

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Evaluación volumétrica cardíaca por angiotomografía y
falla del ventrículo derecho en pacientes con embolia
pulmonar aguda: revisión sistemática de la literatura.**

DIEGO FERNANDO LÓPEZ DONATO

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina, Departamento de Radiología e Imágenes Diagnósticas

Bogotá, Colombia

2019

Evaluación volumétrica cardíaca por angiotomografía y falla del ventrículo derecho en pacientes con embolia pulmonar aguda: revisión sistemática de la literatura.

DIEGO FERNANDO LÓPEZ DONATO

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de: Especialista en Radiología e Imágenes Diagnósticas

Director:

Dr. Jorge Alberto Carillo Bayona

Asesor metodológico:

Dr. Luis Carlos Salazar

Línea de Investigación: Imagen Corporal.

Grupo de Investigación: Grupo de Investigación en Radiología e Imágenes Diagnósticas GRID.

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina, Departamento de Radiología e Imágenes Diagnósticas

Bogotá, Colombia

2019

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a mi familia: mis padres, hermanos y a mi compañera en esta travesía de la vida y las imágenes diagnósticas, Laura.

Agradecimientos

Agradecimiento al Doctor Jorge Alberto Carrillo por todos los conocimientos enseñados y la concepción de las imágenes del tórax que transmitió durante la residencia y la realización de este trabajo.

Al Doctor Luis Carlos Salazar, epidemiólogo y compañero de especialización, por el esfuerzo y la dedicación en la presente revisión.

Al departamento de Radiología e Imágenes Diagnósticas de la Universidad Nacional de Colombia por el acompañamiento y el apoyo en este trabajo.

Resumen

Introducción: La mortalidad del embolismo pulmonar agudo puede llegar hasta el 58% siendo la adaptación del corazón a la sobrecarga ventricular derecha el factor que determina la evolución clínica. El método diagnóstico de referencia de falla ventricular es la ecocardiografía, con las limitaciones de ser operador dependiente y la dificultad técnica para valorar las cavidades derechas. Se han evaluado varios hallazgos en las imágenes de tomografía convencional para determinar el compromiso hemodinámico sin embargo ninguna ha demostrado un adecuado rendimiento diagnóstico. Con el advenimiento de nuevas tecnologías tomográficas, tanto en la adquisición como en el postproceso, es posible realizar una valoración de los volúmenes cardíacos que se podrían extrapolar a los hallazgos ecocardiográficos. **Objetivo:** Revisar sistemáticamente la validez diagnóstica de los volúmenes cardíacos por angiotomografía en el diagnóstico de falla del ventrículo derecho. **Materiales y métodos:** se realizó una revisión sistemática sobre la validez de los parámetros volumétricos cardíacos calculados por angiotomografía comparados con los obtenidos con ecocardiograma como estándar de referencia para el diagnóstico de falla ventricular derecha. **Resultados:** se calculó para la relación vVD/vVI como criterio diagnóstico de falla ventricular derecha una sensibilidad combinada de 0.89% (0,76-0.95% IC) y especificidad de 87% (0,79-0,93% IC). **Conclusiones:** la evidencia actual apoya la utilización de los volúmenes cardíacos angiotomográficos como diagnóstico de falla ventricular derecha en pacientes con embolia pulmonar aguda con un buen rendimiento diagnóstico.

Palabras clave: Tomografía Computarizada por Rayos X, Embolia Pulmonar, Disfunción Ventricular Derecha, Ecocardiografía.

Abstract

Introduction: Acute pulmonary embolism has a mortality rate that reaches up to 58%, with heart adaptation mechanisms to right ventricular strain as the main factor determining outcomes. The gold standard for diagnosis of right ventricular failure is echocardiography, but it has some limitations as it is operator dependent and the technical difficulties of acquiring adequate images of the right cardiac chambers. There have been performed some trials testing conventional tomography (CT) as a diagnostic tool for determining hemodynamic alterations derived from this pathology, however none of them has demonstrated an acceptable diagnostic performance. Along with the advent of new CT technologies having better acquisition hardware and post-processing software, it has been possible to measure the cardiac chamber volumes to make appropriate comparisons with those obtained through echocardiography. **Objective:** to perform a systematic review of the diagnostic validity of cardiac chamber volume determined on ECG-gated heart CT for the diagnosis of right ventricular failure. **Materials and methods:** it was performed a systematic review on the validity of cardiac volumetric measurements calculated through ECG-gated heart CT as a diagnostic tool compared with those obtained through echocardiography as it is the reference standard in diagnosis of right ventricular failure, finding a combined sensitivity of 0.89 % (0.76-0.95; CI 95) and a specificity of 87% (9.79-9.93%; CI 95). **Conclusions:** actual scientific evidence supports the use of heart chamber volume measurements obtained through ECG-gated heart CT as a diagnostic tool in determining right ventricular failure on patients having an acute pulmonary embolism, with a good diagnostic performance.

Keywords: Tomography X-Ray Computed, Pulmonary Embolism, Ventricular Dysfunction Right, Echocardiography.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de abreviaturas	XV
Introducción	1
1. Antecedentes	1
1.1 Descripción de la enfermedad	1
1.2 Descripción de la intervención	4
1.2.1 Angiotomografía de tórax.....	4
1.2.2 Ecocardiograma	5
1.3 Por qué es importante esta revisión	5
2. Objetivos	7
2.1 Primario.....	7
2.2 Específicos.....	7
3. Metodología	8
3.1 Criterios de Selección de estudios.....	8
3.1.1 Tipos de estudios	8
3.1.2 Participantes	8
3.1.3 Tipo de intervenciones	8
3.1.4 Tipos de medidas de desenlace	8
3.2 Métodos de búsqueda	9
3.2.1 Búsquedas electrónicas	9
3.3 Extracción de datos y análisis.....	9
3.3.1 Selección de los estudios.....	9
3.3.2 Extracción de datos y manejo	9
3.3.3 Evaluación de la calidad metodológica	9
4. Resultados	10
4.1 Descripción de los estudios	10
4.1.1 Resultados de la búsqueda.....	10
4.2 Riesgos de sesgos de los estudios.....	11
4.2.1 Datos incompletos.....	12
4.3 Análisis.....	12

5. Discusión	16
6. Recomendaciones.....	18
A. Anexo. Términos de búsqueda.	19
B. Anexo. Formato de extracción de datos y evaluación de calidad.	21
C. Anexo. Formato de extracción de datos y evaluación de calidad.	25
7. Bibliografía.....	29

Lista de figuras

Figura 1: Abordaje diagnóstico por sospecha de EP aguda.....	3
Figura 2: Diagrama de flujo de selección de estudios	11
Figura 3: Forest plot. Sensibilidad y especificidad de la relación vVD/vVI en el diagnóstico de falla ventricular derecha.....	14
Figura 4: Curva ROC relación vVD/vVI para diagnóstico de FVD.	14

Lista de tablas

Tabla 1: Características de los estudios incluidos	12
Tabla 2: Rendimiento de la TC en el diagnóstico de FVD por estudio.....	13

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>EP</i>	Embolismo Pulmonar
<i>TC</i>	Tomografía Computada
<i>VD</i>	Ventrículo derecho
<i>VI</i>	Ventrículo izquierdo
<i>vVI</i>	Volumen ventrículo izquierdo
<i>vVD</i>	Volumen ventrículo derecho
<i>FVD</i>	Falla ventricular derecha
<i>VPN</i>	Valor predictivo negativo
<i>VPP</i>	Valor predictivo positivo

Introducción

1. Antecedentes

1.1 Descripción de la enfermedad

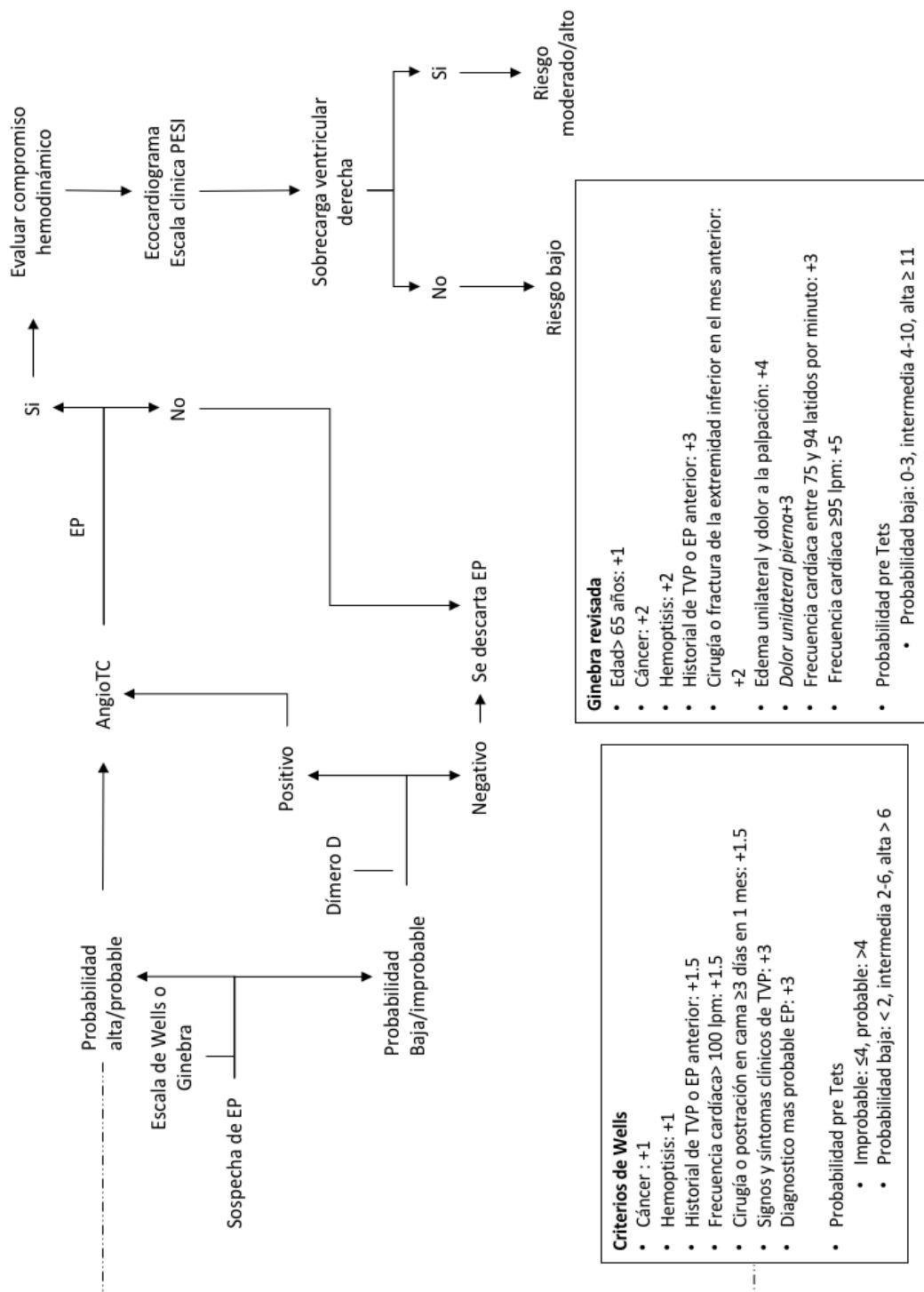
El embolismo pulmonar (EP) agudo se define como la obstrucción total o parcial de las arterias pulmonares por un émbolo proveniente de otra parte del cuerpo, generalmente secundario a trombosis venosa profunda de miembros inferiores(1). Su incidencia en la población general es de 2.6 por cada 1000 por año(2) y constituye una de las principales complicaciones en el ambiente hospitalario captando el interés del personal asistencial y adaptando estrategias para su prevención. En América del Norte reportan EP en el 0,4% de las admisiones hospitalarias con una carga económica de 15.5 millones de dólares anuales y cifras de mortalidad que llegan hasta el 58% (3). El cuadro clínico es inespecífico, con una amplia gama de diagnósticos diferenciales, lo que muchas veces retrasa el diagnóstico e inicio del tratamiento adecuado. Es por esto que el desarrollo de herramientas que permitan hacer diagnóstico, predecir la evolución y determinar el pronóstico son de gran importancia.

Las alteraciones hemodinámicas del embolismo pulmonar inician con el aumento de la resistencia vascular pulmonar, seguido del aumento de la postcarga, lo que lleva a la liberación de mediadores vasoactivos que aumentan la vasoconstricción local; esto eleva la presión arterial pulmonar con la consecuente dilatación del ventrículo derecho. La capacidad de adaptación del VD en personas sanas (sin hipertrofia) es limitada y la función

compromete hasta en el 25% de los casos (4). La hipertensión pulmonar, el aumento del espacio muerto pulmonar con hipoxemia secundaria, el incremento del trabajo ventricular y el acortamiento de la fase de perfusión miocárdica desencadenan falla ventricular derecha con hipoxemia del miocardio, inestabilidad hemodinámica y taquiarritmias responsables de la muerte (5).

El algoritmo diagnóstico en su etapa inicial se basa en la sintomatología y los factores de riesgo. Las escalas validadas como Wells y Ginebra clasifican en probabilidades baja (10%), intermedia (30%) y alta (65%) de EP según los síntomas, signos y factores de riesgo de cada paciente (4). En los casos de probabilidad baja o intermedia el dímero D negativo excluye el diagnóstico por su alto VPN (Figura 1). En los casos de probabilidad alta es necesario realizar el estándar de oro actual para su diagnóstico la angiotomografía computada de tórax con protocolo para embolismo pulmonar, cuya sensibilidad global es del 94.1%, con especificidad del 93%, VPP de 95.5% y VPN de 96.2%, logrando diagnóstico hasta en el 74% de las arterias pulmonares de sexto orden(1) (4).

Figura 1: Abordaje diagnóstico por sospecha de EP aguda



*Adaptado de (1) (4)

Los pacientes con EP agudo son clasificados según el compromiso hemodinámico en riesgo bajo, moderado o alto. La estrategia de manejo depende de esta clasificación, siendo el tratamiento en sala general o ambulatorio para los de bajo riesgo y en cuidado intermedio o intensivo para los de moderado y alto riesgo. Debido a esto es importante disponer de herramientas que permitan clasificar de forma precisa a estos pacientes y enfocar las estrategias que los beneficien.

1.2 Descripción de la intervención

1.2.1 Angiotomografía de tórax

La tomografía es el estudio de elección para el diagnóstico de EP, se han propuesto distintos parámetros para determinar el compromiso hemodinámico en estos pacientes mediante las imágenes axiales. Actualmente el parámetro mejor estudiado es la relación ventrículo derecho/ventrículo izquierdo (VD/VI).

Schoepf propuso valores de $(VD/VI) > 0.9$ como indicativo de sobrecarga ventricular y mal pronóstico a 30 días de seguimiento (6). Ibrahim Ilker Oz realizó un estudio con 79 pacientes encontrando en los pacientes con desenlace adverso a 30 días una relación (VD/VI) de 1.35, y en los que no tenían complicación una relación de 1.15, valores muy superiores a los propuestos con anterioridad, concluyendo que esta relación no fue estadísticamente significativa en predecir alteración hemodinámica, complicaciones y mortalidad (7). Jiménez en un estudio de 848 pacientes hemodinámicamente estables con diagnóstico de EP agudo encontró 533 sujetos con relación $VD/VI > 0.9$ como criterio tomográfico de FVD sin evidenciar nexo estadísticamente significativo con la mortalidad(8). Scheffel encontró en su estudio que había diferencia significativa en la especificidad de la relación VD/VI como factor pronóstico, siendo mejor predictor los valores adquiridos desde la tomografía con sincronización cardíaca (gatillada) (9). Aviram G en su estudio evaluó los volúmenes de las cavidades cardíacas como predictor de compromiso hemodinámico encontrando que un volumen auricular izquierdo menor a 62 ml se correlaciona con peor pronóstico, con la limitante de no ser un estudio gatillado.(10)

1.2.2 Ecocardiograma

El ecocardiograma es el estándar de oro no invasivo para la evaluación de las cámaras cardíacas y su función. Dentro de las ventajas que tiene este método diagnóstico se encuentra la ausencia de radiación ionizante y su carácter no invasivo. Los criterios ecocardiográficos de disfunción ventricular derecha adoptados por las guías de práctica clínica consisten en: hipokinesia de la pared libre del ventrículo derecho (S: 13%, E:97%), diámetro transverso del VD > 30 mm (S:37%, E:85%), relación VD/VI > 1.0, movimiento paradójico del septum interventricular (S:31%, E:94%), gradiente pico de insuficiencia tricúspidea > 30mmHg (S:43%, E:80%) y el desplazamiento sistólico del plano del anillo tricúspidea (TAPSE) como criterio de falla de VD, con punto de corte > 20 mm, (S:72%, E:66% (4) (11). Las desventajas incluyen que es una prueba operador dependiente, con gran dificultad en la valoración apropiada del ventrículo derecho por factores técnicos (p.e pobre ventana acústica) y la necesidad de un equipo médico entrenado (cardiólogo) para la adquisición de la imagen.

De todo lo anterior surge la pregunta sobre el rendimiento diagnóstico de los volúmenes cardíacos calculados en tomografía computada de tórax, en la determinación de compromiso hemodinámico en la fase aguda del embolismo pulmonar en comparación con la prueba de referencia actual, la ecocardiografía.

1.3 Por qué es importante esta revisión

Los eventos embólicos pulmonares en el ámbito ambulatorio y hospitalario ponen en riesgo la vida de los pacientes. Es importante la estratificación del compromiso hemodinámico con el fin de definir el manejo a instaurar que disminuya la mortalidad e incluso los costos en la atención en salud.

El ecocardiograma constituye el estándar de referencia no invasivo para conocer el estado hemodinámico de estos pacientes. Pese a su estandarización tiene desventajas por ser

dependiente del operador y estar limitado en muchas ocasiones por factores que influyen en la ventana acústica, sobre todo en la evaluación de las cavidades derechas.

Varios parámetros tomográficos se han utilizado en la predicción de falla ventricular y compromiso hemodinámico. Actualmente todas estas medidas están debatidas por resultados contradictorios en diferentes estudios dejando a la angiotomografía de tórax como el examen de elección en el diagnóstico de EP agudo pero sin un papel claro en establecer el compromiso hemodinámico de estos pacientes.

El impacto de la revisión radica en definir si la literatura actual apoya el uso de los volúmenes cardíacos calculados por angiotomografía de tórax en la determinación de falla ventricular derecha en pacientes con EP agudo en el momento del diagnóstico y poder predecir el compromiso hemodinámico sin estudios de ecocardiografía, con una reducción en tiempos de decisión clínica y costos.

2. Objetivos

2.1 Primario

Revisar sistemáticamente la validez diagnóstica de los volúmenes cardíacos por angiotomografía en el diagnóstico de falla del ventrículo derecho.

2.2 Específicos

- Comparar parámetros volumétricos cardíacos obtenidos por angiotomografía de tórax y por ecocardiografía de pacientes con EP agudo para diagnóstico de falla ventricular derecha.
- Determinar la validez diagnóstica de los parámetros volumétricos de los diferentes estudios mediante cálculo de sensibilidad y especificidad combinada.

3. Metodología

3.1 Criterios de Selección de estudios

3.1.1 Tipos de estudios

En esta revisión sistemática de pruebas diagnósticas, se incluyeron estudios de corte transversal de pacientes con EP en los cuales se realizó ecocardiograma, angiotomografía de tórax con protocolo para EP y calculo de los volúmenes cardíacos.

3.1.2 Participantes

Pacientes con EP agudo a los cuales se les calculó volúmenes cardíacos en angiotomografía y se les realizó ecocardiograma como prueba diagnóstica de falla ventricular derecha.

3.1.3 Tipo de intervenciones

- Prueba índice: angiotomografía de tórax con protocolo para EP,
- Estándar de referencia: ecocardiograma.

3.1.4 Tipos de medidas de desenlace

- Sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo, valor predictivo negativo para diagnóstico de falla ventricular derecha.

3.2 Métodos de búsqueda

3.2.1 Búsquedas electrónicas

Se realizó una búsqueda en las bases de datos MEDLINE, Embase y Cochrane Library usando una estrategia la cual utilizó términos MeSH, Emtree y texto libre, en idioma inglés. El intervalo de tiempo en MEDLINE fue de 1946 al 12 de julio de 2019, en Embase de 1969 a 19 de julio de 2019 y en Cochrane Library de 2005 al 10 de julio de 2019 (Anexo A)

3.3 Extracción de datos y análisis

3.3.1 Selección de los estudios

Dos revisores de manera independiente aplicaron los criterios de selección a los títulos y resúmenes identificados por la estrategia de búsqueda. En los casos en que la información no fue suficiente, se evaluaron los textos completos. Se incluyeron artículos en idioma inglés.

Los criterios de selección se basaron en estudios originales cuya población tuviera diagnóstico de EP agudo y se evaluara los parámetros volumétricos de las cámaras cardíacas para diagnóstico de falla ventricular derecha comparándolo con la ecocardiografía.

3.3.2 Extracción de datos y manejo

Se extrajo la información de los estudios seleccionados de acuerdo con el formato de recolección de datos (Anexo B y C). Se utilizó el programa STATA para el procesamiento de los datos.

3.3.3 Evaluación de la calidad metodológica

Se evaluó la calidad metodológica de los estudios incluidos usando la lista de chequeo Quadas-2 para el riesgo de sesgo y la aplicabilidad (Anexo B y C).

4. Resultados

4.1 Descripción de los estudios

4.1.1 Resultados de la búsqueda

Se obtuvieron 554 artículos de la estrategia de búsqueda en MEDLINE, 1938 en EMBASE y 33 en Cochrane para un total de 2525 artículos.

Se evaluaron los títulos y resúmenes siendo elegidos 3 artículos que cumplían los criterios de selección antes planteados. Se evaluaron en texto completo excluyendo 1 artículo que utilizaba la misma base de datos de pacientes de uno de los estudios seleccionados (Figura 2).

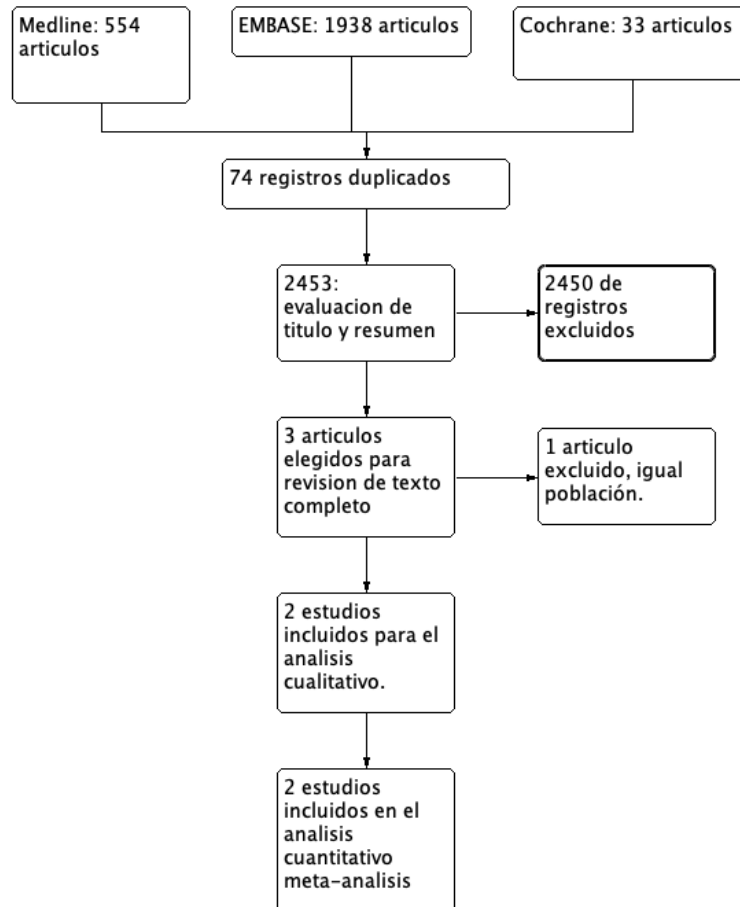


Figura 2: Diagrama de flujo de selección de estudios

4.2 Riesgos de sesgos de los estudios

Los estudios incluidos tienen riesgo de sesgo bajo ya que se realizó una muestra consecutiva de los pacientes con EP agudo. El análisis volumétrico de las tomografías se realizó por dos radiólogos expertos sin conocer los resultados del ecocardiograma tomado como prueba de referencia realizada por dos cardiólogos.

La TC se realizó con protocolo para embolismo pulmonar sin sincronización cardíaca, por lo tanto, no es posible determinar en que fase del ciclo cardíaco se adquirió la imagen. Esto puede alterar la prueba índice con respecto a la prueba de referencia que calcula los volúmenes y los criterios de falla ventricular en el fin de diástole. Este aspecto se plantea

como posible factor determinante en el punto de corte calculado en la relación vVD/vVI de los estudios evaluados.

4.2.1 Datos incompletos

El estudio de Apfalter et al (12) publica solo valores de sensibilidad y especificidad para diagnóstico de falla ventricular derecha.

Ninguno de los estudios incluidos suministra los valores de los volúmenes de cada una de las cámaras cardiacas en mililitros, los valores de las mediciones en ecocardiografía, las características y la distribución de los émbolos pulmonares, ni determina el compromiso o no del parénquima pulmonar.

4.3 Análisis

Se evaluaron los dos artículos seleccionados teniendo en cuenta los riesgos de sesgos, la metodología utilizada y los conflictos de interés. Se realizó un resumen de las dos publicaciones y se extrajeron los datos para realizar el metanálisis (Tabla 1 y 2).

Tabla 1: Características de los estudios incluidos

Autor	Nº con EP	Nº con FVD (%)	Genero	Edad (años)
Meyer et al	83	31 (37%)	45H, 38F	62 ± 13
Apfalter et al	50	45 (90%)	---	66±12.9

Meyer et. Al (13) publicó un estudio prospectivo de pruebas diagnósticas de una muestra consecutiva de pacientes con sospecha de EP aguda entre el 2008 al 2009, de los cuales 83 pacientes tuvieron diagnóstico de EP agudo. Las características demográficas fueron homogéneas, con un promedio de edad de 62 años y 45 del género masculino. A los pacientes con EP se les realizó el cálculo de los volúmenes cardiacos en las imágenes de TC y ecocardiograma con diferencia entre pruebas menor a 24 horas. El 37% (31 pacientes) resultaron con criterios ecocardiográficos de falla ventricular derecha. La interpretación de las imágenes tomográficas se realizó por parte de dos radiólogos con 11 y 4 años de experiencia; el ecocardiograma por dos cardiólogos de 15 y 7 años de

experiencia. Los evaluadores no conocían el resultado de la otra prueba ni el estado hemodinámico de los participantes que pudieran interferir en la interpretación de cada una. Realizaron métodos estadísticos logrando establecer la relación de vVD/vVI mayor o igual de 1.4 (determinado por una curva ROC) como punto de corte para diagnóstico de falla ventricular derecha. Los resultados arrojaron un rendimiento adecuado con sensibilidad del 90%, especificidad de 80%, VPP 82% y VPN 94% en el diagnóstico general de compromiso ventricular. Se realizaron dos categorías: compromiso moderado y severo, con puntos de corte vVD/vVI 1.18 y 1.72 con S: 62-75% y E: 98 -97% respectivamente.

Apfalter et al (12) en el 2012 publicó un estudio prospectivo en el cual se incluyeron 50 pacientes con embolismo pulmonar de una muestra consecutiva, a los cuales se les realizó las pruebas diagnósticas de TC y ecocardiograma con un intervalo menor a 24 horas. El 90% (45 pacientes) mostraron criterios ecocardiográficos de falla ventricular derecha. Los evaluadores no conocían el resultado de la otra prueba ni el estado hemodinámico de los participantes. Realizaron métodos estadísticos logrando establecer la relación de vVD/vVI mayor o igual de 1.3 (determinado por una curva ROC) como punto de corte para diagnóstico de falla ventricular derecha. Los resultados estadísticos mostraron una sensibilidad 87% y especificidad del 86%.

Tabla 2: Rendimiento de la TC en el diagnóstico de FVD por estudio.

Autor	vVD/vVI	Nº con FVD	S, CT FVD	E, CT FVD
Meyer et al	1.4	31	90%	88%
Apfalter et al	1.3	45	87%	86%

Nº: número de pacientes, vVD/vVI: relación volumen ventricular derecho/volumen ventricular izquierdo, FVD: falla ventricular derecha, S: sensibilidad, E: especificidad, CT: tomografía computada.

El estudio de Henzler et al (14) fue excluido al tratarse de un estudio previo de la misma población del estudio de Meyer et. Al (13). No se encontraron otros estudios relevantes para el análisis.

Se realizó el análisis de los datos cuantitativos (vVD/vVI) extraídos de los dos artículos obteniendo la gráfica Forest plot (Figura 3), con sensibilidad combinada de 89% (0,76-0.95% IC), especificidad de 87% (0,79-0,93% IC) para la relación vVD/vVI como criterio diagnóstico de falla ventricular derecha.

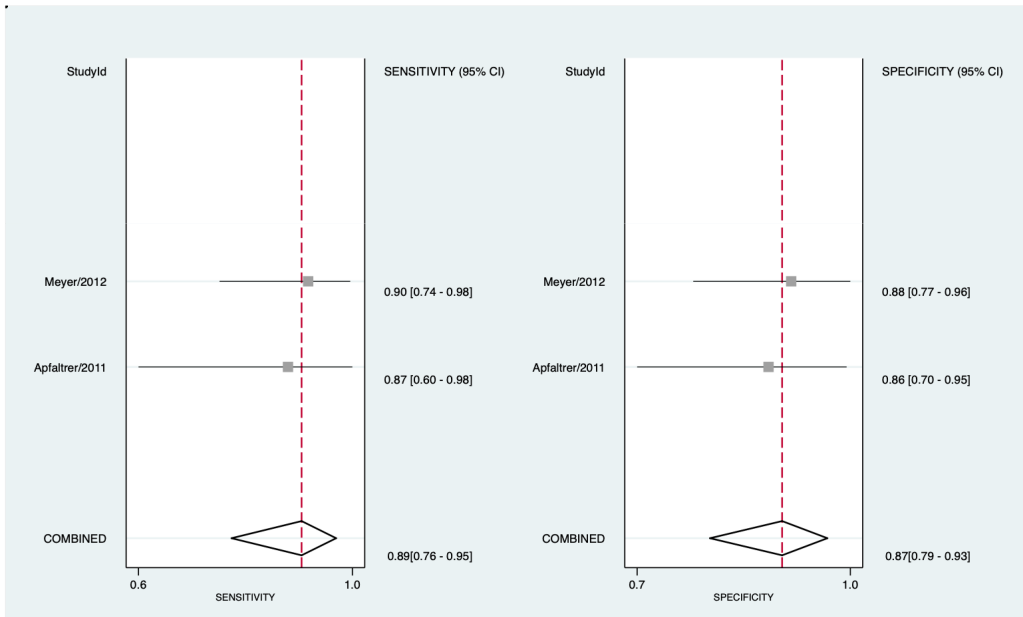


Figura 3: Forest plot. Sensibilidad y especificidad de la relación vVD/vVI en el diagnóstico de falla ventricular derecha.

La heterogeneidad se calculó mediante chi-cuadrado (χ^2), evidenciando homogeneidad de los estudios seleccionados. Este resultado es de interpretación limitada dado el bajo número de artículos y pacientes aptos para el análisis estadístico.

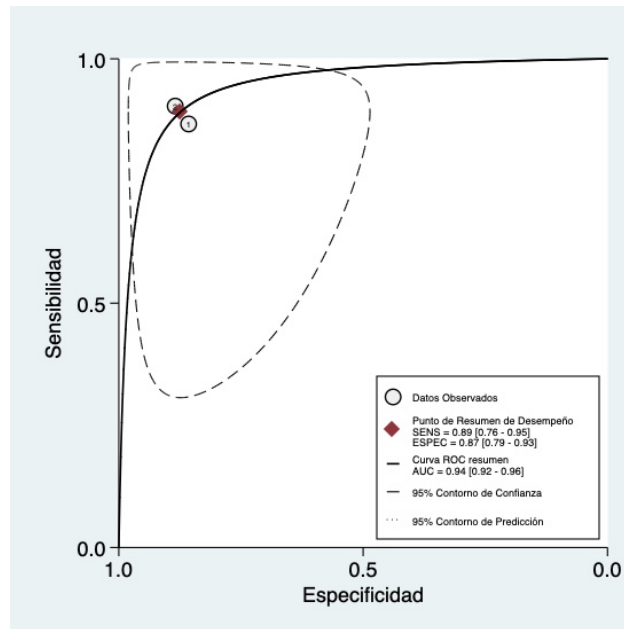


Figura 4: Curva ROC relación vVD/vVI para diagnóstico de FVD.

La curva ROC de sensibilidad y especificidad de la relación vVD/vVI (Figura 4) muestra una homogeneidad alta entre los estudios, con un área bajo la curva de 0.94 (0.92-0.96) y un contorno de confianza del 95%.

5. Discusión

La embolia pulmonar aguda es un evento clínico que requiere el actuar médico interdisciplinario inmediato. Hay múltiples parámetros clínicos, paraclínicos y de imágenes diagnósticas que permiten hacer el abordaje, evaluar el estado hemodinámico y predecir el pronóstico.

La tomografía multidetector es el examen de elección para el diagnóstico de EP. Múltiples parámetros tomográficos se han tomado como indicadores de compromiso hemodinámico: la carga embólica, la localización del émbolo (central o periférico), la relación VD/VI y el tamaño de la arteria pulmonar, han sido estudiados sin demostrar rendimiento para predecir el desenlace de estos pacientes. Con el desarrollo de nuevas tecnologías en los tomógrafos y de softwares de procesamiento de imágenes diagnósticas, se han propuesto otros parámetros que permitan establecer el compromiso hemodinámico, uno de estos es el comportamiento de los volúmenes de las cámaras cardíacas.

En la revisión de la literatura disponible hasta el momento, solo dos artículos comparan los parámetros volumétricos medidos por tomografía con el estándar de referencia para determinar falla ventricular derecha, la ecocardiografía. Un total de 76 pacientes entre los dos estudios presentaron EP agudo y FVD constatada por ecocardiograma. Estas dos publicaciones se realizaron con la rigurosidad epidemiológica, demostrando un rendimiento adecuado, con valores significativos de sensibilidad y especificidad para determinar la FVD por medio de imágenes tomográficas.

En el análisis estadístico se calculó una sensibilidad combinada de 0.89% (0,76-0.95% IC) y especificidad de 87% (0,79-0,93% IC) para la relación vVD/vVI como criterio diagnóstico

de FVD, demostrando un buen rendimiento equivalente a los parámetros establecidos en la ecocardiografía.(11)

Se debe tener en cuenta la falta de estudios que permitan constatar la validez externa de esta prueba diagnóstica. Es por esto que la interpretación y la reproducibilidad de estos resultados deben ser evaluados con cuidado, sin poder establecer por el momento se pueda prescindir de la ecocardiografía para realizar el diagnóstico de FVD y su compromiso hemodinámico.

Se deben tener en cuenta otros factores en la interpretación de estos resultados. Las tomografías de ambos estudios fueron adquiridas en ausencia de sincronización cardíaca, lo cual limita la adecuada definición de los bordes endocárdicos y el conocimiento de la fase del ciclo cardíaco en la que se adquirió la imagen , factores que pueden modificar significativamente el cálculo de la volumetría y disminuir el rendimiento diagnóstico tal y como lo demostró Scheffel (9) en su publicación.

En conclusión, la evidencia actual apoya la utilización de los volúmenes cardíacos para el diagnóstico de falla ventricular derecha en pacientes con embolia pulmonar aguda. La masificación de su uso requiere la implementación de tomógrafos modernos y herramientas de software disponibles que realicen de forma automática estos procedimientos. Se requieren estudios que comparen el rendimiento en tomografía gatillada para el adecuado cálculo de los volúmenes y su comparación con la ecocardiografía como prueba de referencia no invasiva.

6.Recomendaciones

Se deben realizar estudios que permitan esclarecer la utilidad de parámetros volumétricos cardíacos en angiotomografía de tórax para diagnóstico de falla ventricular derecha en pacientes con embolismo pulmonar agudo.

Se debe tener en cuenta la fase del ritmo cardíaco en la adquisición de la imagen tomográfica, ya que influye directamente en el valor de los volúmenes y en la relación de aurículas y ventrículos. Adicionalmente permite una mejor definición del borde endocárdico y mayor fiabilidad en el análisis automatizado.

No es posible en el momento establecer la relación vVD/vVI calculada en tomografía como prueba diagnóstica fiable en la determinación de falla ventricular derecha. Por lo anterior se plantea como estudio la evaluación volumétrica cardíaca en angiotomografía gatillada en fin de diástole en pacientes con embolia pulmonar aguda comparados con ecocardiografía para el diagnóstico de falla ventricular derecha.

A. Anexo. Términos de búsqueda.

Estrategia de Búsqueda N° 1	
Database	Ovid MEDLINE
Search engine	PubMed-NCBI
Date of search	ALL <1946 to July 12, 2019>
Date limits	None
Language limits	None
Other limits	None
Final search term	Pulmonary Embolism/ (37543), ((lung or pulmonary) adj2 (embol* or clot* or thrombo*)).timba. (43425), PE.ti. (844) or/1-3 (56902), tomography/ (10398), exp tomography, x-ray/ (412353), tomography scanners, x-ray computed/ (3161), ((CT or CAT) adj5 (angiogra* or arteriogra* or tomography*)).timba. (107883), (compute* adj3 tomogram*).timba. (281689), ((CT or cat) adj4 scan*).timba. (97600), (CTA or CTPA).timba. (11920), three dimensional-ct.ti,ab. (1230), (MDCT or MSCT or multislice or multi-slice or multi-row or multirow or single-slice or singleslice or 3d-cta).timba. (16449) or/5-13 (592610), exp Heart Failure/ (114297), heart failure.ti,ab. (153534), cardiac failure.ti,ab. (11577), Ventricular Dysfunction.ti,ab. (16019), ((cardiac* or heart) and volum*).timba. (72581) or/15-19 (266718), 4 and 14 and 20 (554)

Estrategia de Búsqueda N° 2	
Database	EBM Reviews - Cochrane Central Register of Controlled Trials
Date of search	2005 to July 10, 2019
Date limits	None
Language limits	None
Other limits	None
Final search term	Pulmonary Embolism/ (853), ((lung or pulmonary) adj2 (embol* or clot* or thrombo*)).timba. (3699), PE.ti. (192) or/1-3 (4064), tomography/ (95), exp tomography, x-ray/ (4750), tomography scanners, x-ray computed/ (39), ((CT or CAT) adj5 (angiogra* or arteriogra* or tomography*)).timba. (5384), (compute* adj3 tomogram*).timba. (11925), ((CT or cat) adj4 scan*).timba. (6733), (CTA or CTPA).timba. (1001), three dimensional-ct.ti,ab. (38), (MDCT or MSCT or multislice or multi-slice or multi-row or multirow or single-slice or singleslice or 3d-cta).timba. (875) or/5-13 (19654), exp Heart Failure/ (8254), heart failure.ti,ab. (23561), cardiac failure.ti,ab. (850), Ventricular Dysfunction.ti,ab. (1735), ((cardiac* or heart) and volum*).timba. (1177) or/15-19 (35031), 4 and 14 and 20 (35), remove duplicates from 21 (33)

Estrategia de Búsqueda N° 3	
Database	Embase
Date limits	1969 – to july 19 2019
Language limits	None
Other limits	None
Final search term	cardiac*:timba OR heart:ti,ab AND volume*:timba 116,453, 'ventricular dysfunction':ti,ab 24,196, 'cardiac failure':ti,ab 16,732, 'heart failure':ti,ab 254,144, acute heart failure'/exp , 'heart failure'/exp mdct:ti,ab OR msct:ti,ab OR multislice:ti,ab OR 'three dimensional': timba 1,568, catina OR ctpa:ti,ab 19,428, ((ct OR cat) NEAR/4 scan*):timba 166,635, (comput* NEAR/3 tomogram*):timba 350,37((CT OR cat) NEAR/5 (angiogram* OR arteriogram* OR 146,030 tomography, 'computed tomography scanner'/exp 33,441, 'tomography'/de 22,26 pe:ti 1,806, ((lung OR pulmonary) NEAR/2 (emboli* OR clot* OR 66,875.

B. Anexo. Formato de extracción de datos y evaluación de calidad.

FORMATO EXTRACCIÓN DE DATOS 1

Ref.ID	Correlation of CT angiographic pulmonary artery obstruction scores with right ventricular dysfunction and clinical outcome in patients with acute pulmonary embolism. doi:10.1016/j.ejrad.2011.08.014
Autor, fecha	P. Apfalter, 2011
País de origen	Alemania
Características del estudio	
Contexto del estudio	Comparar un score de obstrucción de arterias pulmonares, variables cuantitativas del angiotac con la prueba de referencia (ecocardiograma) para diagnóstico de falla de ventrículo derecho y el desenlace clínico de pacientes con EP.
Diseño del estudio	Prospectivo, pruebas diagnósticas
Duración del estudio	No mencionado
Criterios de inclusión	Pacientes con embolia pulmonar consecutivos
Criterios de exclusión	No mencionado
Características del estudio de tomografía realizado	30 pacientes se realizaron en equipo de 16 filas de detectores, 20 en equipo de 64 filas. Se utilizaron los mismos parámetros técnicos. Se utilizó 100ml de contraste por paciente a una velocidad de 4ml/s. + 30 cc de SSN.
Características de la prueba de oro (ecocardiograma)	Se realizó ecocardiograma a los 50 pacientes en las primeras 24 horas del inicio de los síntomas. Se utilizó un protocolo estandarizado para todos los pacientes: Visualizaciones apicales de dos, tres y cuatro cámaras, imagen paraesternal de eje largo y corto y proyecciones subcostales. Criterios diagnósticos RVD 2 o mas: <ul style="list-style-type: none"> RV > 30 mm o relación RV / LV en fin de diástole > 1, hipocinesia de la pared ventricular libre

	derecha, hipocinesia de la región RV infundibular con contracción normal del ápice RV (signo de McConnell), excursión sistólica del plano anular tricúspide (TAPSE) <15 mm, gradiente RV / auricular > 30 mmHg.	
Descripción de la realización de las pruebas (tiempo entre las pruebas, sitio de realización, secuencia de las pruebas)	Menos de 24 horas entre las pruebas. Inicio de síntomas – realizan angiotac en servicio de radiología (diagnóstico de EP), ecocardiograma en las siguientes 24 horas en servicio de cardiología o en la habitación del paciente.	
Características del personal que evaluó las pruebas	Ecocardiograma: 2 cardiólogos TAC: 3 radiólogos	
Conflicto de interés (si, no, no declarado, no mencionado)	El Dr. Schoepf recibe apoyo de investigación y es consultor de Bayer, Bracco, General Electric, Medrad y Siemens. Los autores restantes no requieren la divulgación de un conflicto de intereses.	
Financiación	NO	
Otros (otras pruebas, etc.)	NO	
Características de los pacientes		
	Intervención: Angiotomografía de tórax	Comparación: Prueba de oro (ecocardiograma)
Número de sujetos reclutados	50	50
Número de sujetos que completaron el estudio	50	50
Edad	66±12.9	66±12.9
Sexo		
Síntomas	NO	NO
Comorbilidades	NO	NO
Tiempo hasta la realización de la prueba	<24H	<24H
Otros	Todos con EP	Todos con EP
Desenlaces		
Validez diagnóstica		
Número de pacientes con TC+ y EC+	50	
Número de pacientes con Falla ventricular Derecha.	Definidos por la prueba de oro: EC+: 35 (5 moderado (10%) + 10 severo (20%)) Calcularon el punto de corte de la relación volumen ventrículo derecho/volumen ventrículo izquierdo calculado por curva ROC en 1.39 en la predicción de falla ventricular derecha.	

Número de pacientes con TC- y EC-	0	
Número de pacientes con TC- y EC+	0	
Número de pacientes con TC+ y EC-	0	
	Intervención: angiogramografía de tórax	Comparación: Prueba de oro (ecocardiograma)
Sensibilidad (IC)	87%	100%
Especificidad (IC)	87%	100%
AUC	0.92	
Valor predictivo positivo (IC)	No lo suministra	No lo suministra
Valor predictivo negativo (IC)	No lo suministra	No lo suministra
LR + (IC)	No lo suministra	No lo suministra
LR – (IC)	No lo suministra	No lo suministra
Evaluación de la calidad (QUADAS 2)		
<i>Dominio 1: Selección de pacientes</i>		
Riesgo de sesgo: ¿Podría la selección de pacientes haber introducido sesgos?		
1. ¿Se enroló una muestra consecutiva o aleatoria de pacientes?	Muestra consecutiva de pacientes.	
2. ¿Se evitó un diseño de casos y controles?	Si, se realizo una corte transversal	
3. ¿Se evitaron exclusiones inapropiadas?	Si	
Probabilidad de sesgo (baja, alta, incierta)	BAJA	
<i>Dominio 2: Prueba índice</i>		
Riesgo de sesgo: ¿Podría la realización o la interpretación de la prueba índice haber introducido sesgos?		
1. ¿Fueron interpretados los resultados de la prueba índice sin conocimiento de los resultados de la de referencia?	Los radiólogos solo conocían la sospecha y confirmación de EP, no el estado clínico ni el hallazgo ecocardiográfico. Los cardiólogos solo conocían el diagnostico de EP, no el estado clínico ni el resultado de los volúmenes cardíacos por tomografía.	
2. Si se utilizó un umbral para definir la positividad o la negatividad de la prueba índice, ¿fue especificado previamente?	Se estableció un punto de corte para diagnóstico de falla ventricular derecha con la relación de vVD/vVI calculando mediante curva ROC de 1.39.	

Probabilidad de sesgo (baja, alta, incierta)	baja
<i>Dominio 3: Prueba de referencia</i>	
Riesgo de sesgo: ¿Podría la realización o la interpretación de la prueba de referencia haber introducido sesgos?	
1. ¿Es probable que la prueba de referencia valore correctamente la condición diana?	Si, es el estudio no invasivo de elección para valorar el estado funcional y estructural de corazón. Es el Gold estándar sugerido por las guías de práctica clínica.
2. ¿Fueron interpretados los resultados de la prueba de referencia sin conocimiento de los resultados de la prueba índice?	Si, los cardiólogos solo conocían el diagnóstico de EP, no el estado clínico ni el resultado de los volúmenes cardiacos por tomografía.
Probabilidad de sesgo (baja, alta, incierta)	baja
<i>Dominio 4: Flujo y tiempos</i>	
Riesgo de sesgo: ¿Podría el flujo de pacientes haber introducido sesgos?	
1. ¿Hubo un intervalo apropiado entre la prueba índice y la prueba de referencia?	El intervalo entre pruebas fue menor a 24 horas.
2. ¿Fue aplicada en todos los individuos la misma prueba de referencia?	Si, a los pacientes con EP se realizó ecocardiograma.
3. ¿Fueron incluidos todos los pacientes en el análisis?	Si, el artículo especifica una muestra de pacientes con EP de la cual un porcentaje tiene falla ventricular derecha.
Probabilidad de sesgo (baja, alta, incierta)	Baja
<i>Preocupación sobre la aplicabilidad de los resultados</i>	
Selección de los pacientes (baja, alta, incierta)	Muestra consecutiva. Baja probabilidad de sesgo de selección.
Prueba índice: angiotomografía (baja, alta, incierta)	Baja
Prueba de referencia: ecocardiograma (baja, alta, incierta)	Baja.
Aspectos éticos	
Consentimiento informado	si
Comité ético	si

C. Anexo. Formato de extracción de datos y evaluación de calidad.

FORMATO EXTRACCIÓN DE DATOS 2

Ref.ID	Benefit of combining quantitative cardiac CT parameters with troponin I for predicting right ventricular dysfunction and adverse clinical events in patients with acute pulmonary embolism. dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.06.023
Autor, fecha	Mathias Meyer, 2012
País de origen	Alemania
Características del estudio	
Contexto del estudio	Definir el rendimiento de los valores cuantitativos de angiotac y troponina I en el diagnóstico de falla ventricular derecha y eventos adversos en pacientes con EP
Diseño del estudio	Prospectivo, pruebas diagnósticas.
Duración del estudio	Agosto 2008- junio 2009
Criterios de inclusión	Pacientes con embolia pulmonar
Criterios de exclusión	—
Características del estudio de tomografía realizado	30 pacientes se realizaron en equipo de 16 filas de detectores, 20 en equipo de 64 filas. No gatillado. Se utilizaron los mismos parámetros. Se utilizó 100ml de contraste por paciente a una velocidad de 4ml/s. + 30 cc de SSN.
Características de la prueba de oro (ecocardiograma)	Se realizó ecocardiograma a los 50 pacientes en las primeras 24 horas del inicio de los síntomas. Se utilizó un protocolo estandarizado para todos los pacientes.
Descripción de la realización de las pruebas (tiempo entre las pruebas, sitio de realización, secuencia de las pruebas)	Menos de 24 horas entre las pruebas. Inicio de síntomas – realizan angiotac en servicio de radiología (diagnóstico de EP), ecocardiograma en las siguientes 24 horas a los pacientes con EP en servicio de cardiología o en la habitación del paciente.

Características del personal que evaluó las pruebas	Ecocardiograma: 2 cardiólogos: (15 y 7 años de experiencia) TAC: 2 radiólogos: (11 y 4 años de experiencia en imágenes torácicas)	
Conflicto de interés (si, no, no declarado, no mencionado)	NO	
Financiación	NO	
Otros (otras pruebas, etc.)	NO	
Características de los pacientes		
	Intervención: Angiotomografía de tórax	Comparación: Prueba de oro (ecocardiograma)
Número de sujetos reclutados	575 sospecha de EP 83 con EP	83
Número de sujetos que completaron el estudio	83	83
Edad	62 ± 13	62 ± 13
Sexo	45H 38F	45H 38F
Síntomas	Información no suministrada	Información no suministrada
Comorbilidades	Información no suministrada	Información no suministrada
Tiempo hasta la realización de la prueba	<24h	<24h
Otros		
Desenlaces		
Validez diagnóstica		
Número de pacientes con TC+ y EC+	83	
Pacientes con Falla ventricular derecha	31 (37%): <ul style="list-style-type: none"> • Moderado 14 (45%) • Severo 17 (55%) 	
Número de pacientes con TC- y EC-	0	
Número de pacientes con TC- y EC+	0	
Número de pacientes con TC+ y EC-	0	
	Intervención: Angiotomografía de tórax VRV/VLV: Punto de corte: 1.41	Comparación: Prueba de oro (ecocardiograma)
Sensibilidad (IC)	90% (73-98%)	100 %
Especificidad (IC)	88% (75-95%)	100 %

Valor predictivo positivo (IC)	82% (65-93%)	100 %
Valor predictivo negativo (IC)	94% (82-98%)	100 %
LR + (IC)	Información no suministrada	Información no suministrada
LR – (IC)	Información no suministrada	Información no suministrada
Evaluación de la calidad (QUADAS 2)		
Dominio 1: Selección de pacientes		
Riesgo de sesgo: ¿Podría la selección de pacientes haber introducido sesgos?		
1. ¿Se enroló una muestra consecutiva o aleatoria de pacientes?	Muestra consecutiva de pacientes.	
2. ¿Se evitó un diseño de casos y controles?	Si, se realizó una corte transversal	
3. ¿Se evitaron exclusiones inapropiadas?	Si	
Probabilidad de sesgo (baja, alta, incierta)	BAJA	
Dominio 2: Prueba índice		
Riesgo de sesgo: ¿Podría la realización o la interpretación de la prueba índice haber introducido sesgos?		
1. ¿Fueron interpretados los resultados de la prueba índice sin conocimiento de los resultados de la de referencia?	Los radiólogos solo conocían la sospecha y confirmación de EP, no el estado clínico ni el hallazgo ecocardiográficos. Los cardiólogos solo conocían el diagnostico de EP, no el estado clínico ni el resultado de los volúmenes cardiacos por tomografía.	
2. Si se utilizó un umbral para definir la positividad o la negatividad de la prueba índice, ¿fue especificado previamente?	Se estableció un punto de corte para diagnóstico de falla ventricular derecha con la relación de VVD/VVI calculando ROC de 1.41.	
Probabilidad de sesgo (baja, alta, incierta)	Baja	
Dominio 3: Prueba de referencia		
Riesgo de sesgo: ¿Podría la realización o la interpretación de la prueba de referencia haber introducido sesgos?		
1. ¿Es probable que la prueba de referencia valore correctamente la condición diana?	Si, es el estudio no invasivo de elección para valorar el estado funcional y estructural de corazón. Es el Gold estándar sugerido por las guías de practica clínica.	

2. ¿Fueron interpretados los resultados de la prueba de referencia sin conocimiento de los resultados de la prueba índice?	Si, los cardiólogos solo conocían el diagnóstico de EP, no el estado clínico ni el resultado de los volúmenes cardiacos por tomografía.
Probabilidad de sesgo (baja, alta, incierta)	baja
Dominio 4: Flujo y tiempos	
Riesgo de sesgo: ¿Podría el flujo de pacientes haber introducido sesgos?	
1. ¿Hubo un intervalo apropiado entre la prueba índice y la prueba de referencia?	El intervalo entre pruebas fue menor a 24 horas.
2. ¿Fue aplicada en todos los individuos la misma prueba de referencia?	Si, a los pacientes con EP se realizo ecocardiograma.
3. ¿Fueron incluidos todos los pacientes en el análisis?	Si, el artículo especifica una muestra de pacientes con EP de la cual un porcentaje tiene falla ventricular derecha.
Probabilidad de sesgo (baja, alta, incierta)	Baja
Preocupación sobre la aplicabilidad de los resultados	
Selección de los pacientes (baja, alta, incierta)	baja
Prueba índice: angiotomografía (baja, alta, incierta)	baja
Prueba de referencia: ecocardiograma (baja, alta, incierta)	baja
Aspectos éticos	
Consentimiento informado	si
Comité ético	si

7. Bibliografía

1. Agnelli G, Becattini C. Acute pulmonary embolism [11]. *N Engl J Med* [Internet]. 2010;363(20):1974–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.thorsurg.2009.12.010>
2. Article R, Steering I, For C, Thrombosis W. Thrombosis : a major contributor to the global disease burden. 2014;(August):1580–90.
3. Stein PD, Beemath A, Olson RE. Trends in the incidence of pulmonary embolism and deep venous thrombosis in hospitalized patients. *Am J Cardiol*. 2005;95(12):1525–6.
4. Konstantinides S V, Meyer G, Becattini C, Bueno H, Geersing G-J, Harjola V-P, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *Eur Heart J*. 2019;1–61.
5. Huisman M V, Barco S, Cannegieter SC, Gal G Le. Pulmonary embolism *Nature* 2018. *Nat Rev Dis Prim*. 2018;VOLUME 4(May):18.
6. Schoepf UJ, Kucher N, Kipfmueller F, Quiroz R, Costello P, Goldhaber SZ. Right ventricular enlargement on chest computed tomography: A predictor of early death in acute pulmonary embolism. *Circulation*. 2004;110(20):3276–80.
7. Ilker I, Altinsoy B, Serifoglu I, Sayin R, Cagatay M, Erboy F, et al. Evaluation of right atrium-to-right ventricle diameter ratio on computed tomography pulmonary angiography : Prediction of adverse outcome and 30-day mortality. *Eur J Radiol* [Internet]. 2015;84(12):2526–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.08.019>
8. Jiménez D, Lobo JL, Monreal M, Moores L, Oribe M, Barrón M, et al. Prognostic significance of multidetector CT in normotensive patients with pulmonary embolism: Results of the protect study. *Thorax*. 2014;69(2):109–15.
9. Scheffel H, Stolzmann P, Leschka S, Desbiolles L, Seifert B, Marincek B, et al.

- Ventricular short-axis measurements in patients with pulmonary embolism : Effect of ECG-gating on variability , accuracy , and risk prediction. *Eur J Radiol* [Internet]. 2012;81(9):2195–202. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.03.067>
10. Aviram G, Soikher E, Bendet A, Shmueli H, Ziv-Baran T, Amitai Y, et al. Prediction of Mortality in Pulmonary Embolism Based on Left Atrial Volume Measured on CT Pulmonary Angiography. *Chest* [Internet]. 2016;149(3):667–75. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26356029>
 11. Daley J, Grotberg J, Pare J, Medoro A, Liu R, Hall MK, et al. Emergency physician performed tricuspid annular plane systolic excursion in the evaluation of suspected pulmonary embolism. *Am J Emerg Med* [Internet]. 2017;35(1):106–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajem.2016.10.018>
 12. Apfaltrer P, Henzler T, Meyer M, Roeger S, Haghi D, Gruettner J, et al. Correlation of CT angiographic pulmonary artery obstruction scores with right ventricular dysfunction and clinical outcome in patients with acute pulmonary embolism. *Eur J Radiol* [Internet]. 2012;81(10):2867–71. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.08.014>
 13. Meyer M, Fink C, Roeger S, Apfaltrer P, Haghi D, Kaminski WE, et al. Benefit of combining quantitative cardiac CT parameters with troponin i for predicting right ventricular dysfunction and adverse clinical events in patients with acute pulmonary embolism. *Eur J Radiol* [Internet]. 2012;81(11):3294–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.06.023>
 14. Henzler T, Roeger S, Meyer M, Schoepf UJ, Nance JW, Haghi D, et al. Pulmonary embolism: CT signs and cardiac biomarkers for predicting right ventricular dysfunction. *Eur Respir J*. 2012;39(4):919–26.