

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Medicina Humana

Segunda Especialidad en Medicina Física y de Rehabilitación



Utilidad clínica de la ecografía diafragmática en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica post rehabilitación pulmonar del Hospital Honorio Delgado, Arequipa 2025

Proyecto de investigación presentado por el M.C.:

Pastor Cappelletti, Angel Pier

ORCID: 0009-0003-3480-3151

para optar el Título de Segunda Especialidad en Medicina Física y de Rehabilitación

Asesor (a):

Dra. Paucar Holgado, Rosemary

ORCID: 0009-0007-7741-442X

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
SEGUNDA ESPECIALIDAD EN MEDICINA FÍSICA Y DE REHABILITACIÓN
SEGUNDA ESPECIALIDAD CON PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
DICTAMEN APROBACIÓN DE PROYECTO / PLAN

Arequipa, 26 de Agosto del 2025

Dictamen: 016139-A-FMH-2025

Visto el proyecto / plan del expediente 016139, presentado por:

2022971052 - PASTOR CAPPELLETTI ANGEL PIER

Titulado:

**UTILIDAD CLÍNICA DE LA ECOGRAFÍA DIAFRAGMÁTICA EN PACIENTES CON
ENFERMEDAD
PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA POST REHABILITACIÓN PULMONAR DEL HOSPITAL
HONORIO DELGADO, AREQUIPA 2025**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**30401320 - FARFAN DELGADO MIGUEL FERNANDO
DICTAMINADOR**



Utilidad clínica de la ecografía diafragmática en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica post rehabilitación pulmonar del Hospital Honorio Delgado, Arequipa 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	www.jove.com Fuente de Internet	7%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	5%
3	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	pmc.ncbi.nlm.nih.gov Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Pública de Navarra Trabajo del estudiante	1%
7	sistemas.furg.br Fuente de Internet	1%
8	repositorioinstitucional.uaslp.mx Fuente de Internet	1%
9	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	1%

Excluir citas Apagado Excluir coincidencias < 1%
Excluir bibliografía Apagado

DEDICATORIA

A Dios, por haber guiado mi vida hacia este camino y darme salud para realizar mis objetivos y lograr mis metas.

A mis queridos padres, por enseñarme a levantarme cada vez que me caiga y a nunca dejar de aprender, especialmente de mis fracasos.

A mi amada esposa Brenda y a mis hijos, por su apoyo incondicional e inspirarme a ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mis maestros, compañeros de trabajo y amigos que me acompañaron durante este camino y me motivaron a seguir adelante.

RESUMEN

Este estudio evaluará la utilidad de la ecografía diafragmática como herramienta diagnóstica en pacientes con EPOC que han completado rehabilitación pulmonar en el Hospital Honorio Delgado de Arequipa durante 2025. La investigación busca determinar si los parámetros ecográficos (grosor y movilidad del diafragma) presentan cambios significativos tras la rehabilitación y si estos se correlacionan con mejoría clínica, medida mediante la prueba de caminata de 6 minutos (6MWT) y la escala de disnea mMRC. El muestreo es censal y el diseño es observacional longitudinal, incluyendo pacientes con EPOC que se someten a un programa de rehabilitación pulmonar (6 a 12 semanas). Se realizarán ecografías diafragmáticas antes y después del programa de rehabilitación, junto con evaluaciones clínicas estandarizadas. Los datos se analizarán mediante pruebas estadísticas para comparar resultados pre y post intervención (pruebas t pareadas o Wilcoxon) y establecer correlaciones (Pearson/Spearman). Adicionalmente, se describirá el perfil clínico-demográfico de los participantes.

Palabras claves: EPOC, ecografía diafragmática y rehabilitación pulmonar.

ABSTRACT

This study will evaluate the utility of diaphragmatic ultrasound as a diagnostic tool in patients with COPD who have completed pulmonary rehabilitation at Honorio Delgado Hospital in Arequipa during 2025. The research aims to determine whether ultrasound parameters (diaphragm thickness and mobility) show significant changes after rehabilitation and whether these correlate with clinical improvement, as measured by the Six-Minute Walk Test (6MWT) and the mMRC dyspnea scale. Sampling will be census-based, and the study design is observational and longitudinal, including COPD patients undergoing a pulmonary rehabilitation program (6 to 12 weeks). Diaphragmatic ultrasounds will be performed before and after the rehabilitation program, along with standardized clinical assessments. Data will be analyzed using statistical tests to compare pre- and post-intervention outcomes (paired t-tests or Wilcoxon tests) and to establish correlations (Pearson/Spearman). Additionally, the clinical and demographic profile of the participants will be described.

Keywords: COPD, diaphragmatic ultrasound and pulmonary rehabilitation.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

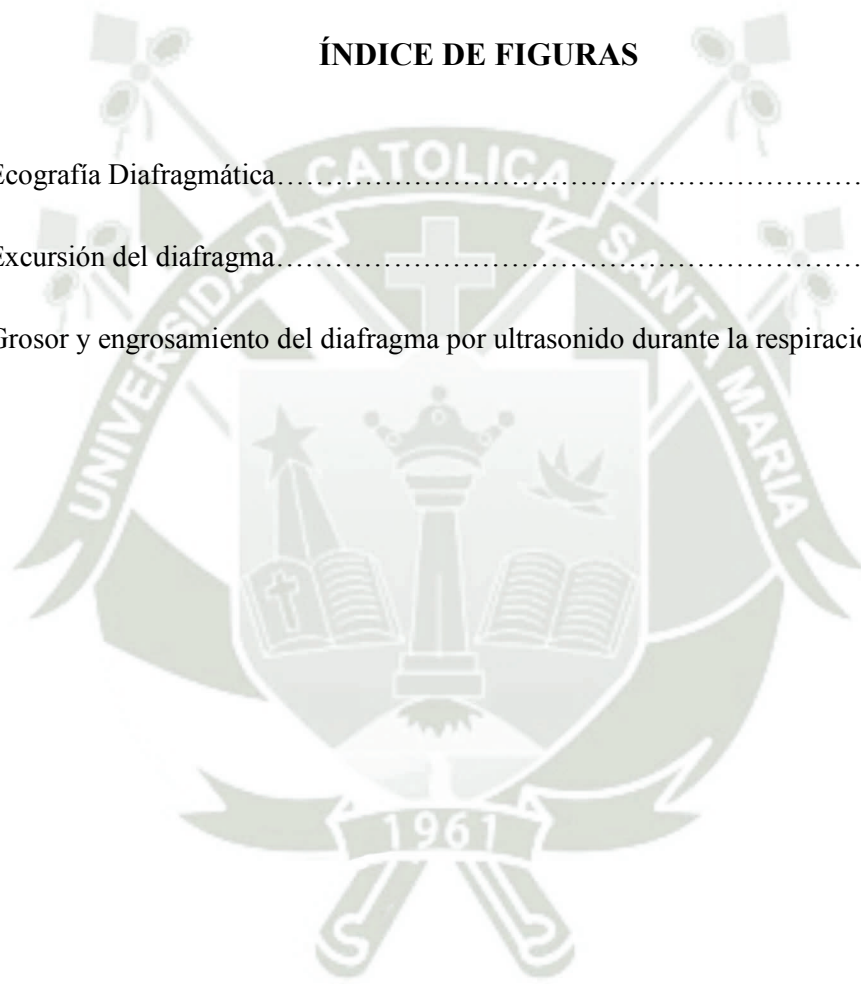
ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO TEÓRICO.....	2
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 Enunciado del problema	3
1.2 Descripción del problema.....	3
1.3 Justificación del problema.....	6
2. OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo general	7
2.2 Objetivos específicos	7
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1 Conceptos Básicos	8
3.1.2 Epidemiología y diagnóstico de la EPOC.....	8
3.1.3 Descripción general de la ecografía diafragmática y medición.....	9
3.1.4 El papel de la ecografía diafragmática en la evaluación de la rehabilitación pulmonar	15
3.2 Revisión de antecedentes investigativos	16
3.2.1 Internacionales	16
3.2.2 Nacionales	19
3.2.3 Locales	19
4. HIPÓTESIS.....	19
4.1 Hipótesis general	19

4.2 Hipótesis específicas	19
CAPITULO II PLANTEAMIENTO OPERACIONAL	20
1. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN	20
1.1 Técnicas:.....	20
1.2. Instrumentos	20
1.3. Materiales de verificación	21
2. CAMPO DE VERIFICACIÓN.....	21
2.1. Ámbito	21
2.2. Temporalidad.....	21
2.3. Unidades de estudio.....	21
2.4. Población.....	21
3. ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	23
3.1. Organización	23
3.2. Recursos	24
3.3 Análisis estadístico	24
REFERENCIAS.....	27
ANEXOS	35

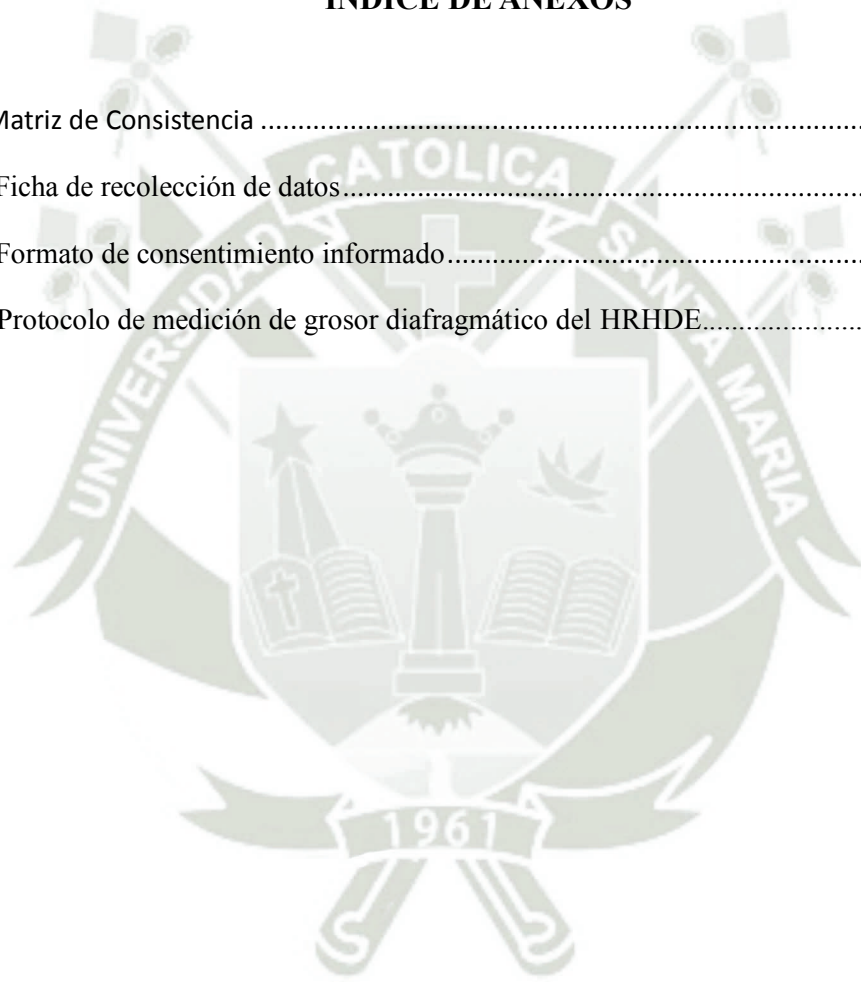
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ecografía Diafrágica.....	10
Figura 2. Excursión del diafragma.....	12
Figura 3. Grosor y engrosamiento del diafragma por ultrasonido durante la respiración tidal..	46



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Matriz de Consistencia	36
Anexo B. Ficha de recolección de datos.....	38
Anexo C: Formato de consentimiento informado.....	41
Anexo D: Protocolo de medición de grosor diafragmático del HRHDE.....	43



INTRODUCCIÓN

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es un trastorno respiratorio progresivo caracterizado por una obstrucción persistente del flujo aéreo, acompañado frecuentemente por manifestaciones extrapulmonares, entre las que destaca el deterioro de la función diafragmática. Este cuadro clínico representa un desafío sanitario de alcance global, con una incidencia creciente en regiones con limitados recursos económicos.

Un área de especial interés, aunque aún poco estudiada, es el impacto de la EPOC sobre el diafragma, músculo fundamental en la mecánica ventilatoria. Evidencia científica reciente sugiere que estos pacientes desarrollan alteraciones diafragmáticas debido a factores como la hiperinsuflación pulmonar, procesos inflamatorios sistémicos y remodelamiento muscular, lo que agrava la sintomatología y reduce la tolerancia al esfuerzo (1). En este escenario, la rehabilitación pulmonar se consolida como una estrategia terapéutica esencial, demostrando mejorías notorias en la capacidad física, el bienestar del paciente y la eficacia de la musculatura respiratoria, incluyendo posibles efectos positivos sobre el diafragma.

La ecografía diafragmática ha surgido recientemente como una técnica innovadora, segura y dinámica, que permite valorar tanto el espesor como el movimiento diafragmático durante la respiración (1). Diversos trabajos científicos vinculan estas mediciones ecográficas con indicadores clave de la función pulmonar—como el VEF_1 , la CVF, la prueba de marcha de seis minutos (6MWT) y la presión inspiratoria máxima (PiMax)—así como con escalas de disnea y calidad de vida. Además, su aplicación en programas de rehabilitación ha permitido monitorear la adaptación del diafragma al entrenamiento, registrando incrementos significativos en su movilidad y grosor tras intervenciones estructuradas(2,3). En instituciones como el Hospital Honorio Delgado de Arequipa, donde la rehabilitación pulmonar forma parte del protocolo de manejo, la incorporación de esta tecnología podría refinar la evaluación clínica al ofrecer parámetros cuantificables que complementen los métodos tradicionales.

A nivel nacional, no existen estudios que exploren sistemáticamente la utilidad de la ecografía diafragmática en pacientes con EPOC sometidos a rehabilitación pulmonar. Esta carencia es especialmente relevante en el sur del Perú, particularmente en Arequipa, donde el diagnóstico sigue apoyándose predominantemente en técnicas convencionales, sin integrar las ventajas de la ecografía funcional. Ante este panorama, se propone un estudio aplicado de diseño observacional y longitudinal, cuyo objetivo principal es evaluar la relevancia clínica de esta herramienta diagnóstica en el contexto de la EPOC.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) a nivel global representa la cuarta causa principal de muerte. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la EPOC fue responsable de 3.5 millones de muertes en 2021 y es la tercera enfermedad más mortal en el mundo(4,5). Aparece en el 10-15% de los adultos mayores de 40 años en todo el mundo, con variaciones regionales. En Perú, se encuentra una prevalencia del 6% tanto en poblaciones urbanas como rurales, siendo del 9.9% en áreas de alta exposición a biomasa como Puno (6).

El factor fisiopatológico más pertinente en la EPOC es la disfunción diafragmática causada por la hiperinsuflación pulmonar. Esta posición desplaza el diafragma a un nivel de acción más horizontal, lo que lo hace menos capaz de contraerse eficazmente y conduce a un aumento de la disnea y una reducción de la capacidad funcional del paciente (7). La importancia clínica de evaluar la función del diafragma se ha vuelto esencial en el manejo integral de estos pacientes sobre todo en los últimos años, siendo necesario su análisis para manejar a estos pacientes.

La ecografía diafragmática (ED) es una técnica no invasiva, fácilmente accesible, rentable y confiable para la evaluación dinámica del diafragma. Permite la medición de algunos parámetros: excursión diafragmática, grosor, fracción de engrosamiento, que han demostrado una asociación con medidas tradicionales relacionadas con la función, como el FEV₁, el 6MWT y el PiMax (8). Esto hace que la ED sea una prueba extremadamente útil para el diagnóstico y el apoyo clínico.

Un metaanálisis reciente confirmó que, en pacientes con EPOC, la excursión diafragmática es significativamente menor que en sujetos normales, pero los factores mencionados (9) podrían haber influido en esta reducción, y la diferencia media ponderada entre estos dos grupos es (-1.34 (IC 95%: -2.15 a -0.53)), confirmando una vez más la capacidad discriminativa de la herramienta; además, el grosor diafragmático y la proporción de engrosamiento también son predictores independientes de la respuesta a los programas de rehabilitación pulmonar (3).

La ecografía diafragmática (ED) ha demostrado ser una técnica prometedora para evaluar la morfología y dinámica del diafragma de manera no invasiva, con correlaciones significativas con la gravedad de la EPOC y la eficacia de la RP (8). No obstante, en el Perú—y particularmente en la macrorregión sur—no existen estudios que exploren su utilidad en la valoración objetiva de pacientes post-RP, lo que limita su integración en protocolos locales.

1.1 Enunciado del problema

¿Cuál es la utilidad clínica de la ecografía diafragmática para evaluar la función respiratoria en pacientes con EPOC que han completado un programa de rehabilitación pulmonar en el Hospital Honorio Delgado de Arequipa en el 2025?

1.2 Descripción del problema

1.2.1 Área del conocimiento

- Área general: Ciencias de la Salud
- Área específica: Medicina Humana
- Especialidad: Medicina Física y de Rehabilitación
- Línea: Rehabilitación Pulmonar

1.2.2 Operacionalización de Variables

Variable Independiente (Exposición/Intervención): Rehabilitación pulmonar

VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN e INSTRUMENTO
Rehabilitación pulmonar	Sujeto diagnosticado clínicamente de EPOC, que ha completado un programa de rehabilitación pulmonar estructurado de acuerdo a la institución hospitalaria.	Cumplimiento y adherencia al programa	1 = Sí (cumple criterios) 0 = No (no cumple criterios)	Cualitativa: nominal. Historia clínica Registro del programa de rehabilitación

Variable Dependiente (Resultado): Utilidad clínica de la ecografía diafragmática

VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN e INSTRUMENTO
Utilidad clínica de la ecografía diafragmática	Se refiere a la capacidad de la ecografía diafragmática para diagnosticar cambios	Diagnóstica	-Cambio en el grosor diafragmático en inspiración: <i>Cambio en grosor (Δ grosor = post-RP - pre-RP).</i>	Cuantitativa: razón. Ecógrafo con modo B/M,

	funcionales en el diafragma que sean clínicamente útiles en el seguimiento de pacientes con EPOC post rehabilitación pulmonar.		-Movilidad diafragmática (Excursión diafragmática) máxima durante inspiración profunda. -Porcentaje de engrosamiento diafragmático: $[(\text{Grosor inspiratorio} - \text{Grosor espiratorio}) / \text{Grosor espiratorio}] \times 100.$	protocolo estandarizado (mediciones en línea axilar media o subcostal).
		Funcional	-Correlación con mejoría en disnea (escala mMRC, puntaje de de 0 a 4)	Cuantitativa Ordinal Cuestionario mMRC
			-Correlación con el cambio en la capacidad funcional (6MWT= Prueba de caminata de seis minutos)	Cuantitativa continua Prueba de caminata de 6 minutos

Variables Intervinientes

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
Edad	Años cumplidos	1. De 41 a 50 años 2. De 51 a 60 años 3. De 61 a más	Razón
Sexo	Fenotipo Género	1. Femenino 2. Masculino	Nominal
Grado de Instrucción	Nivel de escolaridad alcanzado por una persona	1. Primaria 2. Secundaria 3. Superior Técnico 4. Superior Universitario	Ordinal
Ocupación	Principal desempeño laboral	1. Sin ocupación 2. Obrero dependiente 3. Obrero independiente 4. Empleado dependiente 5. Empleado independiente 6. Su casa	Nominal
Estado civil	Condición Civil	1. Conviviente 2. Casado (a) 3. Divorciado/separado(a) 4. Viudo(a)	Nominal

Estado Nutricional	Índice de Masa Corporal (IMC).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desnutrición 2. Eutrófico 3. Sobrepeso 4. Obesidad 5. Obesidad Mórbida 	Nominal
Comorbilidades	Antecedentes de enfermedades actualmente existentes.	<ol style="list-style-type: none"> 1. DM tipo 2 2. HTA 3. Bronquitis crónica 4. Obesidad 5. Otro: _____ 	Nominal

1.2.3. Interrogantes Básicas

- a) ¿Existen cambios significativos en el grosor y la movilidad diafragmática, evaluada por ecografía, antes y después del programa de rehabilitación pulmonar?
- b) ¿Qué relación existe entre los parámetros ecográficos del diafragma y la mejoría clínica de los pacientes, medida por la escala de disnea mMRC y la prueba de caminata de 6 minutos (6MWT)?
- c) ¿Cuál es el perfil clínico de los pacientes con EPOC que asisten a programas de rehabilitación pulmonar?

1.2.4 Tipo de investigación:

Aplicada, ya que busca generar conocimientos con propósito práctico en el ámbito clínico, específicamente en la evaluación funcional de pacientes con EPOC mediante el uso de la ecografía diafragmática. El conocimiento generado podrá orientar la toma de decisiones médicas basadas en evidencias objetivas y no invasivas (10).

1.2.5 Diseño de investigación:

El estudio es observacional, analítico y transversal. Es observacional porque no se manipulan las variables de estudio, analítico porque se explora la asociación entre la utilidad de la ecografía y el estado funcional post rehabilitación, y transversal porque los datos se recolectarán en un único momento posterior al proceso de rehabilitación (10).

1.2.6 Nivel de investigación:

Se enmarca en el nivel correlacional, ya que tiene como propósito principal establecer la relación entre el uso clínico de la ecografía diafragmática y los parámetros funcionales respiratorios post rehabilitación en pacientes con EPOC. No se busca establecer causalidad, sino asociación entre variables (10).

1.3 Justificación del problema

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) es un desafío para la atención médica a nivel mundial, no solo porque presenta una alta prevalencia y mortalidad, sino también porque causa incapacidad en los individuos afectados. La EPOC fue la tercera causa de mortalidad en todo el mundo en 2021, con más de 3.5 millones de muertes debido a esta enfermedad (4). Estudios poblacionales en ciudades de Perú, como Lima, Puno o Tumbes, han estimado prevalencias entre el 6 y el 9.9%, con un patrón epidemiológico determinado por factores no tradicionales, como la exposición a biomasa y las secuelas de la tuberculosis pulmonar (6,11). Esta alta carga de enfermedad, particularmente en áreas altas de los Andes como Arequipa, requiere que las herramientas de diagnóstico estén disponibles, sean sensibles y adaptables a la escena clínica local.

La anomalía diafragmática es una modificación frecuente en pacientes con EPOC y está estrechamente relacionada con la gravedad de la enfermedad, la disnea y la intolerancia al ejercicio. El diafragma, el músculo principal de la inspiración, se altera estructural y funcionalmente por la hiperinsuflación crónica, comprometiendo su capacidad de contracción (12). Históricamente, esta disfunción se evaluaba mediante técnicas invasivas, como la electromiografía o la medición de la presión transdiafragmática (13), que no son accesibles en la mayoría de los hospitales del país.

La ecografía diafragmática (ED) es un método no invasivo, económico y fácilmente aplicable, que puede realizarse como parte del examen clínico diario. Permite medir variables (excursión diafragmática, grosor muscular y fracción de engrosamiento) que proporcionan datos objetivos sobre la función respiratoria. El papel de estas mediciones está bien establecido, dado que se correlacionan altamente con parámetros tradicionales de función pulmonar (FEV_{10} , FVC, PiMax) y la prueba de caminata de seis minutos (6MWT) en otros estudios (14).

La ED representa un medio diagnóstico valioso y puede ser una herramienta de asistencia válida para el seguimiento terapéutico, especialmente en pacientes que se someten a rehabilitación pulmonar. Esta intervención, que consiste en ejercicio supervisado, educación y apoyo psicológico, ha demostrado previamente aumentar la capacidad de ejercicio del paciente, llevar a menos disnea y una mejora en el estado de salud en pacientes con EPOC. Incluir la ED en estos programas permitiría observar el efecto del entrenamiento en la función diafragmática para ser monitoreado y potencialmente ajustar el tratamiento a una discriminación individual (15).

La rehabilitación pulmonar está actualmente incluida en los servicios de algunos hospitales en Perú para el tratamiento integral de pacientes con EPOC, pero la falta de técnicas objetivas y fácilmente aplicables para evaluar las respuestas fisiológicas a esta forma de intervención es

evidente. Desde este punto de vista, la ED debería considerarse una buena y económica alternativa a los instrumentos tradicionales. El Hospital Honorio Delgado en Arequipa cuenta con instalaciones para la implementación de programas de rehabilitación y es una situación ideal para analizar la aplicabilidad de este método en un contexto de tratamiento clínico local.

Además, un estudio que evalué la utilidad clínica de la ED también contribuirá a llenar un vacío de conocimiento existente en nuestro entorno, dado que la mayoría de los estudios sobre esta técnica se han desarrollado en países con otros escenarios epidemiológicos y sistemas de salud. La evaluación de su utilidad en pacientes peruanos, con diferentes patrones de exposición y comorbilidades, permitiría generar evidencia local para promover el cuidado futuro y la financiación de enfermedades respiratorias crónicas.

Finalmente, este estudio aborda el deseo de avanzar hacia una medicina más personalizada y basada en evidencia. La ED proporciona una vista en tiempo real de la función del diafragma, permitiendo una evaluación inmediata de la respuesta al tratamiento. Su aplicación en lugares como el Hospital Honorio Delgado podría representar un punto de inflexión en la evaluación y monitoreo de pacientes con EPOC en el propio país, fomentando un cuidado más integrado, flexible y centrado en el paciente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la utilidad clínica de la ecografía diafragmática en la valoración diagnóstica y del estado funcional respiratorio de pacientes con EPOC que han culminado un programa de rehabilitación pulmonar en el Hospital Honorio Delgado, Arequipa – 2025.

2.2 Objetivos específicos

- a) Medir los cambios en el grosor diafragmático y movilidad diafragmática antes y después del programa de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC.
- b) Determinar la correlación entre los parámetros ecográficos del diafragma y la mejoría clínica medida por la escala de disnea mMRC y la prueba de caminata de 6 minutos (6MWT).
- c) Describir el perfil clínico de los pacientes con EPOC que asisten a programas de rehabilitación pulmonar.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Conceptos Básicos

- **EPOC.-** Es una enfermedad respiratoria que se define como una obstrucción crónica del flujo aéreo, relacionada con una respuesta inflamatoria anormal de las vías aéreas y el parénquima pulmonar, usualmente por exposición a partículas nocivas, como el humo del tabaco o la contaminación ambiental (16).
- **Disfunción Diafragmática en EPOC.-** Alteración estructural y funcional del diafragma, principal músculo inspiratorio, secundaria a cambios como atrofia de fibras tipo IIX, estrés oxidativo y carga mecánica excesiva (3).
- **Rehabilitación Pulmonar (RP).-** Intervención multidisciplinaria basada en ejercicio supervisado, educación y manejo nutricional, diseñada para mejorar la capacidad física y la calidad de vida en pacientes con EPOC (9).
- **Ecografía Diafragmática (ED).-** Técnica de imagen no invasiva que evalúa la morfología y dinámica del diafragma en tiempo real, utilizando ultrasonidos de alta frecuencia, sus parámetros medibles son el grosor diafragmático (mm) evaluado en modo B, línea axilar media y la excursión (cm) o movimiento craneocaudal medido en modo M. Los valores ecográficos se asocian con FEV₁, 6MWT y disnea (14).
- **Utilidad Clínica de la Ecografía Diafragmática.-** se refiere a su capacidad para mejorar el diagnóstico, monitoreo y manejo terapéutico de pacientes con EPOC mediante la evaluación objetiva de la función y estructura del diafragma. Su aplicación en la práctica clínica ofrece ventajas significativas en comparación con métodos tradicionales, como la espirometría o la radiografía, al proporcionar datos en tiempo real, sin exposición a radiación y con alta reproducibilidad (14).

3.1.2 Epidemiología y diagnóstico de la EPOC

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) es un trastorno común descrito como una limitación crónica del flujo de aire. Su prevalencia global se estima en un 10.3% (IC del 95%: 8.2-12.8) (17). Actualmente, la EPOC se clasifica como la tercera causa más común de muerte a nivel mundial, debido al envejecimiento de la población. Dado que la EPOC es

altamente prevalente y discapacitante es la cuarta causa principal de mortalidad en todo el mundo, con una gran carga de enfermedad para los pacientes y la sociedad(17). Lamentablemente, las medidas para la prevención y el tratamiento de la EPOC representan grandes limitaciones a nivel global.

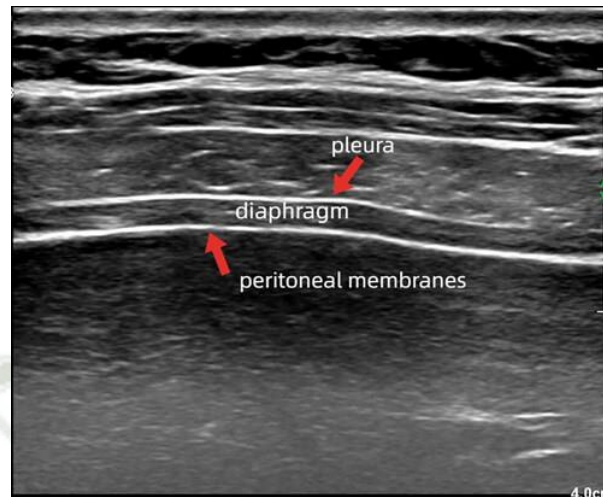
Las manifestaciones clínicas predominantes de la EPOC son la disnea de esfuerzo y la capacidad de ejercicio limitada; la reducción de la fuerza muscular respiratoria es la principal razón de la disnea en los pacientes con EPOC(18). El diafragma es el músculo inspiratorio más importante y se dice que contribuye al 60-80% de todas las actividades de los músculos respiratorios. Debido a esto, también tiene una influencia extensa en la calidad de vida y el pronóstico de los pacientes. El diafragma es un mixto, ya que contiene tres tipos de fibras musculares, y contiene una proporción relativamente alta (~30–40%) de fibras musculares resistentes a la fatiga, el cual se ve afectado por diversos factores como el peso, los nervios, el metabolismo y los músculos(19).

En la actualidad, la evaluación del diafragma incluye pruebas de función pulmonar, radiografía de tórax, tomografía computarizada, resonancia magnética, ecografía, detección de presión, examen electromiográfico, etc(20). En comparación con otros exámenes, como la TC, la ecografía diafragmática se ha convertido en una herramienta de investigación clave debido a su capacidad para inferir de manera no invasiva la masa muscular diafragmática(21), que permite evaluar la capacidad de trabajo residual y predice la respuesta a la ventilación no invasiva (VNI) y ventilación mecánica(22).

3.1.3 Descripción general de la ecografía diafragmática y medición

La ED ha sido ampliamente investigada y ha demostrado su superioridad en la evaluación de la función del diafragma, diversos estudios han reconocido su fiabilidad, validez y reproducibilidad(22,23). Hasta la fecha, se han propuesto varias técnicas de evaluación ultrasónica del diafragma que miden el grosor diafragmático (DT) y la movilidad utilizando modo B 2D o modo M.

Grosor del diafragma (DT) y fracción de engrosamiento (FT) se miden con una sonda lineal de alta frecuencia con el paciente en posición supina o semi-reclinada. El transductor de ultrasonido se coloca paralelo al eje largo del cuerpo del paciente y en ángulo recto con la pared torácica alrededor de los espacios intercostales octavo a décimo, a menudo a lo largo de la línea axilar anterior o a mitad de camino entre las líneas axilares anterior y media. Tres franjas hiperecoicas son visibles en la imagen. Las capas hiperecoicas superior e inferior son las membranas pleural y peritoneal, respectivamente, y las capas hipoeoicas medias indican el diafragma, ver figura 1.

Figura 1. Ecografía Diafragmática

Fuente: Tomado de Mu, H., & Zhang, Q.(24)

**La imagen resultante muestra tres bandas paralelas, donde las capas superior e inferior representan las membranas pleural y peritoneal, respectivamente, y el diafragma se ubica en el centro.*

La ecografía es una modalidad no invasiva para la evaluación del DT. El DT se puede calcular mediante la medición directa de la distancia entre dos capas hiperecoicas en imágenes congeladas en modo B o modo M. La precisión de la medición ultrasonográfica del DT ha sido validada(25). En la mayoría de los estudios, el DT derecho e izquierdo se ha expresado como la distancia (en mm) desde el centro de la membrana pleural hasta el centro de la membrana peritoneal. Alternativamente, se han sugerido mediciones espaciales midiendo desde los límites internos y externos del revestimiento pleural o peritoneal. Recomendamos la distancia interna-interna en DT, ya que los valores son menores a un milímetro(25).

Los autores recomiendan el modo M para la medición del DT porque puede detectar con precisión los cambios del ciclo respiratorio y para obtener las mediciones de fin de espiración y fin de inspiración(26). La función diafragmática se ha asociado con el engrosamiento inspiratorio. En consecuencia, para detectar una disfunción diafragmática (DD) más precisamente, se debe medir el TF. El TF se define como (grosor al final de la inspiración - grosor al final de la espiración) / grosor al final de la espiración.

El DT también aumenta a medida que aumenta el volumen pulmonar, con una tasa de engrosamiento más alta a volúmenes pulmonares más altos. La diferente posición del sujeto también tiene un impacto en el grosor del diafragma. Para el final de la inspiración máxima y el final de la espiración tranquila, el DT transmitido dinámicamente es más de un 20% mayor en la posición sentada y de pie que en la posición supina(27). Para el DT derecho en sujetos normales

en posición sentada, se han establecido diferentes valores de referencia en varios estudios. El DT cambia según el sexo y el período de respiración, pero no por el índice de masa corporal y la circunferencia torácica(28). Al final de la respiración en reposo, el DT es de 0.21 ± 0.04 cm y 0.19 ± 0.04 cm, respectivamente, para hombres y mujeres. Al final de la inspiración tranquila, el grosor es de 0.28 ± 0.06 cm para hombres y 0.25 ± 0.06 cm para mujeres. En la inspiración máxima, su grosor es de 0.43 ± 0.08 cm en hombres y 0.39 ± 0.08 cm en mujeres. En la posición supina al final de la inspiración tranquila, un estudio encontró que los valores de referencia para el DT supino al final de la espiración tranquila para hombres eran 0.19 ± 0.04 cm (IC del 95% 0.17–0.20 cm), para mujeres 0.14 ± 0.03 cm (IC del 95% 0.13–0.15 cm). Cabe mencionar que, a pesar de que los investigadores han identificado valores de referencia para el DT, estos varían debido a las diferentes características de las poblaciones, marcadas diferencias individuales y no hay consenso sobre este punto(25).

Se sabe desde hace décadas que la función diafrágica está deteriorada en la EPOC, pero los resultados de la medición del DT han sido bastante variables, probablemente debido al hecho de que (1) la función diafrágica es multifactorial, (2) las técnicas de medición no están estandarizadas, y (3) faltan valores de referencia. (29) midieron el DT utilizando ultrasonido en 50 pacientes con EPOC y 150 controles sanos y no encontraron diferencias significativas ni en el DT ni en el TF en los pacientes en comparación con los controles. El estudio de (30) llegó a las mismas conclusiones, aparte de las medidas determinantes. Además, no hubo diferencia estadísticamente significativa en el DT entre diferentes grados de EPOC, cambios en la función respiratoria, incidencia de exacerbaciones y puntuación de síntomas (mMRC). En la misma línea, (31) no identificó diferencias en la velocidad de engrosamiento del diafragma en pacientes con EPOC según el grado de la enfermedad, la gravedad sintomática o la frecuencia de los ataques de EPOC. Sin embargo, el estudio no tenía una población de control.

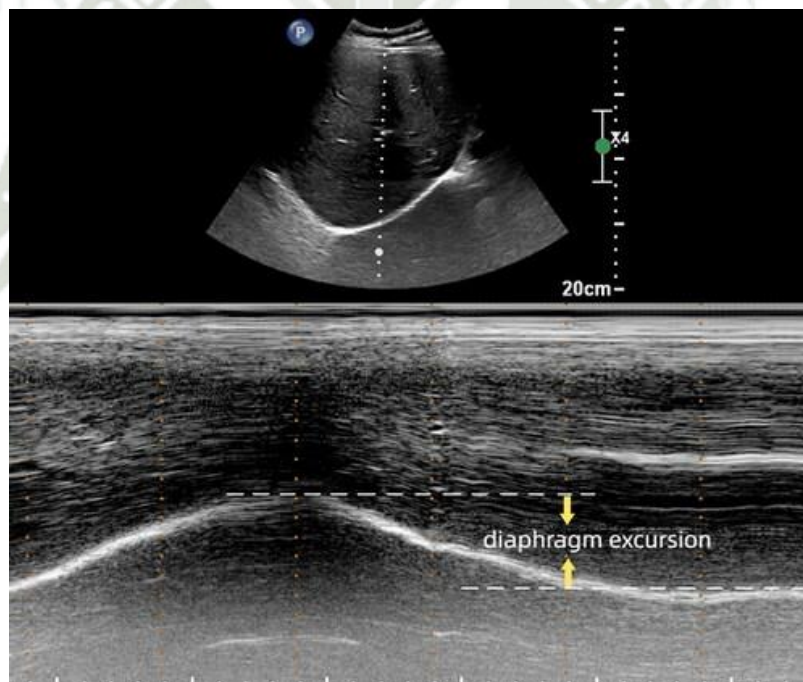
Topcuoğlu C,(32) analizaron a 38 pacientes con EPOC y 30 voluntarios sanos en diferentes etapas de su enfermedad y también sugirieron que el DT y los cambios de grosor, así como el TF, estaban todos disminuidos en pacientes con EPOC en comparación con los voluntarios sanos. De la misma manera, (33) indicó que, en la prueba de espirometría máxima, las personas con EPOC alcanzan un DT y TF más bajos que los individuos sanos. Los estudios que investigan el DT en pacientes con EPOC son controvertidos, pero el DT sigue siendo una medida relevante para evaluar el diafragma. Por ello, la trascendencia de seguir efectuando investigaciones adicionales sobre el DT, con mayor tamaño muestral y de mayor alcance.

A) Excursión del diafragma

Para obtener la movilidad del diafragma, se utiliza una sonda convexa de baja frecuencia (1-5 MHz) mientras el paciente está en decúbito supino o semirrecostado. La sonda debe colocarse

por debajo del reborde costal, entre las líneas medioclavicular y axilar anterior. Utilizando el hígado como ventana acústica, la sonda apunta hacia las caras medial, craneal y dorsal, de modo que el haz de ultrasonidos alcance la cúpula derecha del diafragma perpendicularmente. La imagen ecográfica muestra la vena cava inferior en el lado derecho de la pantalla y la vesícula biliar en el centro. Además, el diafragma derecho aparece como una línea hiperecoica gruesa y curva. Una vez obtenida una imagen en modo B de buena calidad, los operadores deben ajustar la línea de interrogación en modo M para que sea perpendicular al movimiento del hemidiafragma. Al registrar el movimiento del diafragma, la excursión diafragmática (ED) es la distancia vertical desde la línea base hasta el punto más alto al final de la inspiración y la espiración, la influencia del gas pulmonar y la respiración a menudo dificulta el uso del modo M estándar. En estos casos, se puede utilizar la ecografía en modo de movimiento anatómico (AMM) para mejorar la situación.

Figura 2. Excursión del diafragma



Fuente: Tomado de Mu, H., & Zhang, Q.(24)

**El modo M se utiliza para detectar el movimiento del diafragma. La excursión del diafragma se refiere a la distancia vertical desde la línea base hasta el punto más alto al final de la inspiración y la espiración.*

Varios autores han concluido que el AMM proporciona un registro más completo de la movilidad de los dos hemidiafragmas en comparación con el modo M estándar (34). Para detectar la DE izquierda, se coloca la sonda bajo el reborde costal o entre la línea axilar anterior y la línea axilar media en el espacio intercostal bajo. Utilice la ventana esplénica para obtener

una imagen 2D nítida del diafragma izquierdo y regístrela en modo M como se describe a la derecha, ver figura2.

Se ha informado que el DE puede determinarse de manera confiable en pacientes con el modo M(35). Para obtener una evaluación objetiva del DE y DT, se deben evaluar y promediar un mínimo de tres imágenes. Cabe mencionar que el diafragma derecho está relativamente más conservado, ofreciendo el hígado como una ventana acústica; se utiliza más comúnmente en lingüística clínica. Además, informes previos describieron que el DE difería con la posición del cuerpo y que el DE calculado era mayor en la posición supina que en la posición sentada o de pie en el mismo volumen inspiratorio. A pesar de mucha investigación sobre el DE, algunos autores han dado un valor de referencia para el DE en posición de pie. Sin embargo, es importante ya que muchos pacientes clínicos pueden encontrar esta posición intolerable. Por lo tanto, solo consideramos la posición sentada en este documento. Cabe destacar que hay valores de referencia disponibles para el DE medio en individuos sanos(36).

Durante la respiración tranquila, el DE derecho es de 1.9 ± 0.5 cm en hombres y 1.7 ± 0.4 cm en mujeres. Bajo inspiración profunda, el DE-R es de 6.6 ± 1.3 cm para hombres y 5.4 ± 1.1 cm para mujeres. Los pacientes con EPOC tienen un DE disminuido debido al aire acumulado durante mucho tiempo(37), lo cual es respaldado por la mayoría de los expertos(38). Algunos trabajos en las últimas temporadas han propuesto que el D podría estar asociado a las puntuaciones de disnea y al 6mwt en pacientes con EPOC. En consecuencia, se piensa que el DE es un contribuyente importante a la fisiopatología de la tolerancia al ejercicio y la disnea en personas con EPOC(39).

B) Ecografía del Diafragma en EPOC

El diagnóstico de la EPOC se basa principalmente en los síntomas (por ejemplo, tos, producción de esputo y disnea) con confirmación a través de pruebas de función pulmonar, según el informe GOLD de EPOC. Es importante enfatizar que después del broncodilatador, la relación entre el volumen espiratorio forzado en un segundo/capacidad vital forzada (FEV1/FVC) debe ser inferior a 0.70. El grado de obstrucción y enfermedad se mide utilizando la función pulmonar y las puntuaciones de cuestionarios. El valor exponencial es el riesgo proporcional de exacerbación por cada una exacerbación o número de síntomas.

Para comprender mejor el diagnóstico de la EPOC,(40) examino en 124 pacientes el índice de obstrucción en modo M (MIO), que mide la excursión diafragmática espiratoria forzada en el primer segundo (FEDE1)/excursión diafragmática espiratoria máxima (EDEMáx), identifiqué obstrucción de las vías respiratorias con un MIO < 77, con una sensibilidad del 83.33%, especificidad del 96.61%, valor predictivo positivo del 95.5% y valor predictivo negativo del 73.7%.

Si bien existen ciertas limitaciones al aplicar el ED para el diagnóstico de EPOC. Se necesitan más investigaciones para mejorar la precisión y aplicabilidad clínica de la ED para el diagnóstico de EPOC.

C) Evaluación del Ultrasonido Diafrágico de la Disfunción Diafrágica en Pacientes con EPOC

Los pacientes con EPOC desarrollan ED como consecuencia de alteraciones fisiopatológicas en el diafragma, incluyendo estrés oxidativo e inflamación. Se encontró que ED era del 24.3% durante la exacerbación del EPOC. ED se observa con frecuencia en pacientes críticamente enfermos y se sabe que está asociado con un aumento de la morbilidad y mortalidad(41). También puede llevar a una ventilación mecánica prolongada y estancias en la unidad de cuidados intensivos(42). Aunque la presión transdiafrágica parece servir como el estándar de oro para evaluar la función diafrágica, su sensibilidad es baja y por lo tanto su utilidad diagnóstica ha sido cuestionable, así mismo otro estudio informó que incluso el 6% de los voluntarios sanos presentan un diafragma disquinético(43).

Es importante tener en cuenta que la DE solo debe utilizarse como un indicador de la función diafrágica en pacientes con respiración espontánea(44). Cabe señalar también que la posición supina puede ocultar el movimiento paradójico del diafragma al evaluar la disfunción del hemidiafragma. Por lo tanto, se debe medir el DT para evaluar la función diafrágica. En el lado de la disfunción del hemidiafragma, el DT no estará significativamente engrosado o incluso podría adelgazarse(36).

D) La ecografía diafrágica como predictor de resultados del destete en pacientes con EPOC.

En pacientes con EPOC que experimentan una exacerbación de su enfermedad debido a una infección, el uso de ventilación no invasiva (VNI) o invasiva es crucial. La VNI es el tratamiento inicial de elección para quienes presentan insuficiencia respiratoria causada por exacerbación aguda del EPOC (EAEPOC), aunque las tasas de fracaso pueden oscilar entre el 5% y el 40%(45). Es importante tener en cuenta que los pacientes que requieren ventilación mecánica invasiva después de un tratamiento con VNI fallido tienen un riesgo significativamente mayor de mortalidad. Por lo tanto, numerosos investigadores han investigado la eficacia de la ecografía diafrágica para predecir el resultado de la VNI en la EAEPOC(46). Se han observado fallos de la VNI ($p < 0,001$, $R^2 = 0,27$), estancia prolongada en la UCI ($p = 0,02$, $R^2 = 0,13$), ventilación mecánica prolongada ($p = 0,023$, $R^2 = 0,15$) y necesidad de traqueotomía ($p = 0,006$, $R^2 = 0,20$) en pacientes con DD. Según las estimaciones de supervivencia de Kaplan-Meier, el fallo de la VNI en las unidades de cuidados intensivos respiratorios (UCIR) se asoció significativamente con la DD (prueba de log-rank $p =$

0,001, HR = 8,09 (IC del 95 %: 2,7-24,2)). Además, la mortalidad también se asoció significativamente con la DD (prueba de log-rank $p = 0,039$, HR = 4,08 (IC del 95 %: 1,0-16,4))(47).

La ecografía diafragmática tiene un valor de referencia significativo para predecir el resultado de la ventilación mecánica. Se han realizado diversos estudios para predecir el momento del destete midiendo el espesor de diafragma (DE) y la fuerza de transición (FT).

3.1.4 El papel de la ecografía diafragmática en la evaluación de la rehabilitación pulmonar

La rehabilitación pulmonar es una intervención integral que implica una evaluación exhaustiva del paciente. Es una terapia adaptada a cada individuo e incluye entrenamiento físico, educación y cambio de comportamiento. El objetivo de la rehabilitación pulmonar es mejorar el estado físico y psicológico de los pacientes con enfermedades respiratorias crónicas y promover la adherencia a largo plazo a hábitos saludables. El manejo integral de los pacientes con EPOC es crucial debido a la complejidad de la enfermedad, sus manifestaciones multisistémicas y las comorbilidades comunes. Por lo tanto, la rehabilitación pulmonar desempeña un papel fundamental en este manejo(48). Los efectos de la rehabilitación pulmonar se evidencian mejor por la mejora de los síntomas, el rendimiento en el ejercicio y la calidad de vida general en personas diagnosticadas con EPOC(49).

Para evaluar objetivamente los efectos de la rehabilitación pulmonar, se ha utilizado la ecografía diafragmática. En particular, algunos autores han examinado la DE en sujetos con EPOC de grave a muy grave, tanto antes como después de la rehabilitación. Los resultados indican que la inspiración profunda tras la rehabilitación mejoró la DE, con valores medios que aumentaron de $4,58 \pm 1,83$ cm a $5,45 \pm 1,56$ cm ($p = 0,05$)(50). Un estudio concluyó que el DE era un predictor confiable de una mejor tolerancia al ejercicio en pacientes con EPOC estable que se sometieron a rehabilitación pulmonar(51). Según estudios previos, existe una correlación entre el cambio porcentual en la longitud del diafragma tras la rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC con volumen residual funcional y la mejora en la distancia recorrida en 6 minutos de caminata. La sensibilidad y la especificidad para predecir la mejora de la capacidad de ejercicio en la rehabilitación pulmonar son del 83 % y el 74 %, respectivamente, con un valor de corte de cambio de longitud de al menos el 10 %(52).

La ecografía diafragmática tiene el potencial de servir como predictor de la eficacia de la rehabilitación pulmonar y como técnica de monitoreo en tiempo real del entrenamiento de los músculos respiratorios durante dicha rehabilitación. Además, se reconoce que es una técnica en evolución que ha ganado amplia aceptación como herramienta para la evaluación de diafragmas. Sin embargo, presenta algunas limitaciones. En primer lugar, la adquisición y el análisis de imágenes ecográficas requieren operadores con cierto nivel de experiencia y conocimientos para

garantizar resultados precisos y completos. Se requiere capacitación estandarizada para que los operadores alcancen este nivel de competencia.

Además, la ecografía, al igual que otros métodos de monitorización, puede verse afectada por diversos factores corporales, como la presencia de gases pulmonares y gastrointestinales, así como por alteraciones causadas por lesiones en la zona de observación. Estos factores también pueden resultar en una imagen deficiente del diafragma izquierdo. Debido a las dificultades técnicas que implica examinar el diafragma izquierdo, algunos investigadores han limitado sus evaluaciones al diafragma derecho en ciertos informes.

Además, numerosos estudios han indicado el gran potencial de la ecografía diafragmática. Sin embargo, la mayoría de estos proyectos de investigación se han basado en estudios de un solo centro y con muestras pequeñas, por lo que se requiere una mayor verificación de los resultados.

Las directrices internacionales recientes se han centrado en la evaluación funcional del diafragma para abordar o refinar el diagnóstico diferencial de la insuficiencia respiratoria en las unidades de cuidados intensivos, pero no existe un enfoque universal para la caracterización ecográfica de la función diafragmática(23). Dado que cada estudio tiene un propósito diferente, puede haber variaciones en los métodos de investigación y los estándares de medición. Para que la ecografía diafragmática se utilice ampliamente en la práctica clínica, se necesita una guía ecográfica precisa y fiable que ayude a los operadores a utilizar la tecnología y los métodos de evaluación correctos. Este es también un objetivo principal de la investigación futura.

3.2 Revisión de antecedentes investigativos

3.2.1 Internacionales

Crimi et al.(53), en Italia. con su estudio titulado “Utilidad de la evaluación ecográfica de la función diafragmática antes y después de la rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC”, efectuaron un estudio observacional y correlacional, en 25 pacientes con EPOC que participaron de un programa de rehabilitación pulmonar de 12 semanas, donde se evaluó mediante ecografía diafragmática (antes y después) el efecto del programa de rehabilitación, encontrando una correlación entre el porcentaje de cambio intraindividual en la longitud diafragmática de la zona de aposición en la capacidad residual funcional ($\Delta Lzapp\%$) y el cambio en la distancia de caminata de 6 minutos (6MWD) después de RP ($\rho = 0,49$, $P = 0,02$). $\Delta Lzapp\%$ fue significativamente mayor en pacientes con mejoría en la 6MWD y la puntuación en la Prueba de evaluación de la EPOC (CAT) (rango medio = $12,03 \pm 2,57$ frente a $6,88 \pm 4,37$; $P = 0,02$). Un

$\Delta Lzapp\%$ de $\geq 10\%$ fue capaz de discriminar entre pacientes con mejoría en la 6MWD, con una sensibilidad del 83% y una especificidad del 74%. El área bajo la curva característica operativa del receptor para $\Delta Lzapp\%$ fue de 0,83. Un valor de corte de $\geq 9\%$ de $\Delta Lzapp\%$ tuvo un valor predictivo positivo para discriminar una reducción de ≥ 2 puntos de la puntuación CAT después de PR, con una sensibilidad y una especificidad del 80% y 62%, respectivamente.

Dahma et al. (54), en Egipto, realizaron el estudio “Evaluación ecográfica del grosor y movimiento diafragmáticos para la evaluación de la disfunción diafragmática en pacientes con EPOC”, el objetivo fue evaluar la función diafragmática en pacientes con EPOC mediante examen ecográfico y estudiar su correlación con las pruebas de función pulmonar, por ello efectuaron un estudio observacional prospectivo de casos y controles, que evaluó a 60 personas con EPOC y 20 voluntarios sanos (grupo control). A todos los sujetos se les realizó una radiografía de tórax y una espirometría secuencial en una sola sesión, que se repitió entre 15 y 45 minutos después de la primera dosis de terapia inhalatoria (salbutamol). Posteriormente, se les realizó una prueba de 6 minutos de duración (PM6M), una gasometría arterial (GSA) y una ecografía. Se concluyó que, en los pacientes con EPOC, el grosor y la excursión diafragmática se redujo sustancialmente en comparación con el grupo de control; estos parámetros también se correlacionaron significativamente con las pruebas de función pulmonar.

Arora et al.(55) en EE.UU. mediante una investigación prospectiva e intervencionista titulada “Utilidad clínica de la ecografía diafragmática en pacientes en rehabilitación con EPOC”, analizaron a 35 pacientes mediante ecografía: excursión diafragmática, grosor del cuádriceps femoral (QF), grosor del bíceps braquial (BB), perímetro medio del muslo, perímetro medio del brazo, puntuación modificada del Consejo de Investigación Médica (MIRC), distancia recorrida en 6 minutos, puntuación de la prueba de evaluación de la EPOC y, tras 8 semanas de rehabilitación supervisada, se encontró un aumento significativo en la excursión diafragmática (cm) de ($P < 0,0001$), circunferencia del brazo medio (cm) ($P < 0,0001$), grosor de BB (cm) ($P < 0,0001$) (entrenamiento de fuerza y resistencia de miembros superiores) y circunferencia del muslo medio (cm) ($P < 0,0001$) junto con grosor de QF (cm) ($P < 0,0001$) (entrenamiento de fuerza y resistencia de miembros inferiores).

An et al.(56), en Corea del Sur, con su estudio “La ecografía diafragmática es un biomarcador de imagen que distingue el estado de exacerbación de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica estable”, observacional y descriptivo, analizaron a 50 pacientes con EPOC que se sometieron a una ecografía diafragmática entre marzo de 2020 y noviembre de 2020. Se midieron la fracción de engrosamiento del diafragma (TFmax) y la excursión del diafragma (DEmax) durante la respiración profunda máxima. El grupo de exacerbación tuvo un TFmax menor ($94,8 \pm 8,2\%$ frente a $158,4 \pm 83,5\%$, $p = 0,010$) y un DEmax menor ($30,8 \pm 11,1$ mm

frente a $40,5 \pm 12,5$ mm, $p = 0,007$) en comparación con el grupo estable. La ecografía diafragmática (ED) mostró la posibilidad de un biomarcador de imagen que distingue la EPOC aguda del estado estable.

Güneş et al. (57), en Turquía, efectuaron una investigación titulada “Efectos de la rehabilitación pulmonar sobre el grosor y la contractilidad del diafragma en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica” evaluaron la contractilidad antes y después de la rehabilitación pulmonar (RP) en pacientes con EPOC, mediante un estudio observación y prospectivo. Todos los sujetos participaron en una RP ambulatoria de 6 semanas y 3 sesiones semanales de forma prospectiva. Se evaluaron la gravedad de la disnea, la calidad de vida específica de la enfermedad (Cuestionario Respiratorio de St. Georges-SGRQ), las pruebas de función pulmonar (PFP), la capacidad de ejercicio, la DT al final de la espiración y en la inspiración máxima (ecografía en modo B) al inicio y después de la RP. Un total de 34 pacientes con una edad media y un FEV1 de $61,05 \pm 8,22$ años y un $57,9 \pm 20,4$ % del valor previsto, respectivamente, mostraron mejoras en la capacidad de ejercicio y en algunos ítems de las pruebas de función pulmonar (PFT) y el cuestionario SGRQ. El grosor diafragmático al final de la espiración también mejoró significativamente, independientemente de la gravedad de la enfermedad, y se correlacionó positivamente con el rendimiento funcional. Las 6 semanas de RP no mostraron una diferencia significativa en la contractilidad diafragmática.

Yalçın et al. (58), en Turquía, con su estudio “Evaluación del grosor y función del diafragma con técnica ultrasónica y comparación con la espirometría en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica”, evaluaron la contribución de la ecografía a la determinación de la gravedad de la enfermedad en la EPOC. Incluyeron en el estudio sesenta y siete pacientes con EPOC y 53 voluntarios sanos. Se midieron el grosor y la movilidad del diafragma y se registraron mediante ecografía en modo B y modo M. Se determinó que el grosor del diafragma, medido mediante ecografía en modo B, en inspiración y espiración profundas, se redujo significativamente en pacientes con EPOC, en comparación con aquellos sin EPOC ($p = 0,004$, $p = 0,00$). La excursión del diafragma, evaluada mediante ecografía en modo M, fue significativamente menor en el grupo con EPOC. En este estudio, concluimos que los pacientes con EPOC presentan disfunción diafragmática con reducción del grosor y la movilidad del diafragma. El uso de la ecografía en la EPOC podría contribuir a la práctica clínica, aunque se requieren más estudios.

Pietranis et al. (59) en Polonia, efectuaron un ensayo clínico titulado “Efectos de la rehabilitación pulmonar sobre la función respiratoria y el grosor del diafragma en pacientes con síndrome post-COVID-19”, donde evaluaron a un total de 59 pacientes en tratamiento después de la COVID-19 se dividieron aleatoriamente en dos grupos. Ambos grupos completaron el

mismo programa integral de entrenamiento de ejercicios de seis semanas apoyado por un entrenador de músculos respiratorios (Threshold IMT) durante sesiones ambulatoria, para evaluar el efecto de esta intervención tomaron mediciones de fuerza muscular respiratoria, expansión de la pared torácica, espirometría y ecografía de diafragma antes y después de las seis semanas. Se pudo evidencia que los parámetros espirométricos mejoraron en ambos grupos, siendo el grupo de estudio el que mostró una mayor mejoría: 8,02% en FEV1 ($p < 0,001$), 13,24% en FVC EX ($p < 0,001$) y 9,67% en PEF ($p < 0,001$), la rehabilitación también aumentó el grosor del diafragma durante la inhalación máxima en ambos grupos.

3.2.2 Nacionales

No hay estudios Nacionales que hayan explorado la utilidad clínica del uso de la ED en la rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC.

3.2.3 Locales

No hay estudios locales que hayan explorado la utilidad clínica del uso de la ED en la rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC.

4. HIPÓTESIS

4.1 Hipótesis general

La ecografía diafragmática (ED) es una herramienta útil para la valoración diagnóstica y del estado funcional respiratorio en pacientes con EPOC que han culminado un programa de rehabilitación pulmonar (RP) en el Hospital Honorio Delgado, Arequipa – 2025, evidenciando una correlación significativa entre los parámetros ecográficos diafragmáticos y las variables funcionales respiratorias post-RP.

4.2 Hipótesis específicas

- a) Existen diferencias significativas en el grosor y movilidad diafragmática antes y después del programa de rehabilitación pulmonar.
- b) Existe una correlación significativa entre los parámetros ecográficos del diafragma y la mejoría clínica (mMRC y 6MWT).
- c) No requiere hipótesis, ya que es un objetivo descriptivo.

CAPITULO II PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN

1.1 Técnicas:

- Evaluación ecográfica funcional: Se empleará la técnica de ecografía diafragmática en modo B y modo M para valorar parámetros como el grosor diafragmático en inspiración y espiración, así como la fracción de engrosamiento. Esta técnica permite una exploración no invasiva, dinámica y en tiempo real del comportamiento del diafragma(60).
- Pruebas funcionales respiratorias: Se aplicarán pruebas estandarizadas como la Escala modificada de disnea del Medical Research Council (mMRC) (61) y la prueba de caminata de seis minutos (6MWT), con el fin de cuantificar la capacidad funcional respiratoria y la tolerancia al ejercicio tras la rehabilitación pulmonar(62).
- Revisión documental sistematizada: Se recopilarán y analizarán las historias clínicas de pacientes, incluyendo informes del departamento de rehabilitación pulmonar, antecedentes clínicos y resultados previos de pruebas funcionales, para contextualizar los hallazgos ecográficos.

1.2. Instrumentos:

- Ecógrafo portátil de alta resolución: Marca Butterfly y el modelo IQ+, equipado con transductor lineal, convexo y sectorial de alta frecuencia (1–10 MHz), calibrado para estudios musculoesqueléticos y adaptado a la exploración diafragmática. Se utilizará para capturar imágenes y mediciones cuantitativas del diafragma.
- Cuestionario mMRC impreso o digital(61): Es un formato estructurado que contiene cinco ítems que describen distintos niveles de disnea, desde grado 0 (sin disnea salvo en esfuerzos intensos) hasta grado 4 (disnea al mínimo esfuerzo o en reposo). El paciente selecciona la opción que mejor describe su experiencia habitual.
- Cronómetro y oxímetro de pulso: Utilizados durante la prueba de caminata para registrar el tiempo, la distancia recorrida y la saturación de oxígeno antes y después del esfuerzo.

- Ficha de recolección de datos estructurada: Formato diseñado específicamente para esta investigación, que permitirá registrar de manera ordenada y estandarizada los datos ecográficos, funcionales y clínicos de cada paciente, incluye datos del registro de la 6MWT y del mMRC (Anexo B).

1.3. Materiales de verificación:

- Consentimiento informado firmado: Garantiza la participación voluntaria y ética de los pacientes (Anexo C).
- Protocolos clínicos de rehabilitación pulmonar: Sirven como referencia para verificar la adherencia al programa y los criterios de inclusión (Anexo D)
- Software estadístico especializado (como SPSS v25): Para el procesamiento y análisis de los datos, permitiendo verificar correlaciones, diferencias significativas y patrones clínicos relevantes.

2. CAMPO DE VERIFICACIÓN

2.1. Ámbito:

Departamento de Medicina Física y Rehabilitación del Hospital General Honorio Delgado Espinoza

2.2. Temporalidad:

Entre julio 2025 a julio de 2026

2.3. Unidades de estudio:

Pacientes con EPOC antes y después de un programada de rehabilitación pulmonar.

2.4. Población

2.4.1. Universo

Estará conformada por la totalidad de pacientes con diagnóstico de EPOC candidatos a un programada de rehabilitación y que son atendidos en el departamento de Neumología y Radiología del Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza de Arequipa durante el año 2025.

Se cuenta con datos de la oficina de estadística e informática del hospital que señala un total de 966 pacientes atendidos en este servicio durante el último año (2024).

2.4.2. Muestra

En el presente estudio no se aplicará una fórmula estadística para el cálculo del tamaño de muestra, ya que se empleará un muestreo de tipo censal. Esto significa que se evaluará a la totalidad de los pacientes programados a un programa de rehabilitación pulmonar en el Hospital Honorio Delgado, y que lo hayan finalizado durante el año 2025 y que acrediten cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos.

Según los registros institucionales, un total de 50 pacientes completaron satisfactoriamente dicho programa el último año (2024). Por tanto, se proyecta trabajar con esta población completa, lo cual fortalece la representatividad de los resultados y evita sesgos derivados de una selección muestral.

Este enfoque censal es especialmente pertinente en estudios clínicos observacionales con poblaciones accesibles y definidas, donde el objetivo es obtener una caracterización integral y precisa de todos los casos disponibles.

Criterios de inclusión

- Diagnóstico confirmado de EPOC según los criterios GOLD
- Edad entre 40 y 80 años
- Participantes con sesiones programadas para el inicio del protocolo de rehabilitación pulmonar en el Hospital Honorio Delgado durante el 2025.
- Pacientes sin exacerbaciones agudas ni infecciones respiratorias en las últimas cuatro semanas previas a la aplicación de las pruebas.
- Consentimiento informado firmado.

Criterios de exclusión

- Pacientes con marcapasos, angina inestable, infarto de miocardio reciente.
- Pacientes con cáncer de pulmón.
- Presencia de enfermedades neuromusculares o musculoesqueléticas graves
- Pacientes sometidos a cirugía mayor reciente (dentro del último mes).
- Imposibilidad técnica para realizar la ecografía diafragmática, ya sea por presencia de barreras anatómicas o técnicas (como obesidad mórbida, hernias diafragmáticas, o artefactos quirúrgicos) que impidan una visualización adecuada del diafragma.

3. ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1. Organización

- Una vez finalizada la elaboración del proyecto de investigación, este será presentada a la Facultad de Medicina, unidad de postgrado, segunda especialidad de la Universidad Católica de Santa María y a la dirección de investigación y docencia del Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza de Arequipa, para la respectiva autorización de su ejecución.
- Aprobado el proyecto de investigación se procederá a identificar a los pacientes con diagnóstico de EPOC que han sido derivados para completar un programa de rehabilitación pulmonar, a estos pacientes se les invitará al estudio y procederá a aplicar un formato de consentimiento informado a efecto de proceder con las actividades del estudio y garantizar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión.
- Se accederá a la base de datos del programa de rehabilitación pulmonar del Hospital Honorio Delgado, correspondiente a los pacientes seleccionados y que firmaron el consentimiento. Se identificarán los pacientes que empiecen el programa y se verificará que cumplan con los criterios de selección. Esta etapa permitirá conformar la muestra censal.
- Se recolectarán los datos basales demográficos y clínicos en la ficha de recolección de datos tomados de la evaluación clínica habitual de los pacientes que inician el programa de rehabilitación, considerando los valores basales de la Escala modificada de disnea del Medical Research Council (mMRC) y la prueba de caminata de seis minutos (6MWT).
- Seguidamente, un médico entrenado en ecografía pulmonar realizará la exploración del diafragma utilizando el ecógrafo institucional con transductor lineal de alta frecuencia, mediante el cual se evaluará el grosor diafragmático en inspiración y espiración, y se calculará la fracción de engrosamiento y movilidad diafragmática, según el protocolo del servicio (ver anexo D). Las mediciones se realizarán en decúbito supino, con el paciente en reposo.
- Al término de las sesiones de rehabilitación pulmonar (entre 6 a 12 semanas) se recogerán los datos de evaluación diafragmática y pruebas de evaluación funcional de estos pacientes en la misma ficha de recolección de datos.
- Posteriormente, la información será ingresada en una hoja de Excel 2023, para su posterior análisis estadístico.

3.2. Recursos

3.2.1. Humanos

Investigador: Dr. Angel Pier Pastor Cappelletti

Asesor: Dra. Rosemary Paucar Holgado

Estadístico: Dra. Paula Cahuina Lope

3.2.2. Institucionales

Historias clínicas.

3.2.3. Materiales

- Fichas de recolección de datos para la investigación
- Material de escritorio: Papel Bond, lapiceros, borrador, resaltador, escritorio, silla.
- Laptop con programas procesadores de texto, bases de datos y software estadístico e impresora.

3.2.4. Financieros

La investigación será autofinanciada por el autor.

3.3 Análisis estadístico

Se calcularán medidas de tendencia central (media, mediana) y dispersión (desviación estándar, rango intercuartílico) para las variables cuantitativas. Las variables cualitativas se presentarán mediante frecuencias absolutas y porcentajes.

Para evaluar los cambios en las variables ecográficas (grosor y movilidad del diafragma) y clínicas (escala de disnea mMRC y distancia 6MWT) antes y después del programa de rehabilitación pulmonar, se emplearán pruebas estadísticas para muestras relacionadas. Si las variables presentan distribución normal, se aplicará la prueba t de Student para muestras pareadas. En caso de distribución no normal, se utilizará la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas. Esto permitirá determinar si la rehabilitación pulmonar genera cambios estadísticamente significativos en la función diafragmática y el estado funcional respiratorio de los pacientes.

Asimismo, se realizará un análisis de correlación entre los parámetros ecográficos del diafragma (movilidad y grosor) y los cambios clínicos observados (variación en la escala mMRC y en la distancia de la 6MWT). Para este propósito, se utilizará la correlación de Pearson si las variables son continuas y tienen distribución normal, o la correlación de Spearman si no cumplen con estos supuestos. De este modo, se evaluará la posible asociación entre la función diafragmática medida por ecografía y la mejoría clínica del paciente.

Se establecerá un valor de $p < 0.05$ como umbral para considerar significancia estadística. El procesamiento de datos se realizará con software estadístico especializado como SPSS v.26 garantizando trazabilidad y reproducibilidad de los análisis.



CRONOGRAMA DE TRABAJO

Actividades	2025						2026				
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Elección del tema, diseño y matriz de consistencia	x										
Búsqueda de literatura científica respecto al problema	x										
Diseño y elaboración de los de antecedentes nacionales e internacionales	x										
Elaboración del planteamiento del problema y metodología	x										
Revisión por asesor		x									
Levantamiento de observaciones, reducción de índices de similitud del programa turnitin.			x								
Aprobación				x							
Ejecución					x	x	x	x	x	x	
Redacción de informe final											x

REFERENCIAS

1. Kakhaki HES, Alesaeidi S, Siri G, Arya A, Sarafraz H, Otadi K, et al. Diaphragmatic Ultrasound Advantages in Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) Patients: A Systematic Review and Metaanalysis. *Ethiop J Health Sci.* septiembre de 2023;33(5):903-12.
2. Crimi C, Heffler E, Augelletti T, Campisi R, Noto A, Vancheri C, et al. Utility of ultrasound assessment of diaphragmatic function before and after pulmonary rehabilitation in COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2018;13:3131-9.
3. Shiraishi M, Higashimoto Y, Sugiya R, Mizusawa H, Takeda Y, Fujita S, et al. Diaphragmatic excursion is correlated with the improvement in exercise tolerance after pulmonary rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Res.* 22 de octubre de 2021;22(1):271.
4. WHO. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) [Internet]. 2024 [citado 23 de junio de 2025]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd))
5. Wang Z, Lin J, Liang L, Huang F, Yao X, Peng K, et al. Global, regional, and national burden of chronic obstructive pulmonary disease and its attributable risk factors from 1990 to 2021: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Respiratory Research* [Internet]. 2 de enero de 2025 [citado 23 de junio de 2025];26(1):2. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12931-024-03051-2>
6. Jaganath D, Miranda JJ, Gilman RH, Wise RA, Diette GB, Miele CH, et al. Prevalence of chronic obstructive pulmonary disease and variation in risk factors across four geographically diverse resource-limited settings in Peru. *Respiratory Research* [Internet]. 18 de marzo de 2015 [citado 31 de octubre de 2025];16(1):40. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12931-015-0198-2>
7. An TJ, Yoo YJ, Lim JU, Seo W, Park CK, Rhee CK, et al. Diaphragm Ultrasound is an Imaging Biomarker that Distinguishes Exacerbation Status from Stable Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2022;17:3-12.
8. Kakhaki HES, Alesaeidi S, Siri G, Arya A, Sarafraz H, Otadi K, et al. Diaphragmatic Ultrasound Advantages in Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) Patients: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ethiopian Journal of Health Sciences* [Internet]. 2 de

- octubre de 2023 [citado 31 de octubre de 2025];33(5). Disponible en:
<https://www.ajol.info/index.php/ejhs/article/view/256268>
9. Jiang L, Sun P, Li P, Wu W, Wang Z, Liu X. Effects of external diaphragm pacing combined with conventional rehabilitation therapies in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis. *Ther Adv Respir Dis* [Internet]. 23 de diciembre de 2023 [citado 31 de octubre de 2025];17:17534666231218086. Disponible en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10748909/>
 10. Hernández-Sampieri R, Mendoza C. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta [Internet]. McGraw-hill México; 2020 [citado 10 de septiembre de 2025]. Disponible en:
https://www.academia.edu/download/64312353/Investigacion_Rutas_cualitativa_y_cuantitativa.pdf
 11. Stolz D, Mkorombindo T, Schumann DM, Agusti A, Ash SY, Bafadhel M, et al. Towards the elimination of chronic obstructive pulmonary disease: a Lancet Commission. *The Lancet* [Internet]. 17 de septiembre de 2022 [citado 31 de octubre de 2025];400(10356):921-72. Disponible en:
[https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(22\)01273-9/abstract](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(22)01273-9/abstract)
 12. Kocjan J, Adamek M, Gzik-Zroska B, Czyżewski D, Rydel M. Network of breathing. Multifunctional role of the diaphragm: a review. *Adv Respir Med*. 2017;85(4):224-32.
 13. Ricoy J, Rodríguez-Núñez N, Álvarez-Dobaño JM, Toubes ME, Riveiro V, Valdés L. Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonol* [Internet]. 1 de julio de 2019 [citado 31 de octubre de 2025];25(4):223-35. Disponible en: http://www.journalpulmonology.org/en-diaphragmatic-dysfunction-articulo-resumen-S2531043718301624?utm_source=chatgpt.com
 14. Kakhaki HES, Alesaeidi S, Siri G, Arya A, Sarafraz H, Otadi K, et al. Diaphragmatic Ultrasound Advantages in Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) Patients: A Systematic Review and Metaanalysis. *Ethiop J Health Sci* [Internet]. septiembre de 2023 [citado 31 de octubre de 2025];33(5):903-12. Disponible en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11111195/>
 15. Shiraishi M, Higashimoto Y, Sugiya R, Mizusawa H, Takeda Y, Fujita S, et al. Diaphragmatic excursion is correlated with the improvement in exercise tolerance after

- pulmonary rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Res.* 22 de octubre de 2021;22(1):271.
16. Halpin DMG, Singh D. What's new in the 2025 GOLD report. *J Bras Pneumol* [Internet]. [citado 31 de octubre de 2025];51(1):e20240412. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12097743/>
 17. Boers E, Barrett M, Su JG, Benjafield AV, Sinha S, Kaye L, et al. Global Burden of Chronic Obstructive Pulmonary Disease Through 2050. *JAMA Netw Open* [Internet]. 7 de diciembre de 2023 [citado 27 de junio de 2025];6(12):e2346598. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10704283/>
 18. Beaumont M, Forget P, Couturaud F, Reychler G. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. *Clin Respir J.* julio de 2018;12(7):2178-88.
 19. Jia Y, Zhang Q. Research Progress on Diaphragm Ultrasound in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Narrative Review. *Ultrasound Med Biol.* abril de 2022;48(4):587-97.
 20. Laghi FA, Saad M, Shaikh H. Ultrasound and non-ultrasound imaging techniques in the assessment of diaphragmatic dysfunction. *BMC Pulm Med.* 15 de marzo de 2021;21(1):85.
 21. Corradi F, Isirdi A, Malacarne P, Santori G, Barbieri G, Romei C, et al. Low diaphragm muscle mass predicts adverse outcome in patients hospitalized for COVID-19 pneumonia: an exploratory pilot study. *Minerva Anesthesiol.* abril de 2021;87(4):432-8.
 22. Corradi F, Vetrugno L, Orso D, Bove T, Schreiber A, Boero E, et al. Diaphragmatic thickening fraction as a potential predictor of response to continuous positive airway pressure ventilation in Covid-19 pneumonia: A single-center pilot study. *Respir Physiol Neurobiol.* febrero de 2021;284:103585.
 23. Demi L, Wolfram F, Klersy C, De Silvestri A, Ferretti VV, Muller M, et al. New International Guidelines and Consensus on the Use of Lung Ultrasound. *J Ultrasound Med.* febrero de 2023;42(2):309-44.
 24. Mu H, Zhang Q. The Application of Diaphragm Ultrasound in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Narrative Review. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease* [Internet]. 31 de diciembre de 2024 [citado 17 de noviembre de 2025];21(1):2331202. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15412555.2024.2331202>

25. Boussuges A, Rives S, Finance J, Chaumet G, Vallée N, Risso JJ, et al. Ultrasound Assessment of Diaphragm Thickness and Thickening: Reference Values and Limits of Normality When in a Seated Position. *Front Med* [Internet]. 27 de octubre de 2021 [citado 27 de junio de 2025];8. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/medicine/articles/10.3389/fmed.2021.742703/full>
26. Scarlata S, Mancini D, Laudisio A, Raffaele AI. Reproducibility of diaphragmatic thickness measured by M-mode ultrasonography in healthy volunteers. *Respir Physiol Neurobiol*. febrero de 2019;260:58-62.
27. Hellyer NJ, Andreas NM, Bernstetter AS, Cieslak KR, Donahue GF, Steiner EA, et al. Comparison of Diaphragm Thickness Measurements Among Postures Via Ultrasound Imaging. *PM R*. enero de 2017;9(1):21-5.
28. Carrillo-Esper R, Pérez-Calatayud AA, Arch-Tirado E, Díaz-Carrillo MA, Garrido-Aguirre E, Tapia-Velazco R, et al. Standardization of Sonographic Diaphragm Thickness Evaluations in Healthy Volunteers. *Respir Care*. julio de 2016;61(7):920-4.
29. Baria MR, Shahgholi L, Sorenson EJ, Harper CJ, Lim KG, Strommen JA, et al. B-mode ultrasound assessment of diaphragm structure and function in patients with COPD. *Chest*. septiembre de 2014;146(3):680-5.
30. Ogan N, Aydemir Y, EVrin T, Ataç GK, Baha A, Katipoğlu B, et al. Diaphragmatic thickness in chronic obstructive lung disease and relationship with clinical severity parameters. *Turk J Med Sci*. 8 de agosto de 2019;49(4):1073-8.
31. Eryüksel E, Cimşit C, Bekir M, Cimsit Ç, Karakurt S. Diaphragmatic Thickness Fraction in Subjects at High-Risk for COPD Exacerbations. *Respir Care*. diciembre de 2017;62(12):1565-70.
32. Topcuoğlu C, Yümin ET, Hizal M, Konuk S. Examination of diaphragm thickness, mobility and thickening fraction in individuals with COPD of different severity. *Turk J Med Sci*. agosto de 2022;52(4):1288-98.
33. Okura K, Iwakura M, Shibata K, Kawagoshi A, Sugawara K, Takahashi H, et al. Diaphragm thickening assessed by ultrasonography is lower than healthy adults in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Respir J*. junio de 2020;14(6):521-6.

34. Orde SR, Boon AJ, Firth DG, Villarraga HR, Sekiguchi H. Use of Angle-Independent M-Mode Sonography for Assessment of Diaphragm Displacement. *J Ultrasound Med.* diciembre de 2016;35(12):2615-21.
35. Scarlata S, Mancini D, Laudisio A, Benigni A, Antonelli Incalzi R. Reproducibility and Clinical Correlates of Supine Diaphragmatic Motion Measured by M-Mode Ultrasonography in Healthy Volunteers. *Respiration.* 2018;96(3):259-66.
36. Boussuges A, Finance J, Chaumet G, Brégeon F. Diaphragmatic motion recorded by M-mode ultrasonography: limits of normality. *ERJ Open Res.* enero de 2021;7(1):00714-2020.
37. Dos Santos Yamaguti WP, Paulin E, Shibao S, Chammas MC, Salge JM, Ribeiro M, et al. Air trapping: The major factor limiting diaphragm mobility in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Respirology.* enero de 2008;13(1):138-44.
38. Shiraishi M, Higashimoto Y, Sugiya R, Mizusawa H, Takeda Y, Fujita S, et al. Diaphragmatic excursion correlates with exercise capacity and dynamic hyperinflation in COPD patients. *ERJ Open Res.* octubre de 2020;6(4):00589-2020.
39. Paulin E, Yamaguti WPS, Chammas MC, Shibao S, Stelmach R, Cukier A, et al. Influence of diaphragmatic mobility on exercise tolerance and dyspnea in patients with COPD. *Respir Med.* octubre de 2007;101(10):2113-8.
40. Zanforlin A, Smargiassi A, Inchingolo R, di Marco Berardino A, Valente S, Ramazzina E. Ultrasound analysis of diaphragm kinetics and the diagnosis of airway obstruction: the role of the M-mode index of obstruction. *Ultrasound Med Biol.* junio de 2014;40(6):1065-71.
41. Supinski GS, Morris PE, Dhar S, Callahan LA. Diaphragm Dysfunction in Critical Illness. *Chest.* abril de 2018;153(4):1040-51.
42. Dres M, Dubé BP, Mayaux J, Delemazure J, Reuter D, Brochard L, et al. Coexistence and Impact of Limb Muscle and Diaphragm Weakness at Time of Liberation from Mechanical Ventilation in Medical Intensive Care Unit Patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 1 de enero de 2017;195(1):57-66.
43. Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, Boroli F, et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. *Intensive Care Med.* mayo de 2013;39(5):801-10.

44. 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.* enero de 2017;43(1):29-38.
45. Marchioni A, Castaniere I, Tonelli R, Fantini R, Fontana M, Tabbi L, et al. Ultrasound-assessed diaphragmatic impairment is a predictor of outcomes in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease undergoing noninvasive ventilation. *Crit Care.* 27 de abril de 2018;22(1):109.
46. Cammarota G, Sguazzotti I, Zanoni M, Messina A, Colombo D, Vignazia GL, et al. Diaphragmatic Ultrasound Assessment in Subjects With Acute Hypercapnic Respiratory Failure Admitted to the Emergency Department. *Respir Care.* diciembre de 2019;64(12):1469-77.
47. Antenora F, Fantini R, Iattoni A, Castaniere I, Sdanganelli A, Livrieri F, et al. Prevalence and outcomes of diaphragmatic dysfunction assessed by ultrasound technology during acute exacerbation of COPD: A pilot study. *Respirology.* febrero de 2017;22(2):338-44.
48. Wagg K. Unravelling self-management for COPD: what next? *Chron Respir Dis.* febrero de 2012;9(1):5-7.
49. Ries AL, Kaplan RM, Limberg TM, Prewitt LM. Effects of pulmonary rehabilitation on physiologic and psychosocial outcomes in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Intern Med.* 1 de junio de 1995;122(11):823-32.
50. Corbellini C, Boussuges A, Villafaña JH, Zocchi L. Diaphragmatic Mobility Loss in Subjects With Moderate to Very Severe COPD May Improve After In-Patient Pulmonary Rehabilitation. *Respir Care.* octubre de 2018;63(10):1271-80.
51. Chen Y, Li P, Wang J, Wu W, Liu X. Assessments and Targeted Rehabilitation Therapies for Diaphragmatic Dysfunction in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Narrative Review. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2022;17:457-73.
52. Crimi C, Heffler E, Augelletti T, Campisi R, Noto A, Vancheri C, et al. Utility of ultrasound assessment of diaphragmatic function before and after pulmonary rehabilitation in COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2018;13:3131-9.
53. Crimi C, Heffler E, Augelletti T, Campisi R, Noto A, Vancheri C, et al. Utility of ultrasound assessment of diaphragmatic function before and after pulmonary rehabilitation in COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2018;13:3131-9.

54. Dahma EM, El-lawaty WM, Shaarawy DE, Dawoud MM, El-Shimy WS. Ultrasonographic evaluation of diaphragmatic thickness and movement for assessment of diaphragmatic dysfunction in COPD patients. *The Egyptian Journal of Bronchology* [Internet]. 5 de septiembre de 2024 [citado 26 de junio de 2025];18(1):69. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s43168-024-00313-x>
55. Arora S, Kumar R, Kaushik R, Ish P, Mahendran AJ, Madan M, et al. Clinical Utility of Diaphragmatic Ultrasound in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients Undergoing Rehabilitation. *Journal of Advanced Lung Health* [Internet]. diciembre de 2024 [citado 26 de junio de 2025];4(3):142. Disponible en: https://journals.lww.com/jalh/fulltext/2024/04030/clinical_utility_of_diaphragmatic_ultrasound_in.5.aspx
56. An TJ, Yoo YJ, Lim JU, Seo W, Park CK, Rhee CK, et al. Diaphragm Ultrasound is an Imaging Biomarker that Distinguishes Exacerbation Status from Stable Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *COPD* [Internet]. 4 de enero de 2022 [citado 26 de junio de 2025];17:3-12. Disponible en: <https://www.dovepress.com/diaphragm-ultrasound-is-an-imaging-biomarker-that-distinguishes-exacerbation-peer-reviewed-fulltext-article-COPD>
57. Güneş S, Genç A, Kurtaiş Y, Çiftçi F, Hayme S, Kaya A. Effects of Pulmonary Rehabilitation on Diaphragm Thickness and Contractility in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Turkish journal of medical sciences* [Internet]. 2022 [citado 23 de junio de 2025];52. Disponible en: <https://avesis.ebyu.edu.tr/yayin/16a36836-45e5-4b3b-b04c-f2a0d1bbd4b4/effects-of-pulmonary-rehabilitation-on-diaphragm-thickness-and-contractility-in-patients-with-chronic-obstructive-pulmonary-disease>
58. Yalçın B, Sekmenli N, Baktık B, Bekçi TT. Evaluation of diaphragm thickness and function with ultrasound technique and comparison with spirometry in stable chronic obstructive pulmonary disease. *Tuberk Toraks*. marzo de 2022;70(1):76-84.
59. Pietranis KA, Izdebska WM, Kuryliszyn-Moskal A, Dakowicz A, Ciołkiewicz M, Kaniewska K, et al. Effects of Pulmonary Rehabilitation on Respiratory Function and Thickness of the Diaphragm in Patients with Post-COVID-19 Syndrome: A Randomized Clinical Trial. *J Clin Med*. 12 de enero de 2024;13(2):425.
60. Sayas Catalán J, Hernández-Voth A, Villena Garrido MV. Ecografía diafragmática: una herramienta de novedosa a rutinaria. *Arch Bronconeumol* [Internet]. 1 de abril de 2020 [citado 1 de noviembre de 2025];56(4):201-3. Disponible en:

<http://www.archbronconeumol.org/es-ecografia-diafragmatica-una-herramienta-novedosa-articulo-S0300289619302959>

61. COPD: Understanding the mMRC dyspnea scale [Internet]. 2025 [citado 1 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/mmrc-copd>
62. Matos Casano HA, Ahmed I, Anjum F. Six-Minute Walk Test. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citado 1 de noviembre de 2025]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK576420/>
63. Bellissimo CA, Morris IS, Wong J, Goligher EC. Measuring Diaphragm Thickness and Function Using Point-of-Care Ultrasound. JoVE (Journal of Visualized Experiments) [Internet]. 3 de noviembre de 2023 [citado 17 de noviembre de 2025];(201):e65431. Disponible en: <https://www.jove.com/es/t/65431/measuring-diaphragm-thickness-function-using-point-care>

ANEXOS



Anexo A. Matriz de Consistencia

Titulo

Utilidad clínica de la ecografía diafragmática en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica post rehabilitación pulmonar del Hospital Honorio Delgado, Arequipa 2025

Pregunta de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
¿Cuál es la utilidad clínica de la ecografía diafragmática para evaluar la función respiratoria en pacientes con EPOC que han completado un programa de rehabilitación pulmonar en el Hospital Honorio Delgado de Arequipa en el 2025?	<p>General:</p> <p>Evaluar la utilidad clínica de la ecografía diafragmática en la valoración diagnóstica y del estado funcional respiratorio de pacientes con EPOC que han culminado un programa de rehabilitación pulmonar en el Hospital Honorio Delgado, Arequipa – 2025.</p>	<p>General:</p> <p>H1: La ecografía diafragmática (ED) es una herramienta útil para la valoración diagnóstica y del estado funcional respiratorio en pacientes con EPOC que han culminado un programa de rehabilitación pulmonar (RP) en el Hospital Honorio Delgado, Arequipa – 2025, evidenciando una correlación significativa entre los parámetros ecográficos diafragmáticos y las variables funcionales respiratorias post-RP.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Rehabilitación Pulmonar</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Utilidad clínica de la ecografía diafragmática</p>	<p>-Cambio en el grosor diafragmático en inspiración: <i>Cambio en grosor (Δ grosor = post-RP – pre-RP).</i></p> <p>-Movilidad diafragmática (Excursión diafragmática) máxima durante inspiración profunda.</p> <p>-Porcentaje de engrosamiento diafragmático: <i>[(Grosor inspiratorio – Grosor espiratorio) / Grosor espiratorio]</i></p>	<p>El tipo de investigación será aplicada.</p> <p>El nivel de investigación empleado será analítico-correlacional.</p> <p>El diseño utilizado es no experimental.</p> <p>Enfoque de investigación: Cuantitativo</p> <p>Método de investigación Deductivo-explicativo</p>
<p>Específicos:</p> <p>a) ¿Existen cambios significativos en el grosor y la movilidad diafragmática,</p>	<p>Específicos:</p> <p>a) Medir los cambios en el grosor diafragmático y movilidad diafragmática antes y después del programa de</p>	<p>Específicos:</p> <p>a)Existen diferencias significativas en el grosor y movilidad diafragmática antes y después del programa de</p>			

<p>evaluada por ecografía, antes y después del programa de rehabilitación pulmonar?</p> <p>b) ¿Qué relación existe entre los parámetros ecográficos del diafragma y la mejoría clínica de los pacientes, medida por la escala de disnea mMRC y la prueba de caminata de 6 minutos (6MWT)?</p> <p>c) ¿Cuál es el perfil clínico de los pacientes con EPOC que asisten a programas de rehabilitación pulmonar?</p>	<p>rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC.</p> <p>b) Determinar la correlación entre los parámetros ecográficos del diafragma y la mejoría clínica medida por la escala de disnea mMRC y la prueba de caminata de 6 minutos (6MWT).</p> <p>c) Describir el perfil clínico de los pacientes con EPOC que asisten a programas de rehabilitación pulmonar.</p>	<p>rehabilitación pulmonar.</p> <p>b) Existe una correlación significativa entre los parámetros ecográficos del diafragma y la mejoría clínica (mMRC y 6MWT).</p> <p>c) No requiere hipótesis, ya que es un objetivo descriptivo.</p>		<p>$\times 100$.</p> <p>-Correlación con mejoría en disnea (escala mMRC, puntaje de de 0 a 4)</p> <p>-Correlación con el cambio en la capacidad funcional (6MWT= Prueba de caminata de seis minutos)</p>	<p>Población La población son pacientes con EPOC que han finalizado el programa de rehabilitación pulmonar en el Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza.</p> <p>El tamaño de muestra es censal.</p> <p>Instrumento de recolección de datos</p> <p>-Ficha de recolección de Datos. -Escala mMRC. -Escala 6MWT</p> <p>Análisis estadístico: Descriptivo y analítico (pruebas t pareadas o Wilcoxon y pruebas de correlación)</p>
--	--	---	--	---	---

Anexo B. Ficha de recolección de datos

Nº de Historia Clínica:

Fecha de evaluación: ____ / ____ / 2025

1. Datos generales del paciente

EDAD: _____

SEXO: Masculino () Femenino ()

OCUPACIÓN:

1. Sin ocupación
2. Obrero dependiente
3. Obrero independiente
4. Empleado dependiente
5. Empleado independiente
6. Su casa

ESTADO CIVIL

1. Conviviente
2. Casado
3. Divorciado/separado
4. Viudo

GRADO DE INSTRUCCIÓN

1. Primaria
2. Secundaria
3. Superior Técnico
4. Superior Universitario

COMORBILIDADES

1. Diabetes
2. Hipertensión
3. Bronquitis crónica
4. Obesidad
5. Otro: _____

HABITOS NOCIVOS

1. tabaquismo
2. alcoholismo
3. drogas ilícitas
4. Ninguna

ESTADO NUTRICIONAL

1. Bajo peso
2. Normal
3. Sobrepeso
4. Obesidad
5. Obesidad Mórbida

2. Características clínicas de EPOC

Variable	Valor/Clasificación
Tiempo de diagnóstico (años)	_____
Estadio GOLD	<input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV
Disnea basal (Escala mMRC)	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
VEF1 (%)	_____ %
Uso de oxígeno domiciliario	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

3. Datos pre rehabilitación pulmonar

Variable	Valor
Disnea mMRC (pre)	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Distancia 6MWT (pre)	_____ metros
SatO ₂ pre 6MWT (%)	_____
Frecuencia cardíaca pre 6MWT	_____ lpm
Escala de Borg (disnea al terminar 6MWT)	_____ (0 a 10)
Grosor diafragmático (pre, mm)	Der: _____ / Izq: _____
Movilidad diafragmática (pre, mm/cm)	Der: _____ / Izq: _____

4. Datos post rehabilitación pulmonar

Variable	Valor
Disnea mMRC (post)	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4

Distancia 6MWT (post)	_____ metros
SatO ₂ post 6MWT (%)	_____
Frecuencia cardíaca post 6MWT	_____ lpm
Escala de Borg (disnea al terminar 6MWT)	_____ (0 a 10)
Grosor diafrágico (post, mm)	Der: _____ / Izq: _____
Movilidad diafrágica (post, mm/cm)	Der: _____ / Izq: _____

5. Observaciones adicionales



Anexo C: Formato de consentimiento informado

Nombre del Proyecto de Investigación:

“Utilidad clínica de la ecografía diafragmática en la valoración diagnóstica y del estado funcional respiratorio de pacientes con EPOC post rehabilitación pulmonar en el Hospital Honorio Delgado – Arequipa, 2025”

Nombre del Investigador: Angel Pier Pastor Cappelletti

Correo electrónico: angel.pastor@ucsm.edu.pe

Parte 1: Información

Introducción

El presente trabajo de investigación está siendo realizado con el objeto de optar el Título de Médico Especialista en Medicina Física y de Rehabilitación de la Universidad Católica de Santa María. Te voy a dar información respecto a las definiciones de EPOC, Ecografía diafragmática, utilidad clínica, y parámetros funcionales para medir la utilidad clínica.

Por ello, usted está siendo invitado a participar voluntariamente en este estudio de investigación. Antes de decidir, es importante que lea y entienda la siguiente información. Este documento explica el propósito del estudio, lo que se espera de usted, los riesgos y beneficios, y sus derechos como participante.

Pero si usted no desea formar parte en la investigación no tiene por qué hacerlo, y está en la libertad de poder negarse, sin mediar ninguna explicación.

¿Por qué se está haciendo esta investigación?

Este estudio tiene como objetivo evaluar si la ecografía del diafragma puede brindar información útil para valorar el estado respiratorio de los pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) que han completado un programa de rehabilitación pulmonar. La información obtenida puede ayudar a mejorar la atención y seguimiento de futuros pacientes con esta enfermedad.

Elección de participantes: ¿Por qué se te pide a ti?

Estamos realizando esta investigación en personas que como tu tiene el diagnóstico de EPOC y que participaran en un programa de rehabilitación pulmonar.

¿Qué implica participar?

Si usted acepta participar:

- Se le aplicará una ficha de recolección de datos.
- Se revisará su historia médica y se registrarán datos sobre su diagnóstico y tratamiento.
- Se le realizará una ecografía del diafragma **antes y después** de la rehabilitación pulmonar.
- También se le aplicará la escala de disnea y se le realizará una prueba de caminata de 6 minutos en ambas ocasiones.

Estas evaluaciones se realizarán en el Hospital Honorio Delgado, sin costo para usted, y tendrán una duración aproximada de 30 a 40 minutos por sesión.

Riesgos y beneficios

No se esperan riesgos mayores.

Puede experimentar fatiga leve durante la prueba de caminata de 6 minutos o incomodidad transitoria al mantener la respiración en la ecografía. No se administrará ningún medicamento ni procedimiento invasivo.

Respecto a los beneficios:

- Se le brindarán los informes de la pruebas de evaluación funcional respiratoria gratuita mediante ecografía.
- Su participación contribuirá al conocimiento científico para mejorar la atención de pacientes con EPOC.

Confidencialidad:

No le diremos a otros que estás en esta investigación y no daremos información tuya a nadie que no esté trabajando en el estudio de investigación. Los datos recopilados serán anónimos y nadie más que el investigador tendrán acceso a ellos.

Parte 2: Parte de Firmas

Yo, _____, he leído (o se me ha leído) y comprendido la información contenida en este documento. Se me han explicado los objetivos, procedimientos, beneficios y posibles riesgos del estudio. He tenido la oportunidad de hacer preguntas y todas han sido respondidas satisfactoriamente.

Acepto participar voluntariamente en este estudio.

No deseo participar.

- Nombre del participanteFecha:.....

- Nombre del InvestigadorFecha:.....

ANEXO D: Protocolo de medición de grosor diafragmático del Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza

Evaluación del espesor del diafragma y la fracción de engrosamiento durante la respiración tidal

1. Identificación del diafragma

- 1.1. Siente al paciente en posición semireclinada (30° - 45° con respecto al plano horizontal) en decúbito supino. Descubra su pecho lado derecho. NOTA: Puede emplearse la misma técnica para visualizar el hemidiafragma izquierdo; el lado izquierdo suele ser más difícil de visualizar y se dice que la exactitud de la medición es mucho menor.
- 1.2. Inicie un examen musculoesquelético con un transductor de matriz lineal de alta frecuencia (≥ 12 MHz). NOTA: Cualquier ecógrafo sirve para realizar la técnica.
- 1.3. Cubra la punta del transductor de matriz lineal con suficiente gel y verifique que el ultrasonido esté en modo B para posicionamiento. Sujete la sonda atrapando con el pulgar y el índice la punta de la sonda (Fig. 2A).
- 1.4. Palpe la pared torácica para localizar el octavo, noveno o décimo espacio intercostal derecho entre las líneas axilares media y anterior (Fig. 2A) y coloque la sonda en el área de aposición (generalmente a nivel del octavo espacio intercostal).
- 1.5. Incline el transductor en el plano sagital para que quede en el plano intercostal (Figura 2A) y no se visualicen artefactos costales en la imagen (Figura 2B). Si se visualiza una costilla en la imagen, angule la sonda hacia arriba o abajo. Si todavía se ve una costilla, gire la sonda hasta que solo se vea el diafragma. Si aún tiene dificultades para visualizar el diafragma, deslice la sonda hacia arriba o abajo al siguiente espacio intercostal.
- 1.6. En el ecógrafo se visualizan dos líneas blancas paralelas por encima del hígado, que corresponden a las pleuras y el peritoneo (Figura 2B). El diafragma costal hipoecoico se puede identificar entre estas líneas.
- 1.7. Gradúe la profundidad de la imagen presionando el botón de aumento o disminución de profundidad para optimizar el tamaño del diafragma. Verifique que el diafragma esté centrado en la pantalla del monitor. Esto garantizará la mejor resolución de las líneas pleurales y peritoneales de las estructuras adyacentes.
- 1.8. Si la imagen sigue siendo deficiente (se ven los pulmones o las costillas en la imagen o no se visualizan las pleuras y el peritoneo), reposicione la sonda para mejorar la imagen moviéndola arriba y abajo por el espacio intercostal, adelante y atrás desde la base o gírela.

2. Optimización de imágenes

- 2.1 Con el transductor en su lugar, ajuste la imagen lo mejor posible antes de adquirir los datos. NOTA: En distintos equipos de ultrasonido varían los modelos y el software.
- 2.2 Cambiar el brillo de la imagen. Aumente la ganancia haciendo clic en el botón de aumento para que la imagen se vea más clara. En cambio, pulse el botón de disminución para oscurecer la imagen. Si la ganancia es muy baja, las estructuras pueden ser difíciles de identificar. Si la ganancia es muy alta, se pueden generar ecos extraños y la imagen se verá muy brillante.
- 2.3 Si está disponible en la unidad de ultrasonido, pulse el botón de enfoque para manipular el enfoque y cambiar la imagen. Haga clic en el botón de aumento para ampliar el enfoque o en el botón de disminución para reducirlo.

3. Captura de imágenes

- 3.1. Una vez optimizada la ubicación y la imagen, ponga el ultrasonido en modo M presionando el botón Modo M en el software del ultrasonido.
- 3.2. Se mostrará una única línea de escaneo vertical en la imagen. Sitúe la línea en el punto en que las líneas pleural y peritoneal se hacen más evidentes. NOTA: Puede haber diferencias entre los ecógrafos en la adquisición de imágenes en modo M. Asegúrese de que haya un espacio libre donde se visualicen claramente las membranas pleural y peritoneal antes de iniciar el modo M. Coloque la línea de exploración donde las membranas pleural y peritoneal estén bien definidas durante todo el ciclo respiratorio y no entren pulmones ni costillas en el campo de visión.
- 3.3. Ejecute el modo M en un ciclo completo de inspiración y espiración en respiración mareal y pulse los botones de congelación y guardar para capturar el estado real y guardar la imagen. Si está disponible, cambie la velocidad de barrido haciendo clic en el botón de velocidad de barrido para establecer la velocidad de recogida y asegurarse de que se recojan dos ciclos respiratorios. Repita el proceso para otra imagen.
- 3.4. Con un marcador seguro para la piel, marque la posición de la sonda en el cuerpo del paciente para ayudar a asegurar que se esté midiendo exactamente en la misma posición del diafragma en el tiempo. Esto es importante para hacer reproducible la medida; el diafragma no tiene el mismo espesor en toda su superficie.
- 3.5. A partir de estas imágenes se puede calcular el grosor del diafragma (Tdi) y la fracción de engrosamiento (TFdi). Si los valores de la segunda imagen en modo M no se encuentran en un rango del 10% de la primera imagen, repita la captura de

imágenes en modo M hasta obtener dos imágenes cuyos valores se encuentren en un rango del 10% entre sí.

- 3.6. Terminado el examen, haga clic en finalizar examen en el software de ultrasonido.
- 3.7. Para exportar archivos, haga clic en Exportar imágenes y verifique que los archivos se exporten en formato DICOM.
- 3.8. Limpie la zona costal del paciente si queda gel y desinfecte el ecógrafo con toallitas desinfectantes apropiadas.

4. Análisis de imágenes

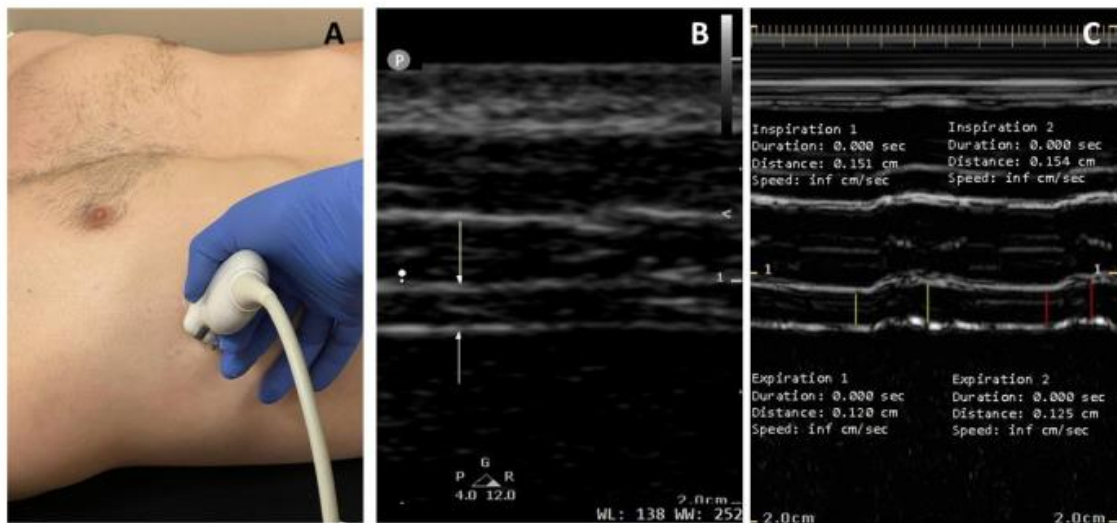
- 4.1. Abra los archivos DICOM requeridos en el visor DICOM de MicroDicom o en uno similar.
- 4.2. Haga clic en la herramienta "distancia" (calibradores o línea recta) y trace una línea recta desde el borde interno de la pleura al borde interno del peritoneo al final de la espiración ($T_{di,ee}$).
- 4.3. Verifique que las dos membranas no estén incluidas en la medición y que los dos puntos extremos de la línea recta estén directamente uno frente al otro (verticalmente) en el tiempo para que no haya diferencia de tiempo entre los marcadores, lo que inflaría artificialmente la distancia (Figura 2B).
- 4.4. Anote este valor como grosor del diafragma ($T_{di,ee}$).
- 4.5. Repita el paso 4.2 al final de la inspiración máxima para determinar el grosor del diafragma al final de la inspiración máxima ($T_{di,pi}$).
- 4.6. Si el paciente no está respirando y no se observa ninguna porción de engrosamiento del diafragma en la inspiración, determine el $T_{di,pi}$ en un punto representativo del grosor del diafragma en la inspiración (en este caso, aproximadamente igual al $T_{di,ee}$), como se muestra en la Figura 3.
- 4.7. $T_{di,ee}$ y $T_{di,pi}$ se deben medir en la misma respiración, como se muestra en la Figura 2C, para calcular la fracción de engrosamiento del diafragma en la respiración tidal (TF_{di}).
- 4.8. Utilizando $T_{di,pi}$ y $T_{di,ee}$, determina el TF_{di} para cada respiración:
 - Registre este valor como espesor del diafragma ($T_{di,ee}$).
 - Repita el paso 4.2 en el pico de inspiración de la misma respiración para obtener el grosor del diafragma en el pico de inspiración ($T_{di,pi}$).
 - Si el paciente no está respirando y no se observa ninguna porción de engrosamiento diafragmático en la inspiración, determine el $T_{di,pi}$ en un punto representativo del grosor diafragmático en la inspiración (en este caso, aproximadamente igual al $T_{di,ee}$), como se muestra en la Figura 3.

- T_{di,ee} y T_{di,pi} deben ser medidas en la misma respiración, como se muestra en la Figura 2C, para calcular la fracción de engrosamiento del diafragma en la respiración tidal (TF_{di}). Usando T_{di,pi} y T_{di,ee}, calcule el TF_{di} para cada respiración:

$$TF_{di} (\%) = \frac{(T_{di,pi} - T_{di,ee})}{T_{di,ee}} \times 100$$

- Obtenga un segundo par de mediciones a partir de la misma imagen en modo M (consulte la **Figura 2C**).
- Repita los pasos 1.4 -1.8 en la segunda imagen en modo M. En este punto, se han obtenido cuatro mediciones de T_{di,ee} y cuatro mediciones de TF_{di}.
- Si los valores de la segunda imagen en modo M no están dentro del 10% de la primera imagen, repita la adquisición de imágenes en modo M hasta que se obtengan dos imágenes con un conjunto de valores dentro del 10% entre sí.

Figura 3. Grosor y engrosamiento del diafragma por ultrasonido durante la respiración tidal.



Fuente: Tomado de Bellissimo et al.(63)

(A) La sonda se ubica en el 8°, 9° o 10° espacio intercostal para visualizar el diafragma en corte transversal. (B) En la imagen en modo B, las flechas blancas señalan las pleuras y el peritoneo hiperecoicos. (C) Imagen en modo M: muestra los cambios en el grosor del diafragma en un punto específico en el tiempo. De izquierda a derecha, las líneas amarillas señalan el grosor del diafragma al final de la espiración (T_{di,ee}) y al pico de la inspiración (T_{di,pi}) en la primera respiración, y las líneas rojas en la segunda. El grosor del diafragma (T_{di,ee}) es de 1,20 y 1,25 mm y TF_{di} 26% y 23% en un varón sano.