayoría en nuestro país.

6. CONCLUSIONES

- El grosor diafragmático medido por tomografía disminuye en los pacientes críticamente enfermos con hallazgos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19 en ventilación mecánica lo cual es estadísticamente significativo ($P < 0.005$ con IC del 95%).
- El grosor diafragmático medido por tomografía disminuye en los pacientes críticamente enfermos con hallazgos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19 es mayor su disminución a mayor tiempo de ventilación mecánica.

- El grosor diafragmático medido por tomografía disminuye en menor proporción en los pacientes críticamente enfermos con hallazgos comúnmente reportados en neumonía por COVID-19 tratados con corticosteroides.
- Encontramos que el 65.3% de los pacientes de nuestro estudio fueron del sexo masculino.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Coronavirus disease (COVID-19) [Internet]. Who.int. Disponible en: <https://www.who.int/health-topics/coronavirus>.
2. COVID-19 Tablero México [Internet]. Conacyt.mx. [citado el 18 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://datos.covid-19.conacyt.mx/>.
3. Simpson S, Kay FU, Abbara S, Bhalla S, Chung JH, Chung M, et al. Radiological society of north America expert consensus document on reporting chest CT findings related to COVID-19: Endorsed by the society of thoracic radiology, the American college of radiology, and RSNA. *Radiology Cardiothoracic Imaging*. 2020;2(2):e200152.
4. Kwee TC, Kwee RM. Chest CT in COVID-19: What the radiologist needs to know. *Radiographics*. 2020;40(7):1848–65.
5. Álvarez-Maldonado P, Hernández-Ríos G, Ambríz-Mondragón JC, Gordillo- Mena JA, Morales-Serrano DF, Reding-Bernal A, et al. Características y mortalidad en pacientes mexicanos con COVID-19 y ventilación mecánica. *Gac Med Mex*. 2021;157(1):103–7.
6. Esteban A, Anzueto A, Alía I, Gordo F, Apezteguía C, Pálizas F, et al. How is mechanical ventilation employed in the intensive care unit? An international utilization review: An international utilization review. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;161(5):1450–8.
7. Mizuno M. Human respiratory muscles: fibre morphology and capillary supply. *Eur Respir J*. 1991;4(5):587–601.
8. Gordo Vidal F, Delgado Arnaiz C, Calvo Herranz E. Lesión pulmonar inducida por la ventilación mecánica. *Med Intensiva*. 2007;31(1):18–26.
9. Mutlu GM FP. Complications of mechanical ventilation. *Respir Care Clin N Am*. 2000;6(2):213–52.
10. López Sánchez M. Libro electrónico de Medicina Intensiva Complicaciones de la Ventilación Mecánica. Disponible en: <http://www.medicina-intensiva-libro.com/2011/05/1110-complicaciones-de-la-ventilacion.html>.
11. Díaz MC, Ospina-Tascón GA, Salazar C BC. Disfunción muscular respiratoria: una entidad multicausal en el paciente críticamente enfermo sometido a ventilación mecánica. *Arch Bronconeumol*. 2014;50(2):73–7.
12. Powers SK, Kavazis AN, Levine S. Prolonged mechanical ventilation alters diaphragmatic structure and function. *Crit Care Med*. 2009;37(10 Suppl):S347-53.
13. Powers SK, Kavazis AN, McClung JM. Oxidative stress and disuse muscle atrophy. *J Appl Physiol*. 2007;102(6):2389–97.
14. Demoule A, Jung B, Prodanovic H, Molinari N, Chanques G, Coirault C, et al. 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(2):213–9.
15. Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, et al. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med*. 2008;358(13):1327–35.
16. Demoule A, Jung B, Prodanovic H, Molinari N, Chanques G, Coirault C, et al. 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(2):213–9.
17. Latronico N BC. Critical illness polyneuropathy and myopathy: a major cause of muscle weakness and paralysis. *Lancet Neurol*. 2011;10(10):931–41.
18. Jaber S, Petrof BJ, Jung B, Chanques G, Berthet JP, Rabuel C, et al. Rapidly progressive diaphragmatic weakness and injury during mechanical ventilation in humans. *Am J Respir Crit Care Med*. 2011;183(3):364–71.
19. Esteban A, Ferguson ND, Meade MO, Frutos-Vivar F, Apezteguia C BL et al. Evolution of mechanical ventilation in response to clinical research. *Am J Respir Crit Care Med*. 2008;177(2):170–7.
20. Heunks LMA, Doorduyn J, Van Der Hoeven JG. Monitoring and preventing diaphragm injury. *Curr Opin Crit Care*. 2015;21(1):34-41.
21. Goligher EC, Brochard LJ, Reid WD, Fan E, Saarela O, Slutsky AS, et al. Diaphragmatic myotrauma: a mediator of prolonged ventilation and poor patient outcomes in acute respiratory failure. *Lancet Respir Med*. 2019;7(1):90–8.
22. Tomicic V, Espinoza M, Andresen M, Molina J, Calvo M, Ugarte H, et al. Características de los pacientes que reciben ventilación mecánica en unidades de cuidados intensivos: primer estudio multicéntrico chileno. *Rev Med Chil*. 2008;136(8):959–67.
23. Powers SK, Shanely RA, Coombes JS, Koesterer TJ, McKenzie M, Van Gammeren D, et al. Mechanical ventilation results in progressive contractile dysfunction in the diaphragm. *J Appl Physiol*. 2002;92(5):1851–8.
24. Gauthier AP, Verbanck S, Estenne M, Segebarth C, Macklem PT, Paiva M. Three-dimensional reconstruction of the in vivo human diaphragm shape at different lung volumes. *J Appl Physiol*. 1994;76(2):495–506.
25. Restrepo CS, Eraso A, Ocazonez D, Lemos J, Martínez S, Lemos DF. The diaphragmatic crura and retrocrural space: normal imaging appearance, variants, and pathologic conditions. *Radiographics*. 2008;28(5):1289–305.
26. Vassilakopoulos T, Zakynthinos S, Roussos C. The tension-time index and the frequency/tidal volume ratio are the major pathophysiologic determinants of weaning failure and success. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;158(2):378–85.
27. Tanaka-Montoya A, Amador Martínez A del C, Delgado Mercado LY, Franco Granillo J, Aguirre Sánchez J, et al. Medición del grosor diafragmático como parámetro predictivo para retiro de ventilación mecánica invasiva en pacientes de terapia intensiva. *Med crít (Col Mex Med Crít)*. 2017;31(4):190–7.

28. Hermans G, Agten A, Testelmans D, Decramer M, Gayan-Ramirez G. Increased duration of mechanical ventilation is associated with decreased diaphragmatic force: a prospective observational study. *Crit Care*. 2010;14(4):R127.
29. Gibson GJ, Whitelaw W, Siafakas N, Supinski GS, Fitting JW, Bellemare F, et al. ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(4):518–624.
30. Galimany Masclans J, Berlanga Olalla R, Pernas Canadell JC. La radiografía de tórax en la unidad de cuidados intensivos. *Imagen diagn*. 2013;4(1):13–9.
31. Chetta A, Rehman AK, Moxham J, Carr DH, Polkey MI. Chest radiography cannot predict diaphragm function. *Respir Med*. 2005;99(1):39–44.
32. Alexander C. Diaphragmatic movements and the diagnosis of diaphragmatic paralysis. *Clin Radiol* 1966; 17: 79-83.
33. Ferrari G, De Filippi G, Elia F, Panero F, Volpicelli G, Aprà F. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Ultrasound J*. 2014;6(1):8.
34. Caballero-Lozada AF, Pabón Muñoz FE, Arias Campo JM, Zorrilla Vaca C, Wilches Luna EC. Ultrasonido diafragmático como predictor de extubación en paciente crítico: revisión exploratoria. *Acta Colomb Cuid Intensivo*. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-acta-colombiana-cuidado-intensivo-101-avance-resumen-ultrasonido-diafragmatico-como-predictor-extubacion-S0122726220301002>.
35. Gerscovich EO, Cronan M, McGahan JP, Jain K, Jones CD, McDonald C. Ultrasonographic evaluation of diaphragmatic motion. *J Ultrasound Med*. 2001;20(6):597–604.
36. Dimassi S, Boroli F, Ricardo JC, Brochard L: Evaluación ecográfica del diafragma en pacientes críticos. *Técnica y aplicaciones clínicas. Med de Cuidados Intensivos* 2013; 39:801-10.
37. Lee GD, Kim HC, Yoo J-W, Lee SJ, Cho YJ, Bae K, et al. Computed tomography confirms a reduction in diaphragm thickness in mechanically ventilated patients. *J Crit Care*. 2016;33:47–50.
38. Iochum S, Ludig T, Walter F, Sebbag H, Grosdidier G, Blum AG. Imaging of diaphragmatic injury: a diagnostic challenge? *Radiographics*. 2002;22:S103-S118
39. Sukkasem W, Moftah SG, Kicska G, Godwin JD, Pipavath S, Stern E. Crus atrophy: Accuracy of computed tomography in diagnosis of diaphragmatic paralysis. *J Thorac Imaging*. 2017;32(6):383–90.
40. Jung B, Nougaret S, Conseil M, Coisel Y, Futier E, Chanques G, et al. Sepsis is associated with a preferential diaphragmatic atrophy: a critically ill patient study using tridimensional computed tomography. *Anesthesiology*. 2014;120(5):1182–91.
41. Ufuk F, Çakmak P, Sağtaş E, Herek D, Arslan M, Yağcı AB. Diaphragm thickness measurement in computed tomography: Intra- and inter-observer agreement. *Istanbul Med J*. 2019;20(2):101–6.
42. Ni Y-N, Xu H, Li W-J, Sun J-K, Liang B-M, Liang Z-A. Could the loss of diaphragm thickness measured by computer tomography predict the rate of reintubation? *J Thorac Dis*. 2020;12(3):581–91.
43. Sukkasem W, Moftah SG, Kicska G, Godwin JD, Pipavath S, Stern E. Crus atrophy: Accuracy of computed tomography in diagnosis of diaphragmatic paralysis. *J Thorac Imaging*. 2017;32(6):383–90.
44. Sanli A, Sengun IS, Tertemiz KC, Alpaydin AO, Karacam V, Sanli BA, et al. Importance of diaphragm thickness in amyotrophic lateral sclerosis patients with diaphragm pacing system implantation. *Surg Endosc*. 2016;30(1):154–8.
45. Carrillo ER, Pérez CAA, Peña PCA. Evaluación ultrasonográfica de la función diafragmática mediante doble abordaje en el paciente grave. *Rev Asoc Mex Med Crit Ter Int* 2016;30(4):242-245.
46. Wait JL, Nahormek PA, Yost WT, Rochester DP. Diaphragmatic thickness–lung volume relationship in vivo. *J Appl Physiol*. 1989;67:1560-1568.

8. ANEXOS E IMÁGENES

ANEXO I.

Fecha: _____

No. Registro: _____

Sexo:	Masculino	Femenino
-------	-----------	----------

Edad: _____

Tomografía antes de VM:	Fecha:	Grosor derecho: (mm)	Grosor izquierdo:(mm)
	Axial:		

Tomografía durante VM:	Fecha:	Grosor derecho: (mm)	Grosor Izquierdo: (mm)
------------------------	--------	----------------------	------------------------

	Axial:		
--	--------	--	--

Tiempo entre la primera y segunda tomografía:	días.
---	-------

Comorbilidad	Si	No
Áreas de vidrio esmerilado periférico, bilateral con o sin consolidación, y septos interlobulillares visibles (patrón en empedrado)		
Áreas de vidrio esmerilado multifocal de morfología redondeada con o sin consolidación, y septos interlobulillares visibles (patrón en empedrado).		
Signo del halo inverso y otros hallazgos de neumonía organizativa (visto posteriormente en la enfermedad).		
Antecedente de Diabetes Mellitus		
Antecedente de hipertensión arterial		
Tratamiento con corticosteroides		
Defunción durante la hospitalización		

Obtuvo la información: Dr. Francisco Javier Hernández Nájera.

Firma: _____



Ejemplo de medición de los pilares diafragmáticos en tomografía axial en ventana para mediastino a nivel del origen del tronco celíaco, en el borde anterior del canal espinal a nivel de la primera vértebra lumbar.