



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE MEDICINA

Hospital Central “Dr. Ignacio Morones Prieto”

Tesis para obtener el diploma en la especialidad de
Radiología e Imagen

**“Comparación de la sensibilidad y especificidad diagnóstica de la
fluoroscopia y el ultrasonido en la detección de la parálisis
diafragmática de pacientes adultos ”**

Dra. Zenyazen Cisneros Mejía

DIRECTOR CLÍNICO

Dr. Alejandro Hernández Martínez
Radiólogo Intervencionista

DIRECTOR METODOLÓGICO

María Isabel Patiño López
Maestra en Ciencias de la Información Documental

29 febrero del 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE MEDICINA

Hospital Central “Dr. Ignacio Morones Prieto”

Tesis para obtener el diploma en la especialidad de
Radiología e Imagen

**“Comparación de la sensibilidad y especificidad diagnóstica de la
fluoroscopia y el ultrasonido en la detección de la parálisis
diafragmática de pacientes adultos”**

Dra. Zenyazen Cisneros Mejía

No. de CVU: 1351352; Identificador de ORCID: 0009-0007-4919-073X

DIRECTOR CLÍNICO

Dr. Alejandro Hernández Martínez

No. CVU 953343

DIRECTOR METODOLÓGICO

M. en C. María Isabel Patiño López

No. CUV 789195

29 Febrero 2024

SINODALES

Dr. Francisco Javier Marín Solares.
Presidente

Dr. Carlos Lambert Cerda.
Sinodal

Dr. Jorge Guillermo Reyes Vaca.
Sinodal

Dra. Rosario Margot Camargo Zebadúa.
Sinodal Suplente



Comparación de la sensibilidad y especificidad diagnóstica de la fluroscopia y el ultrasonido en la detección de la parálisis diafragmática de pacientes adultos © 2024.
Por Zenyazen Cisneros Mejía. Se distribuye bajo [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Resumen

Introducción: El diafragma se considera el músculo más importante para la inhalación después de los músculos escalenos, intercostales y esternocleidomastoideos. Su correcto funcionamiento es esencial para una ventilación adecuada y la función de los pulmones. Las enfermedades que interfieren con la inervación diafragmática, las propiedades contráctiles del músculo o el acoplamiento mecánico con la pared torácica pueden causar disfunción diafragmática. El objetivo de la presente revisión es determinar y comparar la precisión diagnóstica del ultrasonido y la fluoroscopia en el diagnóstico de parálisis diafragmática.

Métodos: Se realizó una revisión sistemática siguiendo las consideraciones de la declaración PRISMA. Se realizó una exhaustiva búsqueda en las plataformas MEDLINE, BVS, Bielefeld Academic Search Engine, Cochrane Controlled Register of Trials y Web of Science.

Resultados: Se identificaron 677 estudios de diferentes bases de datos y 12 estudios a partir de otros medios; posterior al tamizaje se incluyeron 18 estudios en la revisión sistemática de los cuales 11 fueron incluidos en el metaanálisis. El metaanálisis mostró que el ultrasonido presenta una sensibilidad y especificidad global a través de los estudios recuperados, equivalente a la de la fluoroscopia, además de que no existe evidencia suficiente sobre la precisión diagnóstica de la fluoroscopia.

Palabras Clave

“Parálisis diafragmática”, “ultrasonido”, “fluoroscopia”, “sensibilidad”, “especificidad”, “metaanálisis”

INDICE

<i>Resumen</i>	5
LISTA DE CUADROS	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	10
LISTA DE DEFINICIONES	11
DEDICATORIAS	12
AGRADECIMIENTOS	13
1. ANTECEDENTES	14
Disfunción diafragmática	14
Parálisis diafragmática	15
Cuadro clínico.....	17
Diagnóstico	18
Fluoroscopia	19
Ecografía diafragmática.....	19
Tratamiento	21
Pronóstico	22
2. JUSTIFICACIÓN	22
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	23
4. HIPOTESIS	23
5. OBJETIVOS	23
6. METODOS	25
7. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	28
Análisis de calidad	28
Análisis cualitativo	28
Análisis cuantitativo.....	29
8. ÉTICA	29
9. RESULTADOS	30
Resultados de las evaluaciones	31
Resultados síntesis cualitativa.....	33

Resultados de la síntesis cuantitativa	38
Desviaciones en el protocolo propuesto.....	42
10. DISCUSION	43
11. LIMITACIONES Y/O NUEVAS PERSPECTIVAS DE INVESTIGACION	44
12. CONCLUSIONES	46
13. CONFLICTO DE INTERESES	46
14. BIBLIOGRAFIA	47
15. ANEXOS	54

LISTA DE CUADROS

Tabla 1 estructura pregunta PICO	25
Tabla 2 Descripción palabras claves.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo PRISMA.....	31
Figura 2 Resumen del promedio de evaluaciones QUADAS-2	32
Figura 3 Resultados individuales de evaluación QUADAS-2	33
Figura 4 Forest plot sensibilidad y especificidad del ultrasonido y la fluoroscopia	39
Figura 5 Curva HSROC rendimiento diagnóstico del ultrasonido.....	40
Figura 6 Curva sROC de rendimiento diagnóstico del ultrasonido y la fluoroscopia..	41

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

MeSH: Medical Subject Headings

OPMER: Objetivo, Población, Metodología, Estadística y Resultados

LISTA DE DEFINICIONES

Sensibilidad: Probabilidad de que el resultado de la prueba de una enfermedad sea positivo si realmente tiene la enfermedad.

Especificidad: Probabilidad de que el resultado de la prueba sea negativo en una persona sana, que no padece la enfermedad.

Ultrasonido: Consiste en el uso de ondas sonoras de alta frecuencia para crear imágenes de órganos y estructuras dentro del cuerpo.

Fluoroscopia: Técnica de imagen usada en medicina para obtener imágenes en tiempo real usando rayos X de las estructuras internas de los pacientes mediante el uso de un fluoroscopio.

Parálisis diafragmática: Pérdida completa de la movilidad del diafragma sin un defecto de su continuidad.

Metaanálisis: Método sistemático para sintetizar resultados de diferentes estudios empíricos sobre el efecto de una variable independiente.

Odds ratio diagnóstico: Índice estadístico en los estudios epidemiológicos casos/controles representando la fuerza de asociación entre el factor de riesgo y la enfermedad.

Likelihood ratio: Razón entre la posibilidad de observar un resultado en los pacientes con la enfermedad en cuestión versus la posibilidad de ese resultado en pacientes sin la patología.

DEDICATORIAS

A Renata y Fernanda

Éste es un tributo a su paciencia, comprensión, amor y apoyo durante todo este camino, pero sobre todo por ser el pilar de mi fortaleza a través de todos los obstáculos que se presentaron... ¡Lo logramos!

Ustedes son mis alas para volar y mi mayor motivación para esto y todo lo que anhelo.

(A pesar de que éste es un gran logro, mi mayor éxito siempre seá ser su mamá. Gracias por darme vida y las ganas de vivirla.)

AGRADECIMIENTOS

A mis amigos José María, Laura, Vanessa y Andrea quienes siempre estuvieron para darme ánimos y estrategias de guerra cuando se acabó el pan.

A Carlos y Celia por la infinita paciencia, comprensión y todos esos “tu puedes, yo creo en ti” que me mantuvieron a flote durante este reto.

A mi compañero de infierno en este camino, Ernesto; nadie conoce mejor cuanto trabajo nos costó llegar hasta aquí; te estoy infinitamente agradecida por todo.

A mis erres bebés (mis hijos), por todos esos momentos de alegría, risas pero también desafíos... me ayudaron a crecer, aprender y a sobrellevarlos todos.

A mis erres grandes, que me enseñaron todo lo que no debe ser y lo que no quiero ser; y que me dieron las ganas de estudiar con tal de no estarlos soportando.

A mis maestros: al Dr. Guillermo Reyes Vaca quien me enseñó radiología y otros más: Dr. Carlos Lambert, Dr. Alejandro Hernández, Dr. Marco Rivera, de quienes no aprendí solo radiología sino modos, mañanas y de todo.

A la Dra. Alejandra Castellón quien hizo que me enamorara de este arte oscuro y que en el camino siguió ayudandome a crecer.

A quienes me pusieron obstáculos, por darme la satisfacción de demostrar que *siempre puedo todo*.

A mi pareja por estar ahí, con sus asegunes, pero siempre presente a lo largo del camino.

A mi familia que nunca deja de apoyarme.

A Lucas, por ser contención de mi salud mental.

1. ANTECEDENTES

El diafragma se considera el músculo más importante para la inhalación después de los músculos escalenos, intercostales y esternocleidomastoideos. Su correcto funcionamiento es esencial para una ventilación adecuada y la función de los pulmones, el diafragma se contrae hacia abajo para provocar una presión intratorácica negativa que permita la expansión pulmonar y el flujo pasivo de aire hacia los pulmones para el intercambio gaseoso. También es una barrera importante que separa las cavidades abdominal y torácica^{1,2}.

Durante la inspiración pasiva, la forma de cúpula del diafragma cambia muy poco y la acción muscular provoca un acortamiento de la zona de aposición (área en la que la caja torácica inferior y el diafragma están en contacto directo) que hace que el diafragma se mueva caudalmente como un pistón, aumentando así la presión abdominal y disminuyendo la presión pleural. Esta última se transmite al pulmón, provocando su insuflación, y a la pared costal, que tenderá a colapsarse. Esta acción se compensa con un aumento de la presión abdominal, que hace que la caja torácica se expanda en la zona de aposición y la contracción del diafragma en las costillas inferiores, que también abre la caja torácica. El diafragma está inervado por el nervio frénico por separado en los hemidiafragmas izquierdo y derecho. El nervio frénico está compuesto por raíces nerviosas cervicales que nacen de las raíces nerviosas C3-C5³⁻⁵.

Disfunción diafragmática

Las enfermedades que interfieren con la inervación diafragmática, las propiedades contráctiles del músculo o el acoplamiento mecánico con la pared torácica pueden causar disfunción diafragmática⁶. Se desconoce la incidencia de la disfunción diafragmática, dadas las múltiples enfermedades que la causan. El nivel de gravedad de esta complicación viene determinado por el nivel de afectación anatómica o por la unilateralidad o bilateralidad^{4,7}.

El término disfunción diafragmática incluye tres subtipos principales⁸:

1. Eventración: es una elevación permanente de todo o parte del hemidiafragma causada por el adelgazamiento.
2. Debilidad: es la pérdida parcial de fuerza muscular para generar la presión necesaria para una ventilación adecuada^{7,9}.
3. Parálisis: es la ausencia total de fuerza muscular.

Parálisis diafragmática

La parálisis diafragmática es una afección en la que el lado derecho, izquierdo o ambos del diafragma pierden la capacidad de contraerse para permitir una inspiración adecuada. Esta parálisis puede ser unilateral o bilateral; sin embargo, la parálisis unilateral es más frecuente. Puede deberse a problemas musculares en el diafragma o a la pérdida de inervación del nervio frénico al hemidiafragma¹⁰. La gravedad de la parálisis depende de la causa subyacente y puede corregirse en algunos casos sin déficits a largo plazo o ser permanente en otros. Las causas pueden dividirse en diferentes etiologías²:

1. Traumático: se considera la causa más común de debilidad del diafragma. Un traumatismo directo, ya sea contuso o durante una intervención quirúrgica, puede lesionar el nervio frénico y provocar debilidad o parálisis del diafragma. El mayor riesgo se produce durante los casos de bypass cardíaco, en los que hasta un 20% de los casos provocan debilidad temporal del diafragma debido al enfriamiento necesario para el procedimiento, que es más frecuente en el lado izquierdo que en el derecho¹¹. También se han descrito casos durante

cirugías mediastínicas, esofágicas o pulmonares e incluso con colecistectomía laparoscópica^{10,12}.

2. Compresión del nervio frénico: ya sea en forma de espondilosis cervical o por un tumor o malformación adyacente, tubos torácicos mediastínicos o mediastinitis esclerosante crónica¹³. Hasta un 5% de los casos de cáncer de pulmón han mostrado afectación del nervio frénico¹⁰.
3. Neuropático: Los estados de enfermedad que suelen causar daño nervioso o desmielinización pueden provocar parálisis o debilidad del diafragma al interferir en la conducción del nervio frénico. La neuropatía diabética puede causar daños en el nervio frénico, especialmente si la glucosa no está bien controlada. La esclerosis múltiple también podría disminuir la función del nervio frénico, dependiendo de la localización de las lesiones, junto con otros trastornos desmielinizantes crónicos¹⁰.
4. Inflamatorias: Los virus como el herpes zóster, el Zika, el poliovirus y otras infecciones víricas se han relacionado con la parálisis diafragmática unilateral. Aparte de las infecciones víricas, se sabe que algunas infecciones bacterianas, como la enfermedad de Lyme, afectan al nervio frénico. Se ha observado que causas inflamatorias no infecciosas provocan debilidad del diafragma, como la sarcoidosis y la amiloidosis¹⁰.
5. Iatrogénicos: Los pacientes suelen recibir bloqueos nerviosos para ayudar a controlar el dolor en el preoperatorio o el postoperatorio. La diseminación local del anestésico puede afectar al nervio frénico, bloquear los impulsos enviados al diafragma y provocar una parálisis diafragmática unilateral. Este fenómeno se ha descrito con muchos bloqueos, pero se observa con mayor frecuencia en los bloqueos interescalénicos, de los nervios del plexo braquial y de los nervios paravertebrales torácicos altos^{14,15}.

6. Idiopática: Se han dado muchos casos de parálisis y debilidad diafragmática tanto unilateral como bilateral cuya causa se considera desconocida. Cerca del 20% de los casos se han considerado idiopáticos¹⁰.

Cuadro clínico

Cuando existe debilidad o parálisis de un hemidiafragma, el paciente puede ser asintomático o experimentar disnea, que puede ser más pronunciada si existen otras comorbilidades o afecciones pulmonares. Inmediatamente después de la parálisis, el hemidiafragma que funciona puede producir suficiente presión intratorácica negativa para compensar el lado paralizado. Con el tiempo, la respiración se vuelve más fácil a medida que el hemidiafragma paralizado se vuelve menos complaciente y se observa menos movimiento paradójico con la inspiración, lo que permite un mejor intercambio gaseoso².

Los pacientes con parálisis diafragmática unilateral pueden ser asintomáticos, lo que explica que a menudo se diagnostique de forma incidental cuando se observa una elevación en un hemidiafragma en una radiografía de tórax realizada por otro motivo.⁸ Los síntomas más frecuentes son la disnea de esfuerzo y la ortopnea^{16,17}, pero también puede haber síntomas de hipoventilación nocturna y reflujo gastroesofágico¹⁸.

La exploración física es inespecífica como disminución de los ruidos respiratorios en la base del hemitórax afectado y posible matidez a la percusión¹⁹. Ocasionalmente se producen movimientos toracoabdominales paradójicos durante el sueño. Algunos estudios han revelado que estos pacientes tienden a dormir con el hemidiafragma sano en la parte inferior²⁰. Cuando hay afectación bilateral, los pacientes suelen mostrar síntomas de ortopnea. La disnea, que puede ocurrir en reposo, se hace evidente durante la inmersión en agua²¹. Los pacientes suelen mostrar cianosis, disminución bilateral de los sonidos respiratorios, respiración rápida y superficial, o movimiento paradójico de la pared abdominal, ^{7,22} especialmente cuando el paciente está en decúbito;^{4,23} esto se debe al comportamiento "pasivo" del diafragma durante la inspiración. Cuando el diafragma está paralizado, la inspiración se obtiene gracias a la contracción de los músculos intercostales externos y de los músculos accesorios

(esternocleidomastoideos, escalenos), que expandirán la caja torácica y generarán una presión negativa intratorácica. Esta presión "arrastrará" el diafragma y las vísceras abdominales hacia el tórax, lo que generará una presión abdominal negativa y, por tanto, una disminución de la pared abdominal anterior²³. La mayoría de los pacientes con afectación diafragmática presentan trastornos del sueño e hipoventilación significativa, especialmente durante el sueño REM, con sus síntomas relacionados^{24,25}.

Diagnóstico

La sospecha de disfunción diafragmática puede surgir a partir del estudio de una disnea inexplicable o, en ocasiones, tras el hallazgo casual de una elevación diafragmática en una prueba de imagen realizada con otro fin. Sea como fuere, el diagnóstico suele basarse en pruebas de imagen¹. En la evaluación de los pacientes con sospecha de disfunción diafragmática se utilizan diversas técnicas de imagen estáticas y dinámicas⁸. Las técnicas de imagen estáticas se utilizan para evaluar la posición, la forma y las dimensiones del diafragma e incluyen la radiografía de tórax, la ecografía en escala de grises (modo B) , la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM) estática. Las técnicas de imagen dinámicas se utilizan para evaluar el movimiento del diafragma en una o más direcciones. Este grupo de técnicas de imagen incluye la fluoroscopia, la ultrasonografía en modo "de movimiento" (modo M) y la RM dinámica²⁶.

La radiografía de tórax es una prueba sencilla y eficaz para evaluar el parénquima pulmonar en busca de otras posibles causas de disnea²⁷. Su sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y negativo para el diagnóstico de parálisis diafragmática unilateral son del 90%, 44%, 33% y 93%, respectivamente²⁸. La cúpula del hemidiafragma normal suele proyectarse sobre la 5ª o 6ª costilla anteriormente y sobre la 10ª costilla posteriormente, estando la cúpula del hemidiafragma izquierdo un interespacio por debajo de la derecha. Si la altura del hemidiafragma izquierdo es similar a la del derecho, se sospecha una parálisis del hemidiafragma izquierdo¹⁰.

Fluoroscopia

La fluoroscopia ha sido el estándar de oro para el diagnóstico de la parálisis diafragmática²⁹. Es una prueba que permite visualizar el diafragma de forma continua a lo largo del ciclo respiratorio normal y durante la realización de maniobras inspiratorias forzadas. Es una técnica fácil de utilizar e interpretar y con una buena fiabilidad inter observador³⁰. Sin embargo, en algunos pacientes con debilidad diafragmática bilateral, los hallazgos de la fluoroscopia pueden ser malinterpretados, ya que algunos pacientes en bipedestación pueden adoptar un patrón respiratorio inusual para compensar su falta de movilidad^{4,21}, el diafragma desciende debido al retroceso hacia fuera de la pared abdominal; este movimiento puede ser malinterpretado como una contracción normal del diafragma²⁶. Esta situación puede evitarse si el paciente está en decúbito, por lo que algunos autores recomiendan que la fluoroscopia se realice en esta posición. Por lo tanto, la fluoroscopia es una prueba útil para el diagnóstico de la parálisis hemidiafragmática unilateral. Por el contrario, la fluoroscopia no es tan útil para la disfunción bilateral, ya que los hallazgos pueden ser malinterpretados. Debe ser realizada con el paciente en posición vertical (frontal y lateral) o en decúbito por un radiólogo experto¹.

Ecografía diafragmática

Es una prueba no invasiva, portátil, rápida de realizar, sencilla y bien tolerada, con una relación lineal entre el movimiento diafragmático y el volumen inspirado, que permite la evaluación cuantitativa y cualitativa del movimiento diafragmático³¹. Por ello, se ha sugerido la ecografía como técnica de elección para evaluar el movimiento diafragmático ante la sospecha de mal funcionamiento³². La ecografía ha demostrado ser útil para la detección de la disfunción diafragmática³³ con una alta sensibilidad (93%) y especificidad (100%) para la enfermedad neuromuscular diafragmática. El modo B de la ecografía puede mostrar el diafragma como una línea ecogénica gruesa¹⁰. El modo M se ha utilizado para mostrar el movimiento del diafragma paralizado y puede mostrar ausencia de movimiento o un movimiento paradójico con respiración tranquila, inhalación voluntaria o respiración profunda³⁴.

La visualización del hemidiafragma mediante ecografía se consigue desde un abordaje anterior, con el paciente en decúbito supino realizando diferentes maniobras respiratorias (respiración tranquila, profunda y olfateo). Para medir el grosor del diafragma, los operadores colocan la sonda de ultrasonidos longitudinalmente paralela al eje largo del cuerpo, normalmente entre el octavo y el décimo espacio intercostal, en la línea axilar anterior o a medio camino entre las líneas axilar anterior y media. El seno costofrénico se identifica como la transición entre el pulmón y el hígado (derecha) o entre el pulmón y el bazo (izquierda). La zona de aposición, donde el diafragma se opone a la caja torácica, se sitúa caudal al seno costofrénico. Para identificar el diafragma, se pide a los sujetos que inspiren mientras los operadores seleccionan el modo B para la obtención de imágenes. Cuando el pulmón se interpone entre el transductor y el diafragma, crea un artefacto brillante hiperecoico ("curtain sign" o "signo de la cortina pulmonar") que oblitera la imagen del músculo³⁵⁻³⁸.

El engrosamiento del diafragma (Tdi) indica un acortamiento del diafragma. Su ausencia durante la inspiración confirma una parálisis diafragmática. Si hay atrofia muscular, el grosor disminuye y el diafragma no se contrae durante la inspiración.^{39,40} El límite inferior del grosor diafragmático normal en reposo (al final de una espiración no forzada) en la mayoría de los pacientes es de 1,5 mm¹⁸. Los dos índices habitualmente utilizados para el diagnóstico de parálisis diafragmática incluyen un valor de Tdi <2 mm y un valor de fracción de engrosamiento del diafragma (TFdi) <20% [TFdi: (grosor al final de la inspiración - grosor al final de la espiración)/grosor al final de la espiración (en %)].⁴⁰ el límite inferior normal permitido para TFdi es 20%. El límite inferior normal aceptado para el TFdi es del 20%. El movimiento normal del diafragma durante la inspiración es caudal, por lo que la línea correspondiente al diafragma (línea ecogénica situada entre el hígado o el bazo y el pulmón) se desplaza hacia abajo (acercándose al transductor), precedida de una pausa. La parálisis diafragmática muestra una ausencia de movimiento caudal del diafragma durante la inspiración normal, o un movimiento paradójico del diafragma durante la prueba del olfato y ocasionalmente con la inspiración profunda^{8,29,41}. La debilidad diafragmática se determina cuando hay una disminución de la amplitud del movimiento durante la inspiración profunda con o sin movimiento paradójico durante la maniobra de olfateo¹.

Tratamiento

El tratamiento de la parálisis diafragmática depende principalmente de su causa y de la sintomatología del paciente. En general, los pacientes con afectación unilateral asintomática no requieren tratamiento. Inicialmente, deben tratarse todos los factores asociados, como la obesidad, las enfermedades respiratorias o cardíacas crónicas, que podrían influir y aumentar los síntomas de la parálisis. Existen tratamientos específicos cuando la etiología de la parálisis es conocida y potencialmente reversible, como en los procesos infecciosos, metabólicos, endocrinológicos (como la diabetes o el hipotiroidismo) o el lupus eritematoso sistémico (síndrome del pulmón encogido). También hay que tener en cuenta que las parálisis de causa idiopática, como la neuralgia amiotrófica, pueden resolverse espontáneamente¹. La plicatura diafragmática quirúrgica es el principal tratamiento de corrección quirúrgica disponible para controlar la disnea en pacientes con parálisis diafragmática. Consiste en plegar el diafragma paralizado de forma que quede inmovilizado en posición de máxima inspiración, aliviando así la compresión del parénquima pulmonar y permitiendo la reexpansión pulmonar. Está indicada fundamentalmente en pacientes sintomáticos con disfunción diafragmática unilateral que, basándose en pruebas clínicas, radiológicas y funcionales, no se ha resuelto tras un periodo de observación de 6-12 meses y, por tanto, se considera permanente e irreversible. La plicatura también se ha realizado con éxito en algunos pacientes con afectación bilateral^{42,43}. La reparación del nervio frénico mediante microcirugía es un abordaje quirúrgico que incluye modalidades como la descompresión local, la transposición o la interposición de un injerto nervioso, puede estar indicada en pacientes con afectación frénica unilateral de origen principalmente iatrogénico o traumático que no hayan mostrado mejoría clínica o radiológica en un periodo de tiempo razonable. Es necesario demostrar previamente la continuidad del nervio y la viabilidad de la placa neuromuscular mediante estudios de conducción de la PN y electromiografía¹⁸. Se puede colocar un marcapasos diafragmático en pacientes con alteración de la movilidad bilateral del diafragma que desean retrasar el inicio de la ventilación, tanto invasiva como no invasiva, o que la han iniciado pero no desean continuarla o no la toleraban. Los pacientes con

insuficiencia respiratoria aguda pueden necesitar intubación y ventilación mecánica, que puede prolongarse en el tiempo como consecuencia de la parálisis de los músculos respiratorios¹.

Pronóstico

En general, el pronóstico de la parálisis diafragmática unilateral es bueno⁴⁴. En la mayoría de los casos, los pacientes pueden permanecer asintomáticos, mientras que los pacientes sintomáticos suelen tener cierta resolución con el tiempo, incluso sin tratamiento. El pronóstico es peor para los pacientes con compromiso cardiopulmonar subyacente o si hay una exacerbación de una enfermedad subyacente. El pronóstico también es peor si la causa de la parálisis es una enfermedad con alta morbilidad o mortalidad².

2. JUSTIFICACIÓN

La parálisis diafragmática es una afección se caracteriza por la parálisis o debilidad del músculo diafragma, el cual es fundamental para la respiración⁴⁵. En consecuencia, se trata de una condición médica que puede tener consecuencias significativas para la función respiratoria y la calidad de vida de los pacientes. Detectar y diagnosticar de manera precisa la parálisis diafragmática es esencial para proporcionar un tratamiento adecuado y mejorar la calidad de vida de los pacientes afectados.

En este contexto, las técnicas de diagnóstico desempeñan un papel crucial.

Dos de los instrumentos más empleados para este propósito son la fluoroscopia y el ultrasonido. La presente investigación tiene como objetivo determinar y comparar la sensibilidad y especificidad de estas dos técnicas en la detección de la parálisis diafragmática.

La parálisis diafragmática puede ser causada por diversas condiciones médicas, como lesiones traumáticas, neuropatías, enfermedades neuromusculares y cirugía torácica⁴⁶. Su diagnóstico temprano y preciso es fundamental para guiar el tratamiento y prevenir complicaciones graves, como la insuficiencia respiratoria. En este sentido, tanto la fluoroscopia como el ultrasonido son herramientas de diagnóstico comunes

utilizadas para evaluar la función diafragmática. Sin embargo, la literatura médica muestra que existe una falta de consenso en cuanto a cuál de estas técnicas ofrece un mejor rendimiento en términos de sensibilidad y especificidad en la detección de la parálisis diafragmática^{40,47-50}. La elección de la técnica diagnóstica más adecuada para la parálisis diafragmática tiene importantes implicaciones clínicas y económicas. La detección temprana y precisa de esta afección puede evitar procedimientos invasivos innecesarios, reducir la carga económica en el sistema de salud y mejorar la calidad de vida de los pacientes al permitir una intervención oportuna y efectiva. Hasta la fecha, no existe una revisión sistemática integral que aborde esta cuestión de manera completa y exhaustiva. La literatura médica actual presenta estudios individuales que informan resultados variados, lo que refleja la falta de un consenso claro sobre cuál de estas dos técnicas es superior en términos de sensibilidad y especificidad.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la sensibilidad y especificidad del ultrasonido y la fluoroscopia en el diagnóstico de la parálisis diafragmática en pacientes adultos?

4. HIPOTESIS

Existen diferencias en la sensibilidad y especificidad entre el ultrasonido y la fluoroscopia en el diagnóstico de la parálisis diafragmática en pacientes adultos.

5. OBJETIVOS

Determinar y comparar la sensibilidad y especificidad diagnóstica del ultrasonido y la fluoroscopia en el diagnóstico de parálisis diafragmática.

6. METODOLOGÍA

Posterior al análisis de la pregunta de investigación (Tabla 1) se identificaron las siguientes palabras clave: Parálisis Diafragmática, Fluoroscopia, Ultrasonografía y Sensibilidad; previa consulta de su definición, traducción y sinónimos (Tabla 2) en los Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS) de la Biblioteca Virtual en Salud (BVS) y en los Medical Subject Headings (MeSH) de la National Library of Medicine (NIH).

La revisión incluyó ensayos clínicos controlados, estudios de cohorte, estudios transversales y series de casos que evaluaron el uso del ultrasonido y/o la fluoroscopia para el diagnóstico de parálisis diafragmática en adultos. Estos diseños resultaron apropiados para evaluar las características operativas (sensibilidad y especificidad) de las pruebas diagnósticas.

Se excluyeron revisiones sistemáticas, metaanálisis previos, estudios de opinión, cartas al editor y estudios en animales para mantener el enfoque en evidencia directa y aplicable a la práctica clínica.

Se consideraron estudios que describieron el uso del ultrasonido diafragmático y la fluoroscopia como herramientas diagnósticas para identificar parálisis diafragmática. Las técnicas específicas, parámetros de imagen y criterios diagnósticos utilizados fueron claramente descritos.

Incluyeron tanto estudios que utilizaron estas modalidades de imagen como única evaluación como aquellos que las compararon o las usaron en combinación con otras pruebas diagnósticas establecidas.

Los estudios incluyeron pacientes adultos diagnosticados con sospecha clínica o confirmación previa de parálisis diafragmática.

Se consideraron estudios realizados en poblaciones con diversas etiologías de parálisis diafragmática, incluyendo causas postquirúrgicas, traumáticas, neuropáticas, o idiopáticas. Esto permitió evaluar la aplicabilidad y generalización de los resultados a diferentes subgrupos clínicos.

Los desenlaces primarios de interés fueron la sensibilidad y especificidad del ultrasonido y la fluoroscopia para el diagnóstico de parálisis diafragmática, comparadas con un estándar de oro diagnóstico establecido, si estuvo disponible. Los desenlaces secundarios incluyeron tasas de falsos positivos y falsos negativos, valores predictivos positivo y negativo, y el área bajo la curva (AUC) de la característica operativa del receptor (ROC). Además, se evaluaron aspectos relacionados con la seguridad, la facilidad de uso, y la accesibilidad de las técnicas diagnósticas.

Tabla 1 estructura pregunta PICO

Paciente	Intervención	Comparación	Resultado
Pacientes adultos con sospecha de parálisis diafragmática	Ultrasonido	Fluoroscopia	Capacidad diagnóstica de parálisis diafragmática

Tabla 2 Descripción palabras claves

PALABRA CLAVE	DECS	SINÓNIMOS	MESH	SYNONYMS	DEFINITION
Parálisis diafragmática	Parálisis diafragmática	<ul style="list-style-type: none"> • Parálisis Respiratoria • Parálisis, Músculo Respiratorio • Parálisis Muscular Respiratoria • Parálisis Diafragmática • Parálisis diafragmática 	Diaphragmatic paralysis	<ul style="list-style-type: none"> • Paralysis, Respiratory • Paralysis, Respiratory Muscle • Muscle Paralysis, Respiratory • Muscle Paralysis, Respiratory • Muscle Paralysis, Respiratory • Respiratory Muscle Paralysis • Diaphragmatic Paralysis • Paralysis, Diaphragmatic 	Complete or severe weakness of the muscles of respiration. This condition may be associated with motor Neuron diseases; Peripheral nerve Diseases; Neuromuscular Junction diseases; Spinal cord Diseases; injury to the Phrenic nerve; and Other disorders.
Fluoroscopia	Fluoroscopia	<ul style="list-style-type: none"> • Fluoroscopías 	Fluoroscopy	• Fluoroscopies	Production of an image when x-rays strike a fluorescent screen.
Ultrasonografía	Ultrasonografía	<ul style="list-style-type: none"> • Ecografía diagnóstica • Ultrasonidos Diagnósticos 	Ultrasonography	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnostic Ultrasound • Diagnostic Ultrasounds 	The visualization of deep structures of the body by

Sensitivity and Specificity

	<ul style="list-style-type: none"> • Ultrasonidos, Diagnóstico • Ultrasonidos, Diagnóstico • Ultrasonidos • Imágenes, Ultrasonido • Imágenes, Ultrasonido • Ecotomografía • Ultrasonidos • Ultrasonidos • Sonografía, Médica • Ecografía Médica • Ultrasonografía • Imaginología, Ultrasonográfica • Imágenes Ultrasonográficas • Imágenes Ultrasonográficas • Ecografía • Diagnóstico, Ultrasonidos • Diagnóstico por ultrasonidos • Diagnóstico ultrasónico • Diagnóstico Ultrasonico • Ecotomografía, Ordenador • Ecotomografía Computerizada • Tomografía ultrasónica • Tomografía Ultrasónica 		<ul style="list-style-type: none"> • Ultrasound, Diagnostic • Ultrasounds, Diagnostic • Ultrasound Imaging • Imaging, Ultrasound • Imagings, Ultrasound • Echotomography • Ultrasonic Imaging • Imaging, Ultrasonic • Sonography, Medical • Medical Sonography • Ultrasonographic Imaging • Imaging, Ultrasonographic • Imagings, Ultrasonographic • Ultrasonographic Imagings • Echography • Diagnosis, Ultrasonic • Diagnoses, Ultrasonic • Ultrasonic Diagnoses • Ultrasonic Diagnosis • Echotomography, Computer • Computer Echotomography • Tomography, Ultrasonic • Ultrasonic Tomography 	<p>recording the reflections or echoes of ultrasonic pulses directed into the tissues. Use of ultrasound for imaging or diagnostic purposes employs frequencies ranging from 1.6 to 10 megahertz.</p>
<p>Sensibilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especificidad y sensibilidad • Sensibilidad • Especificidad 	<p>Sensitivity and Specificity</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Specificity and Sensitivity • Sensitivity • Specificity 	<p>Binary classification measures to assess test results. Sensitivity or recall rate is the proportion of true positives. Specificity is the probability of correctly determining the absence of a condition.</p>

Estrategia de búsqueda avanzada PubMed

Fluoroscopia

((("Diaphragmatic paralysis"[Mesh] "Diaphragmatic paraly*" [tw] OR "Diaphragmatic pals*" [tw] OR "Diaphragmatic paraly*" [tiab] OR "Diaphragmatic pals*" [tiab]) OR ("Paralysis,Respiratory" [tiab] OR "Paralysis,Respiratory Muscle" [tiab] OR "Muscle Paralysis, Respiratory" [tiab] OR "Muscle Paralysis, Respiratory" [tiab] OR "Respiratory Muscle Paralysis" [tiab] OR "Diaphragmatic Paralysis" [tiab] OR "Paralysis, Diaphragmatic" [tiab]) OR ("Paralysis,Respiratory" [tw] OR "Paralysis,Respiratory Muscle" [tw] OR "Muscle Paralysis, Respiratory" [tw] OR "Muscle Paralysis, Respiratory" [tw] OR "Respiratory Muscle Paralysis" [tw] OR "Diaphragmatic Paralysis" [tw] OR "Paralysis, Diaphragmatic" [tw])) AND (("Fluoroscopy"[Mesh] OR "Fluoros*" [tiab] OR "Fluoros*" [tw] OR ("Fluoroscopies" [tiab]) OR ("Fluoroscopies" [tw])) AND (("Sensitivity and Specificity"[Mesh]) OR ("Specificity and Sensitivity" [tiab] OR "Sensit*" [tiab] OR "Specificit*" [tiab]) OR ("Specificity and Sensitivity" [tw] OR "Sensit*" [tw] OR "Specificit*" [tw]))

Ultrasonido

((("Diaphragmatic paralysis"[Mesh] "Diaphragmatic paraly*" [tw] OR "Diaphragmatic pals*" [tw] OR "Diaphragmatic paraly*" [tiab] OR "Diaphragmatic pals*" [tiab]) OR ("Paralysis,Respiratory" [tiab] OR "Paralysis,Respiratory Muscle" [tiab] OR "Muscle Paralysis, Respiratory" [tiab] OR "Muscle Paralysis, Respiratory" [tiab] OR "Respiratory Muscle Paralysis" [tiab] OR "Diaphragmatic Paralysis" [tiab] OR "Paralysis, Diaphragmatic" [tiab]) OR ("Paralysis,Respiratory" [tw] OR "Paralysis,Respiratory Muscle" [tw] OR "Muscle Paralysis, Respiratory" [tw] OR "Muscle Paralysis, Respiratory" [tw] OR "Respiratory Muscle Paralysis" [tw] OR "Diaphragmatic Paralysis" [tw] OR "Paralysis, Diaphragmatic" [tw])) AND (("Ultrasonography" [Mesh] OR "Ultrasonogr*" [tiab] OR "Ultrasonogr*" [tiab] OR "Ultrasonogr*" [tw] OR "Ultrasonogr*" [tw]) OR ("Diagnostic Ultrasound" [tiab] OR "Diagnostic Ultrasounds" [tiab] OR "Ultrasound, Diagnostic" [tiab] OR "Ultrasounds, Diagnostic" [tiab] OR "Ultrasound Imaging" [tiab] OR "Imaging, Ultrasound" [tiab] OR "Imagings, Ultrasound" [tiab] OR "Echotomography" [tiab] OR "Ultrasonic Imaging" [tiab] OR "Imaging, Ultrasonic" [tiab] OR "Sonography, Medical" [tiab] OR "Medical Sonography" [tiab] OR "Ultrasonographic Imaging" [tiab] OR "Imaging, Ultrasonographic" [tiab] OR "Imagings, Ultrasonographic" [tiab] OR "Ultrasonographic Imagings" [tiab] OR "Echography" [tiab] OR "Diagnosis, Ultrasonic" [tiab] OR "Diagnoses, Ultrasonic" [tiab] OR "Ultrasonic Diagnoses" [tiab] OR "Ultrasonic Diagnosis" [tiab] OR "Echotomography, Computer" [tiab] OR "Computer Echotomography" [tiab] OR "Tomography, Ultrasonic" [tiab] OR "Ultrasonic Tomography" [tiab]) OR ("Diagnostic Ultrasound" [tw] OR "Diagnostic Ultrasounds" [tw] OR "Ultrasound, Diagnostic" [tw] OR "Ultrasounds, Diagnostic" [tw] OR "Ultrasound Imaging" [tw] OR "Imaging, Ultrasound" [tw] OR "Imagings, Ultrasound" [tw] OR "Echotomography" [tw] OR "Ultrasonic Imaging" [tw] OR "Imaging, Ultrasonic" [tw] OR "Sonography, Medical" [tw] OR "Medical Sonography" [tw] OR "Ultrasonographic Imaging" [tw] OR "Imaging, Ultrasonographic" [tw] OR "Imagings, Ultrasonographic" [tw] OR "Ultrasonographic Imagings" [tw] OR "Echography" [tw] OR "Diagnosis, Ultrasonic" [tw] OR "Diagnoses, Ultrasonic" [tw] OR "Ultrasonic Diagnoses" [tw] OR "Ultrasonic Diagnosis" [tw] OR "Echotomography, Computer" [tw] OR "Computer Echotomography" [tw] OR "Tomography, Ultrasonic" [tw] OR "Ultrasonic Tomography" [tw])) AND (("Sensitivity and Specificity"[Mesh]) OR ("Specificity and Sensitivity" [tiab] OR "Sensit*" [tiab] OR "Specificit*" [tiab]) OR ("Specificity and Sensitivity" [tw] OR "Sensit*" [tw] OR "Specificit*" [tw]))

((("Diaphragmatic paralysis"[Mesh] "Diaphragmatic paraly*" [tw] OR "Diaphragmatic pals*" [tw] OR "Diaphragmatic paraly*" [tiab] OR "Diaphragmatic pals*" [tiab]) OR ("Paralysis,Respiratory" [tiab] OR "Paralysis,Respiratory Muscle" [tiab] OR "Muscle Paralyse, Respiratory" [tiab] OR "Muscle Paralysis, Respiratory" [tiab] OR "Respiratory Muscle Paralysis" [tiab] OR "Diaphragmatic Paralysis" [tiab] OR "Paralysis, Diaphragmatic" [tiab]) OR ("Paralysis,Respiratory" [tw] OR "Paralysis,Respiratory Muscle" [tw] OR "Muscle Paralyse, Respiratory" [tw] OR "Muscle Paralysis, Respiratory" [tw] OR "Respiratory Muscle Paralysis" [tw] OR "Diaphragmatic Paralysis" [tw] OR "Paralysis, Diaphragmatic" [tw])) AND ((("Fluoroscopy"[Mesh] OR "Fluoros*" [tiab] OR "Fluoros*" [tw] OR ("Fuoroscopies" [tiab]) OR ("Fuoroscopies" [tw])) AND ("Sensitivity and Specificity"[Mesh]) OR ("Specificity and Sensitivity" [tiab] OR "Sensit*" [tiab] OR "Specificit*" [tiab]) OR ("Specificity and Sensitivity" [tw] OR "Sensit*" [tw] OR "Specificit*" [tw])) AND ((("Ultrasonography" [Mesh] OR "Ultrasonogr*" [tiab] OR "Ultrasonogr*" [tiab] OR "Ultrasonogr*" [tw] OR "Ultrasonogr*" [tw]) OR ("Diagnostic Ultrasound" [tiab] OR "Diagnostic Ultrasounds" [tiab] OR "Ultrasound, Diagnostic" [tiab] OR "Ultrasounds, Diagnostic" [tiab] OR "Ultrasound Imaging" [tiab] OR "Imaging, Ultrasound" [tiab] OR "Imagings, Ultrasound" [tiab] OR "Echotomography" [tiab] OR "Ultrasonic Imaging" [tiab] OR "Imaging, Ultrasonic" [tiab] OR "Sonography, Medical" [tiab] OR "Medical Sonography" [tiab] OR "Ultrasonographic Imaging" [tiab] OR "Imaging, Ultrasonographic" [tiab] OR "Imagings, Ultrasonographic" [tiab] OR "Ultrasonographic Imagings" [tiab] OR "Echography" [tiab] OR "Diagnosis, Ultrasonic" [tiab] OR "Diagnoses, Ultrasonic" [tiab] OR "Ultrasonic Diagnoses" [tiab] OR "Ultrasonic Diagnosis" [tiab] OR "Echotomography, Computer" [tiab] OR "Computer Echotomography" [tiab] OR "Tomography, Ultrasonic" [tiab] OR "Ultrasonic Tomography" [tiab]) OR ((("Diagnostic Ultrasound" [tw] OR "Diagnostic Ultrasounds" [tw] OR "Ultrasound, Diagnostic" [tw] OR "Ultrasounds, Diagnostic" [tw] OR "Ultrasound Imaging" [tw] OR "Imaging, Ultrasound" [tw] OR "Imagings, Ultrasound" [tw] OR "Echotomography" [tw] OR "Ultrasonic Imaging" [tw] OR "Imaging, Ultrasonic" [tw] OR "Sonography, Medical" [tw] OR "Medical Sonography" [tw] OR "Ultrasonographic Imaging" [tw] OR "Imaging, Ultrasonographic" [tw] OR "Imagings, Ultrasonographic" [tw] OR "Ultrasonographic Imagings" [tw] OR "Echography" [tw] OR "Diagnosis, Ultrasonic" [tw] OR "Diagnoses, Ultrasonic" [tw] OR "Ultrasonic Diagnoses" [tw] OR "Ultrasonic Diagnosis" [tw] OR "Echotomography, Computer" [tw] OR "Computer Echotomography" [tw] OR "Tomography, Ultrasonic" [tw] OR "Ultrasonic Tomography" [tw])))

7. ANALISIS DE INFORMACIÓN

Análisis de calidad

La calidad de la información de los estudios incluidos se analizó mediante el uso de la herramienta QUADAS-2^{56,57}, la cual consta de 4 dominios que son evaluados respecto al sesgo presente en el estudio y al sesgo que pudiese inducir a la revisión sistemática. Los valores de sesgo posibles son “Alto”, “Bajo” y “No está claro”. La rubrica se muestra en el anexo 1.

Análisis cualitativo

Para la síntesis cualitativa, se extrajeron los datos de los estudios individuales dentro de un formato de excel de elaboración propia que incluía los datos del estudio, tamaño de muestra y los valores necesarios para la elaboración de las tablas 2x2. Se analizaron los estudios y se presentaron los resultados de los mismos de manera narrativa en síntesis global.

Análisis cuantitativo

Se realizó un modelo de metaanálisis bivariado de pruebas diagnósticas. Se calcularon los parámetros de sensibilidad, especificidad, tasa de falsos positivos, estimador de correlación de efectos aleatorios, así como el Diagnostic Odds Ratio, y los valores de likelihood ratio positivo y negativo. Se calculó el grado de heterogeneidad en los estudios conforme a la aproximación del modelo de Holling⁵⁸. Los resultados del análisis cuantitativo se muestran de forma gráfica en curvas HSROC ajustadas, así como en forest plot de sensibilidad y especificidad. El análisis estadístico se realizó mediante los programas R y Review Manager 5. El código del análisis estadístico se muestra en el anexo 2.

8. ÉTICA

Este protocolo de tesis fue sometido y aprobado en octubre de 2023 por el Comité de Investigación del Hospital Central “Dr. Ignacio Morones Prieto” con el número de registro 10-23.

Se expone que el presente estudio se trata de una revisión sistemática de artículos publicados en bases de datos de divulgación científica, para posterior análisis estadístico de sus resultados por lo que no involucra intervenciones en pacientes y que se mantuvo estricta protección de los datos personales de los involucrados.

9. RESULTADOS

Se identificaron 300 estudios en PubMed MEDLINE, 1 estudio en BVS, 10 estudios en BASE, 201 estudios en Ovid y 165 estudios en Web of Science. Se realizó la búsqueda dentro de la base de datos CENTRAL, sin embargo, al ser una base de datos exclusiva de ensayos clínicos controlados aleatorizados o cuasi aleatorizados, no se identificó ningún estudio; se emplearon estrategias de búsqueda específicas y sensibles de acuerdo con lo recomendado por Spijnker⁵⁴ sin éxito. Previo al tamizaje se excluyeron 299 debido a presentarse como duplicados. Se evaluaron por título y abstract un total de 378 estudios de los cuales mediante los criterios de selección previamente descritos se excluyeron 360 estudios restando un total de 18 estudios seleccionados para recuperarse por texto completo. Los 360 estudios fueron excluidos debido a que 52 estudios seguían un diseño de reportes de caso, 158 estudios tenían un diseño experimental en el cual el ultrasonido fue utilizado como herramienta auxiliar terapéutica como el caso de la aplicación de anestesia regional, 36 estudios fueron publicaciones como revisiones sistemáticas o narrativas de temas relacionados, 74 estudios fueron realizados en pacientes pediátricos y 40 estudios fueron hechos en pacientes con la patología objetivo pero no incluían análisis de ninguna prueba diagnóstica. Posterior a la recuperación por texto completo se excluyeron 5 estudios por haber sido realizados en muestras de pacientes con edades “mixtas” (pediátricos y adultos), así como 1 estudio excluido por tener un objetivo que no se relacionaba con el objetivo de la revisión sistemática. Del mismo modo se realizó la búsqueda de estudios mediante otros medios (recuperación de referencias) identificando 12 estudios de potencial utilidad para la revisión sistemática. Posterior a la recuperación del texto completo se eliminaron 4 estudios por incluir poblaciones mixtas y 2 estudios por emplear la prueba diagnóstica como un auxiliar en intervención. Finalmente se incluyeron 12 estudios recuperados por bases de datos convencionales y 6 estudios recuperados por búsqueda manual. Únicamente se incluyeron 11 estudios en el metaanálisis, el resto se describen dentro de la síntesis cualitativa. El flujograma se puede observar en la figura 1.

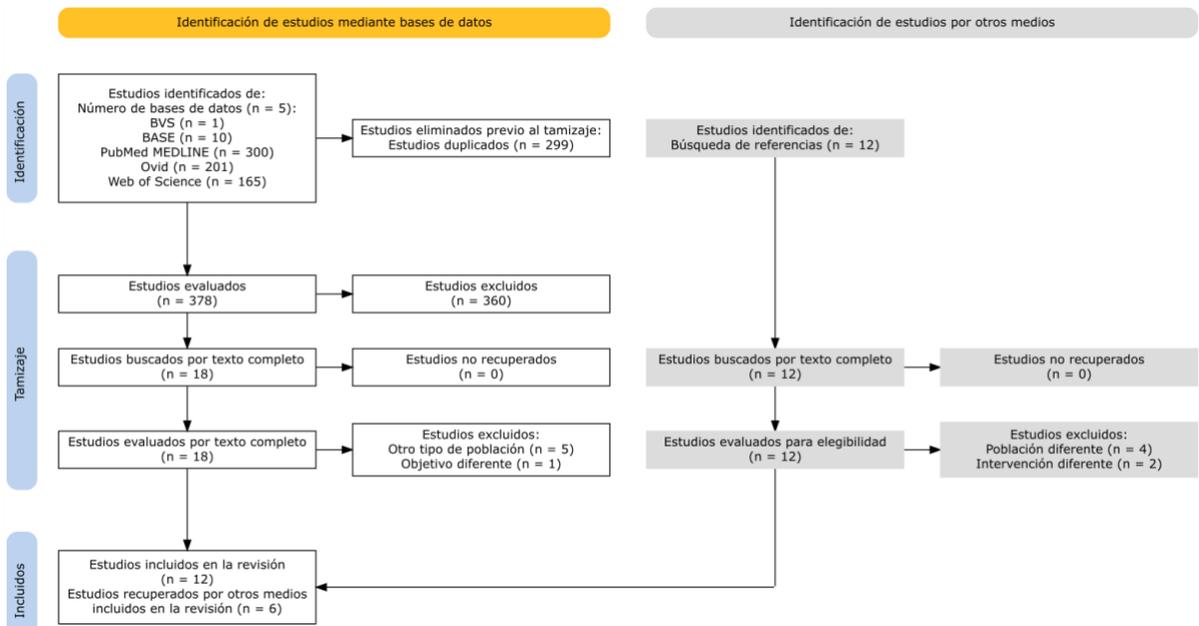


Figura 1 Diagrama de flujo PRISMA

Resultados de las evaluaciones

La evaluación de riesgo de sesgos mediante la herramienta QUADAS-2⁵⁶, mostró un alto riesgo de sesgo en cerca del 30% de los estudios, bajo en el 50% y el restante se marcó como incierto en el dominio de selección de pacientes. Para el dominio que evalúa la aplicación de la prueba diagnóstica aproximadamente 60% de los estudios presentaron un riesgo alto, 25% riesgo bajo y el restante se marcó como incierto. El dominio que evalúa el estándar de referencia y el cegamiento presentó un alto riesgo de sesgo en aproximadamente 45% de los estudios, bajo en el 40% y el restante se marcó como incierto. Finalmente para el dominio que evalúa el riesgo de sesgo en el flujo de los participantes, el 45% de los estudios presentaron un riesgo de sesgo alto, 50% se marcó como bajo riesgo y el restante 5% se marcó como incierto.

La herramienta QUADAS-2⁵⁶, también evalúa el riesgo de problemas de la aplicabilidad de los resultados de los estudios dentro de la revisión sistemática. El dominio de selección de pacientes presentó predominantemente bajo riesgo de problemas de aplicabilidad hasta en un 75%, sin embargo, para los dominios que

evalúan la aplicabilidad de la prueba diagnóstica y del estándar de referencia presentaron predominantemente riesgo alto con porcentajes de 50% y 55% respectivamente.

Analizando los estudios de manera individual podemos observar cómo los estudios que presentaron mayor riesgo de sesgo fueron los realizados por Ayoub, Diament, Gottesman, Houston, Mc Cauley y Siddiqui; siendo los mismos estudios los que presentaron mayores problemas en la aplicabilidad de sus resultados dentro de la revisión sistemática⁵⁹⁻⁶⁴. La representación gráfica de lo descrito anteriormente se puede observar en las figuras 2 y 3.

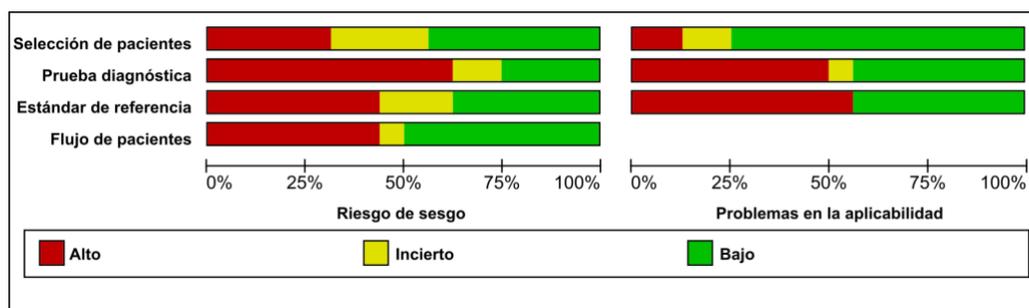


Figura 2 Resumen del promedio de evaluaciones QUADAS-2

	Riesgo de sesgo				Problemas en la aplicabilidad		
	Selección de pacientes	Prueba diagnóstica	Estándar de referencia	Flujo de pacientes	Selección de pacientes	Prueba diagnóstica	Estándar de referencia
Ayoub, 1997	?	-	-	-	?	+	-
Baz, 2020	+	+	+	+	+	+	+
Bih, 2004	?	?	+	+	+	+	+
Boon, 2014	?	+	+	-	+	+	+
Catala Ripoll, 2020	+	-	-	-	+	-	-
Diament, 1985	-	-	-	-	-	-	-
Doffner R, 1998	+	?	+	+	+	+	+
Gottesman E, 1997	+	-	-	-	+	-	-
Houston, 1995	?	-	?	-	+	?	+
Koo P, 2017	+	-	-	?	+	-	-
Lerolle, 2009	-	-	?	+	+	+	-
Lloyd T, 2006	+	-	-	+	+	-	-
Mc Cauley, 1984	-	-	?	-	-	-	-
Merino-Ramirez, 2006	+	+	+	+	+	+	+
Siddiqui, 2020	-	-	-	+	?	-	+
Verhey, 2007	-	+	+	+	+	-	-

Alto	Incierto	Bajo

Figura 3 Resultados individuales de evaluación QUADAS-2

Resultados síntesis cualitativa

Los estudios incluidos tuvieron como objetivo principalmente comparar o determinar la capacidad diagnóstica del ultrasonido frente a otro método de diagnóstico. 10 estudios emplearon el ultrasonido como prueba diagnóstica mientras que únicamente uno de los estudios empleó la fluoroscopia como prueba diagnóstica. De los estudios que emplearon al ultrasonido como prueba diagnóstica, se emplearon diferentes pruebas

de referencia; 4 emplearon como referencia el uso de radiografías, 2 emplearon la fluoroscopia, 1 de los estudios empleó la tomografía axial computarizada como estándar de referencia, 1 empleó el "Gilbert index", 1 empleó la estimulación del nervio frénico, mientras que uno de los estudios empleó múltiples pruebas de referencia (clínica, conducción del nervio frénico, electromiografía y fluoroscopia), además de otro estudio el cual no hace referencia a su estándar de referencia.

Debido a la ausencia de datos útiles para realizar un análisis agrupado, los hallazgos de los estudios de Ayoub, Gottesman, Koo, McCauley y Verhey se narran de forma individual^{59,61,63,65,66}.

El estudio realizado por Ayoub et al. (1997), se propuso evaluar la cinética diafragmática acoplada con la espirometría mediante el uso comparativo de ultrasonido hemidiafragmático cuantitativo y fluoroscopia para determinar si existían diferencias entre ambas técnicas y cuál resultaría más adecuada en la investigación del desplazamiento hemidiafragmático cuantitativo. Se seleccionaron seis pacientes (tres mujeres y tres hombres, con edades comprendidas entre 29 y 40 años) sin enfermedades respiratorias, durante una exploración sistemática mediante radiografía de tórax, espirometría y ultrasonido abdominal⁵⁹.

El estudio destacó que la amplitud del movimiento del diafragma derecho pudo medirse en todos los pacientes tanto con ultrasonido en modo M como con fluoroscopia. Se encontró una correlación significativa entre la amplitud máxima del movimiento diafragmático medida por ultrasonido en modo M (5.8 ± 0.4 cm; $r = 0.89$; $p = 0.019$) o fluoroscopia (5.6 ± 0.7 cm; $r = 0.84$; $p = 0.036$) y la capacidad inspiratoria (2.73 ± 0.39 l). El ultrasonido en modo M demostró tener ventajas técnicas, cuantitativas y cualitativas sobre la fluoroscopia y, por lo tanto, se sugirió como el método de elección en la investigación de trastornos del movimiento diafragmático. Cuando se combina con otras técnicas como la espirometría, esta técnica podría representar un complemento útil para los estudios funcionales respiratorios⁵⁹.

La conclusión principal de los investigadores fue que ultrasonido en modo M, debido a sus ventajas en términos de no invasividad, precisión cuantitativa y capacidad para

proporcionar una evaluación cualitativa detallada del movimiento diafragmático, debería ser preferida sobre la fluoroscopia en la evaluación de trastornos del movimiento diafragmático⁵⁹.

El estudio realizado por Gottesman y McCool (1997) se centró en la evaluación del diafragma paralizado mediante ultrasonido, particularmente en la medición del grosor del diafragma en la zona de apoyo del diafragma a la caja torácica. El objetivo era determinar si la ultrasonografía podía distinguir entre un diafragma paralizado y uno funcional normalmente. El estudio incluyó a treinta sujetos, divididos en cinco con parálisis diafragmática bilateral, siete con parálisis diafragmática unilateral, tres con debilidad inspiratoria pero con diafragmas funcionalmente normales, y quince sujetos control saludables⁶¹.

Se utilizaron ultrasonidos con un transductor de 7.5 a 10.0 MHz colocado sobre la caja torácica inferior en la línea axilar media para medir el grosor del diafragma. En pacientes con parálisis unilateral, los valores de grosor y engrosamiento del diafragma paralizado fueron significativamente menores que aquellos del hemidiafragma funcionando normalmente. Los pacientes con parálisis diafragmática bilateral mostraron valores significativamente menores en comparación con los voluntarios saludables. Estos resultados confirmaron la hipótesis de que un diafragma crónicamente paralizado está atrófico y no engrosa durante la inspiración⁶¹.

Los investigadores concluyeron que las mediciones de ultrasonido del grosor del diafragma y del engrosamiento del diafragma durante la inspiración pueden utilizarse para determinar si un diafragma está paralizado. Este estudio subraya la utilidad de la ultrasonografía diafragmática como una técnica menos invasiva e independiente del esfuerzo para evaluar el rendimiento del diafragma, ofreciendo una alternativa a las técnicas más invasivas y dependientes del esfuerzo máximo voluntario. La ultrasonografía del diafragma proporciona una herramienta diagnóstica valiosa para la distinción entre diafragmas paralizados y funcionales, basándose en la atrofia y la falta de engrosamiento durante la inspiración como indicadores de parálisis⁶¹.

El estudio realizado por Koo et al. (2017) se centró en investigar métodos alternativos para el tamiz de la disfunción diafragmática (DD) en pacientes con disnea inexplicada, explorando específicamente el uso de la relación entre la presión espiratoria máxima (PEM) y la presión inspiratoria máxima (PIM), así como la capacidad vital en posición supina (CV-supina %), como pruebas de tamiz. El estudio se llevó a cabo en 76 pacientes referidos para la evaluación de disnea inexplicada y posible DD, determinada finalmente mediante ultrasonido del diafragma, y se compararon estas pruebas con el funcionamiento normal del diafragma, parálisis diafragmática unilateral (PDU) y parálisis diafragmática bilateral (PDB)⁶⁵.

Los resultados mostraron que la relación PEM/PIM fue significativamente mayor en los pacientes con PDU en comparación con aquellos con función diafragmática normal y fue aún mayor en pacientes con PDB en comparación con PDU. La relación PEM/PIM demostró tener una fuerte correlación con el porcentaje de cambio en la capacidad vital desde la posición sentada hasta la supina (CV-supina %), sugiriendo que PEM/PIM podría ser un indicador efectivo de DD⁶⁵.

La principal conclusión del estudio fue que la relación PEM/PIM proporciona un método con sensibilidad y especificidad comparables a CV-supina % que puede usarse para cribar pacientes con sospecha de neuropatía frénica aislada, eliminando la necesidad de medir la función pulmonar en posición supina. Este hallazgo es significativo porque algunos pacientes con disnea severa pueden no tolerar la posición supina requerida para la medición de CV-supina %. Además, la medición de la PEM y PIM son pruebas que se realizan rutinariamente en posición sentada durante las pruebas de función pulmonar, lo que hace que la relación PEM/PIM sea una alternativa práctica y eficaz para el tamizaje de DD. Los investigadores propusieron que PEM/PIM, junto con CV-supina %, podría servir como una herramienta valiosa para el tamizaje preliminar de la disfunción diafragmática en pacientes con disnea inexplicada, facilitando una derivación más oportuna para una evaluación diagnóstica y manejo adicional⁶⁵.

El estudio realizado por McCauley y Labib en 1984 se centró en la evaluación de la parálisis diafragmática mediante la estimulación del nervio frénico durante la fluoroscopia o el ultrasonido en tiempo real. El objetivo principal era mejorar la

precisión en la evaluación funcional del diafragma, particularmente en pacientes que no podían cooperar debido a estar en ventilación mecánica, inconscientes o debido a sedación. La metodología incluyó la estimulación del nervio frénico aplicando un impulso eléctrico en el cuello mientras se observaba el movimiento del diafragma mediante fluoroscopia o ultrasonido en tiempo real, permitiendo una evaluación funcional más precisa que la fluoroscopia o el ultrasonido solos⁶³.

Se estudiaron diez pacientes con parálisis diafragmática, secundaria a cirugía cardíaca o torácica en seis casos, fractura de la columna cervical en dos, y mielitis en dos. La estimulación del nervio frénico reveló movimiento diafragmático adecuado en algunos casos donde otros métodos habían diagnosticado parálisis, cambiando el pronóstico y el tratamiento en algunos pacientes⁶³.

Los autores concluyeron que la combinación de la estimulación del nervio frénico con fluoroscopia o ultrasonido proporciona información útil adicional a los estudios convencionales, permitiendo una evaluación funcional más precisa del diafragma. Esta técnica es especialmente valiosa en situaciones donde otros métodos son limitados y en casos donde es crucial determinar la función diafragmática para la toma de decisiones clínicas⁶³.

El estudio realizado por Verhey et al. (2007) abordó la distinción entre la parálisis y la eventración diafragmática a través de radiografías de tórax. El objetivo principal fue evaluar cualitativa y cuantitativamente la utilidad de la radiografía de tórax convencional para determinar la presencia o ausencia de parálisis diafragmática en pacientes con elevación del diafragma. Se realizó un análisis retrospectivo de las radiografías de tórax de 32 pacientes que se sometieron a la prueba de esfuerzo fluoroscópico por elevación del diafragma. La función diafragmática se clasificó como "paralizada" o "no paralizada" basándose en la apariencia y forma de la elevación del hemidiafragma en las radiografías posteroanterior y lateral. Además, se determinó la posición y forma del diafragma utilizando mediciones relacionadas con estructuras esqueléticas y el radio de curvatura, respectivamente. Estos resultados se correlacionaron con los de las pruebas de esfuerzo fluoroscópicas⁶⁶.

De los 32 pacientes con diafragma elevado en la radiografía de tórax, 17 tenían parálisis diafragmática confirmada con la prueba de esfuerzo fluoroscópica. Los resultados indicaron que el radio de curvatura o forma del diafragma en la radiografía lateral de tórax es el factor más importante para detectar la presencia o ausencia de parálisis diafragmática. Un valor de la relación de la medida de elevación del hemidiafragma/diámetro anteroposterior (EH/DAP) ≤ 0.28 sugiere la presencia de parálisis con sensibilidad de 88% y especificidad de 53%⁶⁶.

Los investigadores concluyeron que la radiografía de tórax convencional parece ser una modalidad útil para la evaluación del estado funcional de un diafragma elevado. Basándose en sus resultados, la evaluación de la forma de un diafragma elevado podría excluir la necesidad de una prueba de esfuerzo fluoroscópica para determinar la parálisis diafragmática⁶⁶.

Resultados de la síntesis cuantitativa

El análisis cuantitativo incluyó un total de 513 participantes dentro de los 10 estudios que evaluaban al ultrasonido como prueba diagnóstica; 195 presentaron la patología estudiada mientras que los restantes 318 pacientes se clasificaron como sanos mediante el Gold standard. Se encontró una prevalencia global de la enfermedad de un 38% en la población agrupada de los estudios, ya que en total se identificaron 170 falsos positivos, 25 falsos negativos, 50 falsos positivos y 268 verdaderos negativos. La sensibilidad del ultrasonido fue variable a través de los estudios siendo la menor de un 47% [IC⁹⁵ 21-73%] en el estudio de Merino Ramirez⁶⁷, mientras que los estudios con mayor sensibilidad fueron los realizados por Diamant, Doffner, Bih, y Lerolle con valores de hasta 100%^{60,68-70}. En cuanto a la especificidad, los estudios mostraron valores con un grado de heterogeneidad visual alto, mismo que se puede observar gráficamente. Los estudios con el valor de especificidad fueron aquellos realizados por Lloyd y Siddiqui, con especificidad de 40% ambos^{50,64}, mientras que los estudios con mayor especificidad fueron los realizados por Dorffner, Bih, y Boon con valores de 100%^{33,68,69}.

Para la prueba diagnóstica de fluoroscopia, únicamente fue posible extraer datos de un estudio, mismo que reportó una sensibilidad del 100% [IC⁹⁵ 75-100%] y una especificidad de 62% [IC⁹⁵ 32-86%]⁶².

Los resultados anteriormente se representan como forest plot en la figura 4.

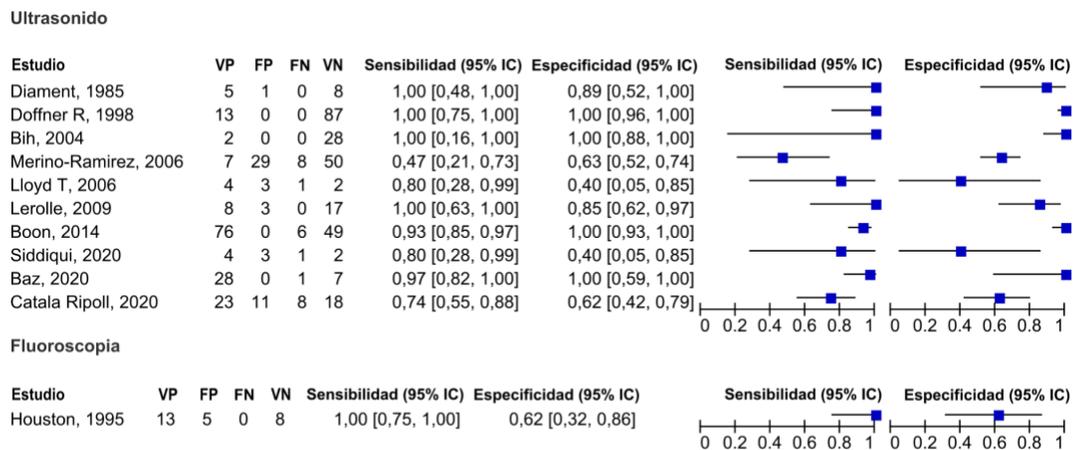


Figura 4 Forest plot sensibilidad y especificidad del ultrasonido y la fluoroscopia

Además, se realizó un modelado de efectos aleatorios para un metaanálisis bivariado, en el cual se determinó los valores estadísticos de pruebas diagnósticas globales. El modelo global mostró una sensibilidad global de 88.7% [IC⁹⁵ 73.5-95.7%], una especificidad de 93.6 [IC⁹⁵ 71.4-95.7%], un odds ratio diagnóstico (DOR) de 114.403 [IC⁹⁵ 9.301, 1407.164], un valor de likelihood ratio positivo (LRP) de 13.79 [IC⁹⁵ 2.473, 76.895], likelihood ratio negativo (LRN) de 0.121 [IC⁹⁵ 0.045, 0.326], y un área bajo la curva global de 0.658.

El análisis de la heterogeneidad mediante el modelo de Holling⁷¹ se obtuvo un valor de I² de 69 a 85.2%, es decir, un alto grado de heterogeneidad entre los estudios, mismo que se puede observar en el resultado del índice de correlación de efectos aleatorios de 0.950.

Finalmente, se construyó una curva HSROC con los datos de los estudios que emplearon el ultrasonido como prueba diagnóstica^{33,50,60,64,67-70,72,73}, en el cual se puede observar cómo 3 de los estudios se encuentran fuera del agrupamiento del resto de los estudios, mostrando sensibilidades de 47, 74 y 80%, así como especificidades de 63, 62 y 40%; estos estudios corresponden a los realizados por Merino Ramirez, Català Ripoli y Siddiqui respectivamente^{64,67,73}. Además, la región de confianza se mostró amplia con una variabilidad.

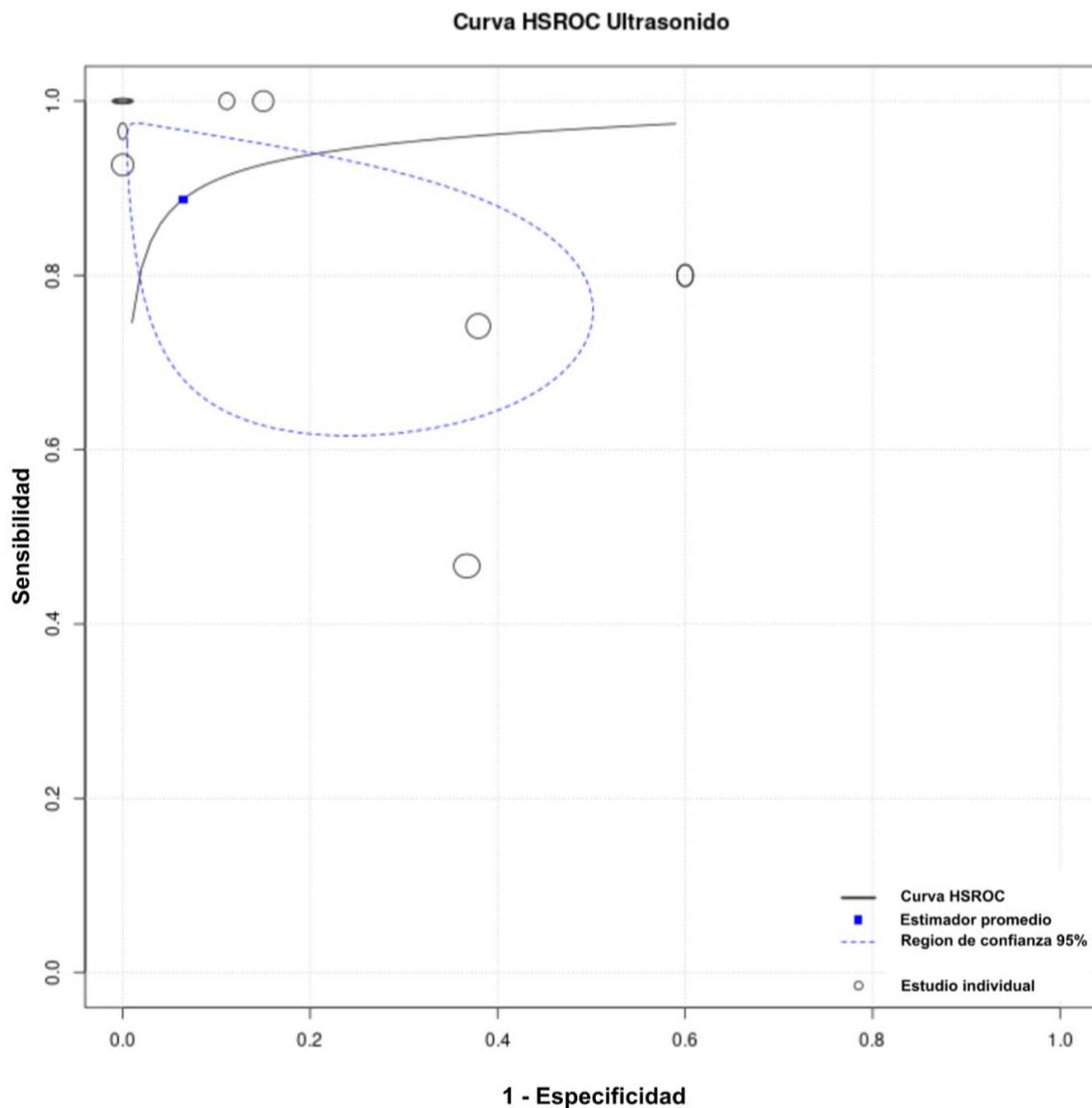


Figura 5 Curva HSROC rendimiento diagnóstico del ultrasonido

Finalmente, con fines exploratorios, se graficó la curva sROC del estudio que empleó la fluoroscopia como prueba diagnóstica junto con la curva generada por los estudios que emplearon ultrasonido. Gráficamente la curva de la fluoroscopia muestra menor precisión en comparación con la del ultrasonido, sin embargo, debido a que esta es generada únicamente por un estudio, no es posible realizar inferencias sobre este resultado.

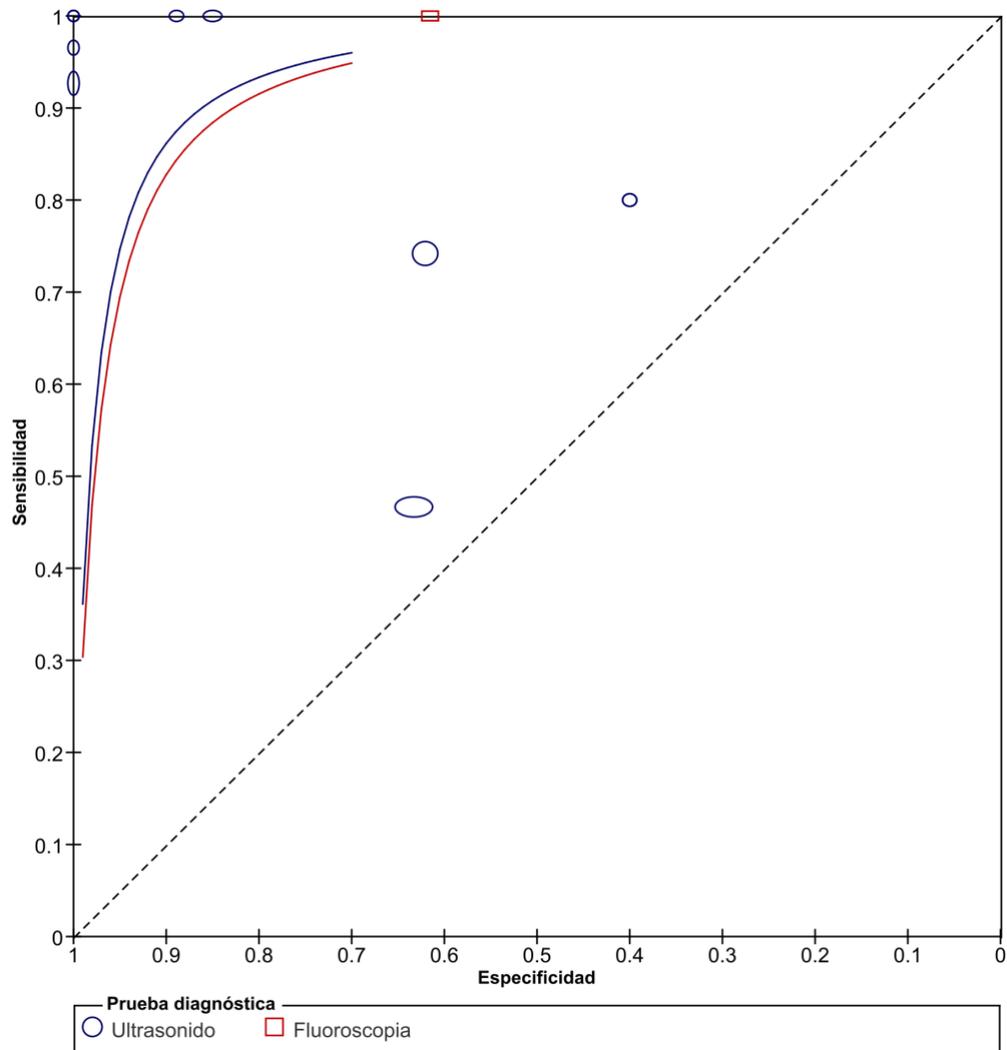


Figura 6 Curva sROC de rendimiento diagnóstico del ultrasonido y la fluoroscopia

Desviaciones en el protocolo propuesto

El protocolo inicial se planeó como un metaanálisis mediante el cual se compararía el desempeño diagnóstico del ultrasonido frente a la fluoroscopia, sin embargo, el número de estudios que probaban este parámetro en la fluoroscopia fueron escasos. Se encontraron 2 estudios con estas características, sin embargo, únicamente 1 de los estudios proveía la información necesaria, ya que el otro estudio solo reportó la correlación entre el diagnóstico de los diferentes métodos de diagnóstico y no los valores de los estimadores requeridos (Sensibilidad y especificidad) o los valores necesarios para calcular estos estimadores (Verdaderos positivos, verdaderos negativos, falsos positivos, falsos negativos).

10. DISCUSION

La presente revisión sistemática tuvo como objetivo determinar y comparar la precisión diagnóstica del ultrasonido y la fluoroscopia en el diagnóstico de parálisis diafragmática, esto, mediante técnicas estadísticas como el metaanálisis de pruebas diagnósticas. Sin embargo, debido a la limitada cantidad de evidencia que evaluara a la fluoroscopia como una prueba diagnóstica, esto no fue posible.

Pese a esto, fue posible determinar los estimadores diagnósticos del ultrasonido para la patología estudiada, estimadores que muestran al menos una sensibilidad y especificidad (entre otros estimadores diagnósticos) equiparable a la de la fluoroscopia para el diagnóstico de esta patología.

Dentro de este mismo ámbito, el ultrasonido ofreció ventajas sobre la fluoroscopia, tales como la accesibilidad, la poca invasividad y la precisión diagnóstica, esto sin prescindir de los valores de sensibilidad y especificidad apropiados.

Cabe destacar, que de los resultados obtenidos, tres estudios mostraron al ultrasonido como una herramienta poco efectiva, sin embargo, al analizar los estudios de manera individual se puede inferir que tal aseveración se debe al hecho de que los estudios optaron por un gold standard diferente del resto de los estudios incluidos; el estudio de Merino et al⁶⁷, puede ser de gran interés ya que empleó la técnica de estimulación del nervio frénico como gold standard, por lo que podría abrir el debate de si en realidad la fluoroscopia presenta la suficiente capacidad diagnóstica similar a la de esta última técnica para poder ser empleada como gold standard.

Durante la evaluación de sesgos de los estudios, cualitativamente fue posible observar un riesgo de sesgos más alto de lo esperado, ya que los estudios no presentaron características tales como el cegamiento de los evaluadores y la definición de los puntos de corte (aspecto que será detallado más adelante) tanto de la prueba diagnóstica que se planeaba evaluar, como de la prueba diagnóstica que se empleó como gold standard, por lo que en general, los estudios se pueden considerar con un grado cuestionable de calidad.

Dentro del apartado analítico, los resultados obtenidos, concuerdan con lo esperado, ya que pese a no haber sido posible comparar el rendimiento entre las dos técnicas, el ultrasonido mostró ser de utilidad en el diagnóstico de la parálisis diafragmática a la par de la fluoroscopia, lo cual lo pudimos ver en los estimadores diagnósticos obtenidos (sensibilidad, especificidad, DOR, LRP y LRN), por lo que se puede sugerir el uso de ultrasonido como una prueba útil en el diagnóstico de parálisis diafragmática.

11. LIMITACIONES Y/O NUEVAS PERSPECTIVAS DE INVESTIGACION

Limitaciones

Dentro de las limitantes de la revisión sistemática se encuentra principalmente la escasa información que pusiera a prueba a la fluoroscopia como una prueba diagnóstica útil para la parálisis diafragmática, ya que, en general los estudios y la información disponible muestra a esta técnica como el Gold standard, sin embargo, no se cuenta con estudios con diseños específicos que demuestren la utilidad diagnóstica de esta prueba para esta patología.

Otra de las limitantes encontradas fue la heterogeneidad de las técnicas ultrasonográficas empleadas para el diagnóstico, ya que no fue estandarizada a través de los estudios recuperados; siendo más notorio en la definición de puntos de corte, mismo que fue un limitante en el momento del análisis estadístico de los datos, pero fue posible disminuir el error mediante la jerarquización del análisis, es decir, el resultado obtenido pudiera representar de una forma menos exacta el resultado real, pero brindando más seguridad de que los resultados son más generalizables independientemente del punto de corte empleado.

Implicaciones para la investigación

Dada la escasa información que avale a la fluoroscopia, es necesario el desarrollo de estudios de pruebas diagnósticas fase II C o III que pongan a prueba el desempeño de la fluoroscopia frente a pruebas más específicas como la estimulación del nervio frénico, así como la estandarización o la búsqueda de un punto de corte o clasificación mediante el ultrasonido para el diagnóstico de la parálisis diafragmática.

12. CONCLUSIONES.

El uso de ultrasonido es útil para el diagnóstico de la parálisis diafragmática con rendimiento similar a la fluoroscopia.

Los valores de corte para el diagnóstico de parálisis diafragmática mediante ultrasonidos son muy heterogéneos, sin embargo la sensibilidad del ultrasonido se mantiene alta.

No se cuenta con estudios con el diseño adecuado para validar el uso de la fluoroscopia como un verdadero Gold standard.

Es necesario el desarrollo de estudios con elementos estandarizados tales como puntos de corte y estándares de referencia.

CONFLICTO DE INTERESES

El autor de esta tesis no reporta ningún conflicto de interés.

Esta revisión sistemática no tuvo ningún financiamiento.

13. BIBLIOGRAFIA.

1. Ricoy J, Rodríguez-Núñez N, Álvarez-Dobaño JM, Toubes ME, Riveiro V, Valdés L. Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonology*. 1 de julio de 2019;25(4):223-35.
2. O'Toole SM, Kramer J. Unilateral Diaphragmatic Paralysis. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [citado 5 de enero de 2024]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557388/>
3. Pickering M, Jones JFX. The diaphragm: two physiological muscles in one. *J Anat*. octubre de 2002;201(4):305-12.
4. Gibson GJ. Diaphragmatic paresis: pathophysiology, clinical features, and investigation. *Thorax*. noviembre de 1989;44(11):960-70.
5. Downey R. Anatomy of the normal diaphragm. *Thorac Surg Clin*. mayo de 2011;21(2):273-9, ix.
6. Laghi F, Tobin MJ. Disorders of the Respiratory Muscles. *Am J Respir Crit Care Med*. julio de 2003;168(1):10-48.
7. McCool FD, Tzelepis GE. Dysfunction of the diaphragm. *N Engl J Med*. 8 de marzo de 2012;366(10):932-42.
8. Nason LK, Walker CM, McNeeley MF, Burivong W, Fligner CL, Godwin JD. Imaging of the diaphragm: anatomy and function. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc*. 2012;32(2):E51-70.
9. Roberts HC. Imaging the diaphragm. *Thorac Surg Clin*. noviembre de 2009;19(4):431-50, v.
10. Kokatnur L, Vashisht R, Rudrappa M. Diaphragm Disorders. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [citado 6 de enero de 2024]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470172/>
11. Canbaz S, Turgut N, Halici U, Sunar H, Balci K, Duran E. Brachial plexus injury during open heart surgery--controlled prospective study. *Thorac Cardiovasc Surg*. octubre de 2005;53(5):295-9.
12. Díez Castillo E, Telletxea Benguria S, Intxaurreaga Fernández K, Esnaola Iriarte B. Unilateral diaphragmatic paralysis after laparoscopic cholecystectomy. *Rev Esp Anesthesiol Reanim*. 2019;66(6):342-5.

13. Carretero Gracia JA, Alvarez Alegret R, Peñalver Cuesta JC. [Chronic sclerosing mediastinitis: infrequent cause of unilateral diaphragmatic paralysis]. Arch Bronconeumol. 2000;36(7):417-9.
14. Cuvillon P, Le Sache F, Demattei C, Lidzborski L, Zoric L, Riou B, et al. Continuous interscalene brachial plexus nerve block prolongs unilateral diaphragmatic dysfunction. Anaesth Crit Care Pain Med. diciembre de 2016;35(6):383-90.
15. Renes SH, van Geffen GJ, Snoeren MM, Gielen MJ, Groen GJ. Ipsilateral brachial plexus block and hemidiaphragmatic paresis as adverse effect of a high thoracic paravertebral block. Reg Anesth Pain Med. 2011;36(2):198-201.
16. Ridyard JB, Stewart RM. Regional lung function in unilateral diaphragmatic paralysis. Thorax. agosto de 1976;31(4):438-42.
17. Clague HW, Hall DR. Effect of posture on lung volume: airway closure and gas exchange in hemidiaphragmatic paralysis. Thorax. agosto de 1979;34(4):523-6.
18. Kaufman MR, Elkwood AI, Colicchio AR, CeCe J, Jarrahy R, Willekes LJ, et al. Functional restoration of diaphragmatic paralysis: an evaluation of phrenic nerve reconstruction. Ann Thorac Surg. enero de 2014;97(1):260-6.
19. Haji K, Royse A, Green C, Botha J, Canty D, Royse C. Interpreting diaphragmatic movement with bedside imaging, review article. J Crit Care. agosto de 2016;34:56-65.
20. Steier J, Jolley CJ, Seymour J, Teschler H, Luo YM, Polkey MI, et al. Screening for sleep-disordered breathing in neuromuscular disease using a questionnaire for symptoms associated with diaphragm paralysis. Eur Respir J. febrero de 2011;37(2):400-5.
21. Billings ME, Aitken ML, Benditt JO. Bilateral diaphragm paralysis: a challenging diagnosis. Respir Care. octubre de 2008;53(10):1368-71.
22. Celli BR. Respiratory management of diaphragm paralysis. Semin Respir Crit Care Med. junio de 2002;23(3):275-81.
23. Ch'en IY, Armstrong JD. Value of fluoroscopy in patients with suspected bilateral hemidiaphragmatic paralysis. AJR Am J Roentgenol. enero de 1993;160(1):29-31.
24. Stradling JR, Warley AR. Bilateral diaphragm paralysis and sleep apnoea without diurnal respiratory failure. Thorax. enero de 1988;43(1):75-7.

25. Khan A, Morgenthaler TI, Ramar K. Sleep disordered breathing in isolated unilateral and bilateral diaphragmatic dysfunction. *J Clin Sleep Med JCSM Off Publ Am Acad Sleep Med*. 15 de mayo de 2014;10(5):509-15.
26. 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;21:85.
27. Dubé BP, Dres M. Diaphragm Dysfunction: Diagnostic Approaches and Management Strategies. *J Clin Med*. 5 de diciembre de 2016;5(12):113.
28. Chetta A, Rehman AK, Moxham J, Carr DH, Polkey MI. Chest radiography cannot predict diaphragm function. *Respir Med*. enero de 2005;99(1):39-44.
29. Lloyd T, Tang YM, Benson MD, King S. Diaphragmatic paralysis: the use of M mode ultrasound for diagnosis in adults. *Spinal Cord*. agosto de 2006;44(8):505-8.
30. Yi LC, Nascimento OA, Jardim JR. Reliability of an Analysis Method for Measuring Diaphragm Excursion by Means of Direct Visualization with Videofluoroscopy. *Arch Bronconeumol Engl Ed*. junio de 2011;47(6):310-4.
31. Houston JG, Angus RM, Cowan MD, McMillan NC, Thomson NC. Ultrasound assessment of normal hemidiaphragmatic movement: relation to inspiratory volume. *Thorax*. mayo de 1994;49(5):500-3.
32. Houston JG, Fleet M, Cowan MD, McMillan NC. Comparison of ultrasound with fluoroscopy in the assessment of suspected hemidiaphragmatic movement abnormality. *Clin Radiol*. febrero de 1995;50(2):95-8.
33. O'Gorman CM, O'brien TG, Boon AJ. Utility Of diaphragm ultrasound in myopathy. *Muscle Nerve*. marzo de 2017;55(3):427-9.
34. Boussuges A, Brégeon F, Blanc P, Gil JM, Poirette L. Characteristics of the paralysed diaphragm studied by M-mode ultrasonography. *Clin Physiol Funct Imaging*. marzo de 2019;39(2):143-9.
35. Goligher EC, Dres M, Fan E, Rubenfeld GD, Scales DC, Herridge MS, et al. Mechanical Ventilation-induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 de enero de 2018;197(2):204-13.

36. Zambon M, Beccaria P, Matsuno J, Gemma M, Frati E, Colombo S, et al. Mechanical Ventilation and Diaphragmatic Atrophy in Critically Ill Patients: An Ultrasound Study. *Crit Care Med.* julio de 2016;44(7):1347-52.
37. Sferrazza Papa GF, Pellegrino GM, Di Marco F, Imeri G, Brochard L, Goligher E, et al. A Review of the Ultrasound Assessment of Diaphragmatic Function in Clinical Practice. *Respir Int Rev Thorac Dis.* 2016;91(5):403-11.
38. Bachasson D, Dres M, Niérat MC, Gennisson JL, Hogrel JY, Doorduyn J, et al. Diaphragm shear modulus reflects transdiaphragmatic pressure during isovolumetric inspiratory efforts and ventilation against inspiratory loading. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1 de marzo de 2019;126(3):699-707.
39. Cohn D, Benditt JO, Eveloff S, McCool FD. Diaphragm thickening during inspiration. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. julio de 1997;83(1):291-6.
40. Gottesman E, McCool FD. Ultrasound evaluation of the paralyzed diaphragm. *Am J Respir Crit Care Med.* mayo de 1997;155(5):1570-4.
41. Sarwal A, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm. *Muscle Nerve.* marzo de 2013;47(3):319-29.
42. Freeman RK, Van Woerkom J, Vyverberg A, Ascoti AJ. Long-term follow-up of the functional and physiologic results of diaphragm plication in adults with unilateral diaphragm paralysis. *Ann Thorac Surg.* octubre de 2009;88(4):1112-7.
43. Ohta M, Ikeda N, Tanaka H, Matsumura A, Ohsumi H, Iuchi K. Satisfactory Results of Diaphragmatic Plication for Bilateral Phrenic Nerve Paralysis. *Ann Thorac Surg.* 1 de septiembre de 2007;84(3):1029-31.
44. Hirota R, Terashima Y, Ohnishi H, Yamashita T, Yokogawa N, Sasagawa T, et al. Prognostic Factors for Respiratory Dysfunction for Cervical Spinal Cord Injury and/or Cervical Fractures in Elderly Patients: A Multicenter Survey. *Glob Spine J.* enero de 2024;14(1):101-12.
45. McCool FD, Manzoor K, Minami T. Disorders of the Diaphragm. *Clin Chest Med.* 1 de junio de 2018;39(2):345-60.
46. Groth SS, Andrade RS. Diaphragm Plication for Eventration or Paralysis: A Review of the Literature. *Ann Thorac Surg.* 1 de junio de 2010;89(6):S2146-50.

47. 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.
48. Boussuges A, Brégeon F, Blanc P, Gil JM, Poirette L. Characteristics of the paralysed diaphragm studied by M-mode ultrasonography. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2019;39(2):143-9.
49. Gerscovich EO, Cronan M, McGahan JP, Jain K, Jones CD, McDonald C. Ultrasonographic evaluation of diaphragmatic motion. *J Ultrasound Med.* 2001;20(6):597-604.
50. Lloyd T, Tang YM, Benson MD, King S. Diaphragmatic paralysis: the use of M mode ultrasound for diagnosis in adults. *Spinal Cord.* 2006;44(8):505-8.
51. PRISMA-P Group, Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev.* diciembre de 2015;4(1):1.
52. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol Engl Ed.* septiembre de 2021;74(9):790-9.
53. Deeks JJ, Bossuyt P, Leeflang MM, Takwoingi Y, Cochrane Collaboration, editores. *Cochrane handbook for systematic reviews of diagnostic test accuracy.* Hoboken, NJ : [London]: Wiley-Blackwell ; The Cochrane Collaboration; 2023. 1 p.
54. Spijker R, Dinnes J, Glanville J, Eisinga A. Searching for and selecting studies. En: *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Diagnostic Test Accuracy* [Internet]. 2023 [citado 11 de febrero de 2024]. p. 97-129. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781119756194.ch6>
55. Higgins J, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, et al., editores. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. Second edition.* Hoboken, NJ Chichester: Wiley Blackwell; 2019. 694 p. (Cochrane book series).
56. Ciapponi A. QUADAS-2: instrumento para la evaluación de la calidad de estudios de precisión diagnóstica. *Evid Actual En Práctica Ambulatoria* [Internet]. 1 de abril de 2015 [citado 11 de febrero de 2024];18(1). Disponible en: <http://evidencia.org.ar/index.php/Evidencia/article/view/6341>

57. Reitsma JB, Rutjes AW, Whiting P, Yang B, Leeflang MM, Bossuyt PM, et al. Assessing risk of bias and applicability. En: Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Diagnostic Test Accuracy [Internet]. 2023 [citado 11 de febrero de 2024]. p. 169-201. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781119756194.ch8>
58. Holling H, Böhning W, Masoudi E, Böhning D, Sangnawakij P. Evaluation of a new version of I^2 with emphasis on diagnostic problems. *Commun Stat - Simul Comput.* 2 de abril de 2020;49(4):942-72.
59. Ayoub J, Metge L, Dauzat M, Lemerre C, Pourcelot L, Préfaut C. CINÉTIQUE DIAPHRAGMATIQUE COUPLÉE À LA SPIROMÉTRIE. *J Radiol.* 2020;
60. Diament MJ, Boechat MI, Kangaroo H. Real-time sector ultrasound in the evaluation of suspected abnormalities of diaphragmatic motion. *J Clin Ultrasound.* octubre de 1985;13(8):539-43.
61. Gottesman E, McCool FD. Ultrasound evaluation of the paralyzed diaphragm. *Am J Respir Crit Care Med.* mayo de 1997;155(5):1570-4.
62. Houston JG, Fleet M, Cowan MD, McMillan NC. Comparison of ultrasound with fluoroscopy in the Assessment of suspected hemidiaphragmatic movement abnormality. *Clin Radiol.* febrero de 1995;50(2):95-8.
63. McCauley RG, Labib KB. Diaphragmatic paralysis evaluated by phrenic nerve stimulation during fluoroscopy or real-time ultrasound. *Radiology.* octubre de 1984;153(1):33-6.
64. Siddiqui M, Nazir M, Awan M, Sharif M, Javed A, Khan M, et al. Diagnosis of Diaphragmatic Paralysis in adults by the use of M Mode Ultrasound. *Pak J Med Health Sci.* 2020;14(4):1537-9.
65. Koo P, Oyieng'o DO, Gartman EJ, Sethi JM, Eaton CB, McCool FD. The Maximal Expiratory-to-Inspiratory Pressure Ratio and Supine Vital Capacity as Screening Tests for Diaphragm Dysfunction. *Lung.* febrero de 2017;195(1):29-35.
66. Verhey PT, Gosselin MV, Primack SL, Kraemer AC. Differentiating diaphragmatic paralysis and eventration. *Acad Radiol.* 2007;14(4):420-5.
67. Merino-Ramirez M, Juan G, Ramón M, Cortijo J, Rubio E, Montero A, et al. Electrophysiologic evaluation of phrenic nerve and diaphragm function after coronary

bypass surgery:: Prospective study of diabetes and other risk factors. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2006;132(3):530-U16.

68. Dorffner R, Eibenberger K, Youssefzadeh S, Puig S, Liskutin J, Papousek A, et al. Wertigkeit der Sonographie auf der Intensivstation zur Diagnostik von Zwerchfellparenen. *RöFo - Fortschritte Auf Dem Geb Röntgenstrahlen Bildgeb Verfahr.* septiembre de 1998;169(09):274-7.

69. Bih LI, Wu YT, Tsai SJ, Tseng FF, Lin CY, Ding H. Comparison of ultrasonographic renal excursion to fluoroscopic diaphragmatic excursion for the assessment of diaphragmatic function in patients with high cervical cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* enero de 2004;85(1):65-9.

70. Lerolle N, Guérot E, Dimassi S, Zegdi R, Faisy C, Fagon JY, et al. Ultrasonographic Diagnostic Criterion for Severe Diaphragmatic Dysfunction After Cardiac Surgery. *Chest.* febrero de 2009;135(2):401-7.

71. Takwoingi Y, Dendukuri N, Schiller I, Rücker G, Jones HE, Partlett C, et al. Undertaking meta-analysis. En: *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Diagnostic Test Accuracy* [Internet]. 2023 [citado 11 de febrero de 2024]. p. 249-325. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781119756194.ch10>

72. Baz A, Aglan A, Mohammed S, Sabri Y. Diagnostic accuracy of the trans-abdominal ultrasound in the assessment of dysfunctional hemidiaphragm due to non-pulmonic etiology. *Egypt J Radiol Nucl Med.* 2020;51(1).

73. Catalá-Ripoll JV, Monsalve-Naharro JÁ, Hernández-Fernández F. Incidence and predictive factors of diaphragmatic dysfunction in acute stroke. *BMC Neurol.* 2020;20(1):79.

14. ANEXOS

ANEXO 1

Risk of bias and applicability judgments

The following table summarises QUADAS-2 and lists all signalling, risk of bias and applicability rating questions.

DOMAIN	PATIENT SELECTION	INDEX TEST	REFERENCE STANDARD	FLOW AND TIMING
Description	Describe methods of patient selection: Describe included patients (prior testing, presentation, intended use of index test and setting):	Describe the index test and how it was conducted and interpreted:	Describe the reference standard and how it was conducted and interpreted:	Describe any patients who did not receive the index test(s) and/or reference standard or who were excluded from the 2x2 table (refer to flow diagram): Describe the time interval and any interventions between index test(s) and reference standard:
Signalling questions(yes/no/unclear)	Was a consecutive or random sample of patients enrolled?	Were the index test results interpreted without knowledge of the results of the reference standard?	Is the reference standard likely to correctly classify the target condition?	Was there an appropriate interval between index test(s) and reference standard?
	Was a case-control design avoided?	If a threshold was used, was it pre-specified?	Were the reference standard results interpreted without knowledge of the results of the index test?	Did all patients receive a reference standard?
	Did the study avoid inappropriate exclusions?			Did all patients receive the same reference standard?
				Were all patients included in the analysis?
Risk of bias: High/low/unclear	Could the selection of patients have introduced bias?	Could the conduct or interpretation of the index test have introduced bias?	Could the reference standard, its conduct, or its interpretation have introduced bias?	Could the patient flow have introduced bias?
Concerns regarding applicability: High/low/unclear	Are there concerns that the included patients do not match the review question?	Are there concerns that the index test, its conduct, or interpretation differ from the review question?	Are there concerns that the target condition as defined by the reference standard does not match the review question?	

ANEXO 2. Script de análisis estadístico

```
title: "MADTA UsFlu"  
author: "Zenyazen"  
date: "`r Sys.Date()`"  
output: html_document
```

```
``{r, echo=FALSE}  
set.seed(140598)  
``  
# Cargado de librerías  
``{r}  
library(car)  
library(mada)  
library(meta)  
library(altmeta)  
``  
``{r}  
# Base de datos  
colnames(bd)<-c("Prueba", "names", "n", "cutoff", "TP", "FP", "FN", "TN")  
``  
# Estadística descriptiva  
``{r}  
EsDes<-madad(bd, correction.control = "single")  
EsDes  
``  
# Forest plot  
``{r}  
mada::forest(madad(bd, correction.control = "single"),  
             digits=1,  
             type = "sens",  
             snames=bd$names,  
             xlab="Sensibilidad",  
             main="Sensibilidad Ultrasonido",  
             polycol="blue")
```

```

mada::forest(madad(bd, correction.control = "single"),
             digits=1,
             type = "spec",
             snames=bd$names,
             xlab="Sensibilidad",
             main="Sensibilidad Ultrasonido",
             polycol="blue")
old.par<-par()
plot.new()
par(fig = c(0, 0.5, 0, 1), new = TRUE)
mada::forest(madad(bd, correction.control = "single"),
             digits=1,
             type = "sens",
             snames=bd$names,
             xlab="Sensibilidad",
             main="Sensibilidad Ultrasonido",
             polycol="blue")
par(fig = c(0.5, 1, 0, 1), new = TRUE)
mada::forest(madad(bd, correction.control = "single"),
             digits=1,
             type = "spec",
             snames=bd$names,
             xlab="Especificidad",
             main="Especificidad Ultrasonido",
             polycol="blue")
par(old.par)
...

# Modelo bivariado
``{r}
fit.reitsma<-reitsma(bd)
summary(fit.reitsma)
SummaryPts(fit.reitsma)
...

# Curva ROC
``{r}
plot(fit.reitsma, sroclwd = 2,
     main = "SROC curve (bivariate model)")
points(fpr(bd), sens(bd), pch = 2)

```

```

legend("bottomright", c("data", "summary estimate"), pch = c(2,1))
legend("bottomleft", c("SROC", "conf. region"), lwd = c(2,1))
...

---

# Modelo glmer
``{r
library(lme4)
...

# Modelo
``{r
X<-read.csv("")
X$n1<-X$TP+X$FN
X$n0<-X$FP+X$TN
X$true1<-X$TP
X$recordid <- 1:37
...

``{r}
out<-meta.dt(tp=TP, fp=FP, fn=FN, tn=TN, data = bd, method = "biv.glm")
print(out)

plot(out,roc=T, weight = T, eqline = T, overall = T, predict = T )
...

``{r}
bd$n1<-bd$TP+bd$FN
bd$n0<-bd$FP+bd$TN
bd$true1<-bd$TP
mdor<-meta::metabin(event.e=TP,
                    n.e=n1,
                    event.c=FP,
                    n.c=n0,
                    studlab=names,
                    sm = "DOR",
                    allstudies = T,
                    MH.exact=T,
                    data=bd)
...

```

ANEXO 3

CARTA APROBACION COMITÉ ACADEMICO DE LA ESPECIALIDAD

ANEXO 4

CARTA DE AUTORIZACIÓN POR EL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN