



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E  
INVESTIGACION  
SECRETARIA DE SALUD  
INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA "IGNACIO  
CHÁVEZ"

TESIS  
**DESEMPEÑO DIAGNÓSTICO DE LAS LÍNEAS B MEDIDAS  
POR ULTRASONIDO PULMONAR EN ESTIMAR LA  
PRESIÓN INVASIVA TELE DIASTÓLICA DEL VENTRÍCULO  
IZQUIERDO**

QUE PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALIDAD EN  
CARDIOLOGÍA CLÍNICA

PRESENTA:  
**DR. LUIS CARLOS FIGUEROLA CHAPARRO**

Tutor de Tesis:  
*Dr. Diego Araiza Garaygordobil*

Médico adscrito de urgencias y unidad coronaria Instituto  
Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez"

Ciudad Universitaria  
Ciudad de México, México  
agosto de 2021



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA "IGNACIO CHÁVEZ"

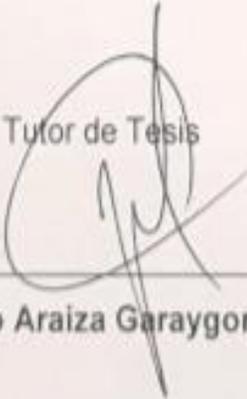
TESIS

DESEMPEÑO DIAGNÓSTICO DE LAS LÍNEAS B MEDIDAS POR  
ULTRASONIDO PULMONAR EN ESTIMAR LA PRESIÓN INVASIVA TELE  
DIASTÓLICA DEL VENTRÍCULO IZQUIERDO

Director de Enseñanza

  
Dr. Carlos Rafael Sierra Fernández

Tutor de Tesis

  
Dr. Diego Araiza Garaygordobil

Tesista

  
Dr. Luis Carlos Figuerola Chaparro





Ciudad de México, 11 de agosto 2021.

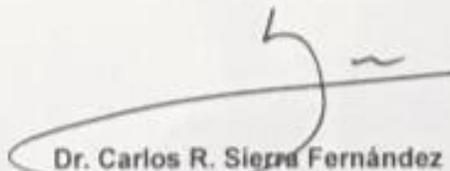
**Dr. Gerhard Heinze Martin**

Jefe de la Subdivisión de Especializaciones Médicas de Posgrado  
de la Facultad de Medicina  
Universidad Nacional Autónoma De México  
PRESENTE

Por medio de la presente hago constar que el Proyecto de Investigación titulado "DESEMPEÑO DIAGNÓSTICO DE LAS LÍNEAS B MEDIDAS POR ULTRASONIDO PULMONAR EN ESTIMAR LA PRESIÓN INVASIVA TELE DIASTÓLICA DEL VENTRÍCULO IZQUIERDO" presentado por el Dr. Luis Carlos Figuerola Chaparro, médico residente que cursa la Especialidad en Cardiología, ha sido sometido a revisión por el Comité de Investigación de la Dirección de Enseñanza de este Instituto, cumpliendo con los requisitos para la titulación oportuna.

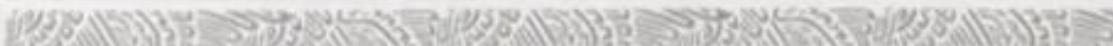
Sin más por el momento, le envío un cordial saludo.

Atentamente

  
**Dr. Carlos R. Sierra Fernández**  
Director de Enseñanza



CSF/11/21



## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres que levantan mis sueños con sus brazos más alto de lo que pudiera imaginar desde toda una vida.

A mi mamá Agustina, la mujer mas valiente que hay en este mundo, la que hizo que todo pasara y todo fuera, para la que las palabras quedan cortas.

A mi padre Salvador, siempre ahí, inspirador de sueños desde su trinchera.

A mi hermano Beto por ser mis manos para sostener y mis piernas para avanzar, así como la motivación que necesita siempre el alma.

A mis abuelos, que en la tierra y en el cielo no me han dejado caminar solo.

A Diana, mi hermosa compañera de vida, bailando conmigo los pasos que aparezcan, compartiendo un corazón y muchos sueños, sin dejarme pensar que no soy capaz de lograrlos.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
MARCO TEÓRICO.....	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
JUSTIFICACIÓN.....	13
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	13
OBJETIVOS.....	14
MATERIAL Y MÉTODOS.....	14
DISEÑO DE ESTUDIO.....	14
POBLACIÓN ESTUDIADA.....	14
CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	14
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	14
CRITERIOS DE ELIMINACIÓN.....	15
RESULTADOS.....	18
DISCUSIÓN.....	20
LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	24
CONCLUSIÓN.....	24
BIBLIOGRAFÍA.....	26

## **INTRODUCCIÓN.**

La evaluación del estado hemodinámico del paciente, presiones intra ventriculares y estado de congestión son herramientas clave para la toma de decisiones diagnósticas, terapéuticas y pronósticas en pacientes con cardiopatías cardiovasculares, siendo el Gold estándar la medición de forma invasiva mediante cateterismo, sin embargo al ser un procedimiento invasivo se han buscado a lo largo de los últimos años herramientas no invasivas que proporcionen una estimación confiable de esas mediciones como ecocardiograma, ultrasonografía pulmonar (USG pulmonar) o biomarcadores séricos.

La ecografía pulmonar es un método novedoso y no invasivo, que evalúa el líquido extravascular pulmonar por medio de búsqueda intencionada de las “líneas B” y que ha ganado popularidad en el estudio de la disnea para facilitar la diferenciación de la insuficiencia cardíaca aguda y otras causas etiológicas, especialmente en el departamento de urgencias y cuidados críticos cardiovasculares. Sin embargo, la relación entre las líneas B sonográficas y la PTDVI medida de forma directa en el ventrículo izquierdo no se ha estudiado.

El objetivo de este estudio fue explorar el rendimiento diagnóstico de las líneas B evaluadas por USG pulmonar en la identificación de pacientes con elevación de la presión tele diastólica del ventrículo izquierdo (PTDVI) al compararlas con mediciones intra cavitarias en el ventrículo izquierdo en pacientes sometidos a cateterismo diagnóstico o terapéutico, además de comparar la correlación de esta medición no invasiva con biomarcadores séricos (péptidos natriuréticos) y mediciones ecocardiográficas de función sistólica y diastólica.

## **ANTECEDENTES**

### **MARCO TEÓRICO.**

#### **Introducción.**

La PTDVI es el estándar de oro para la evaluación hemodinámica del ventrículo izquierdo. En múltiples patologías cardiacas se conoce la utilidad de la medición de parámetros hemodinámicos medidos durante el cateterismo izquierdo; como la PTDVI, la presión sistólica (PS), la presión diastólica (PD), la presión de pulso y la razón PS/PTDVI. Las variables mencionadas han auxiliado en el diagnóstico, guiar la terapéutica o como factores pronósticos de desenlace. El cateterismo cardiaco es un procedimiento invasivo con riesgos inherentes a su realización; por lo cual, se ha buscado la correlación de parámetros medidos por métodos diagnósticos no invasivos como lo es el ecocardiograma y US pulmonar que sugieren tener el mismo rendimiento diagnóstico (4-5).

Aunque las presiones intracardiacas pueden ser medidas por medio de monitoreo hemodinámico invasivo, la evaluación junto a la cama de forma no invasiva del paciente ambulatorio, sigue siendo controversial (6). El uso de la radiografía de tórax, ecocardiograma, impedancia intratorácica, péptidos natriuréticos y variabilidad de la presión de pulso, son métodos que han sido explorados pero que cuentan con varias limitaciones u ofrecen retos clínicos que hacen difícil su implementación (7).

La PTDVI es un reflejo de la complianza ventricular, así como de los volúmenes y presiones intra vasculares; se correlaciona de forma tanto aguda como crónica con condiciones clínicas que afectan el rendimiento ventricular. Las elevaciones agudas de la PTDVI pueden resultar en manifestaciones clínicas de insuficiencia cardiaca, sin embargo, es posible que también sea un subrogado de alteraciones tempranas de la relación presión – volumen ventricular que predisponen a desarrollo de forma recurrente de episodios de insuficiencia cardiaca aguda (26).

La PTDVI en el escenario particular del infarto agudo de miocardio puede exacerbar el remodelado ventricular con expansión de la zona infartada y disfunción miocárdica progresiva. La estimación no invasiva de la PTDVI ha demostrado ser un predictor significativo de mortalidad en pacientes con infarto agudo del miocardio previo. (27)

Desde 1930, Kerley describió sombras radioopacas lineares en la radiografía de tórax convencional, las clásicas líneas B que nacen y corren perpendiculares a la pleura, de aproximadamente 2 cm de longitud, que regularmente se atribuyen a edema pulmonar intersticial en relación a un aumento de la presión atrial izquierda, predominantemente en las zonas pulmonares basales. Se ha descrito que estas líneas pueden aparecer o desaparecer con una descompensación cardiaca aguda (3).

La ecografía pulmonar es un método novedoso, no invasivo, que evalúa el líquido extravascular pulmonar por medio de búsqueda intencionada de las “líneas B”. Las líneas B son artefactos de reverberación que surgen de la línea pleural y se cree que se originan en septos interlobulillares engrosados por fluido. Este método ha ganado popularidad en el estudio de la disnea para facilitar la diferenciación de la insuficiencia cardiaca aguda y otras causas de disnea, especialmente en el departamento de urgencias y cuidados críticos cardiovasculares. Sin embargo, la relación entre las líneas B sonográficas y la PTDVI medida de forma directa en el ventrículo izquierdo no se ha estudiado.

La ultrasonografía no era considerada originalmente como una herramienta diagnóstica útil en las patologías pulmonares, debido principalmente a la limitación física de que el aire no refleja las ondas de sonido. Sin embargo, se ha descrito ya desde 1986 como Rentanen describió la utilidad de la USG pulmonar aplicado a la medicina veterinaria (8).

Cuando se compara con otros estudios de imagen tales como tomografía y radiografía de tórax, el ultrasonido ofrece un diagnóstico certero, principalmente en medios como terapia intensiva. El impacto de realizar dicho estudio de imagen influencia el diagnóstico y tratamiento hasta en 22% de algunas series reportadas (9). Cabe destacar que es una herramienta fácilmente transportable a la cama del paciente, de bajo costo y altamente reproducible.

La USG pulmonar, puede llevarse a cabo con transductores de baja y de alta frecuencia (1-5 MHz) recordando que los de mayor potencia (5-7.5 MHz) tendrán una mejor resolución, pero menor penetración. Para poder valorar el parénquima de una manera más adecuada, se recomiendan transductores de menor frecuencia (1-3.5 MHz) (10). El protocolo de exploración del tórax por medio de esta herramienta se lleva a cabo describiendo en orden las estructuras que se encuentran más proximales hacia las más profundas. Existen varios abordajes de examinación por áreas específicas del tórax. La más común es la técnica modificada por Volpicelli (11). En la que, por medio de líneas paraesternales, líneas axilares anterior y posterior, así como 5to espacio intercostal, es posible dividirse en 4 regiones.

Existen múltiples artefactos que describen condiciones normales o patológicas en el pulmón; éstas pueden ser agrupadas en artefactos horizontales o verticales. Los artefactos horizontales que se visualizan como una línea corta de orientación horizontal, aparecen desde la pleura y de manera cíclica equidistante entre cada una de ellas, éstas son llamadas “líneas A”, representando reverberaciones ultrasónicas causadas por la pleura. Las “líneas C” son similares a las líneas A. Sin embargo, la diferencia radica en la distancia entre las mismas, pues no son equidistantes. Estas líneas sugieren procesos pulmonares de consolidación (12).

Por otro lado, las líneas verticales son las ya mencionadas antes “líneas B”, así como las “líneas Z” y “líneas E”. Las líneas B tienen una morfología triangular con el vértice originado en la línea pleural con la base dirigida hacia la profundidad

del parénquima pulmonar, éstas pueden atravesar toda la pantalla, siendo característico que borran las líneas A. Tienen un movimiento sincrónico con el deslizamiento pleural. Se ha descrito la presencia de línea B en estados no patológicos especialmente en zonas laterales inferiores. Las líneas E pueden verse en el enfisema subcutáneo de manera horizontal, pero también como artefactos verticales en forma de un haz que se originan por encima de la pleura a diferencia de las líneas B. Finalmente, las líneas Z son otros artefactos verticales que se originan de la línea pleural con una profundidad de apenas 2-5cm que no se observa en toda la pantalla, sin embargo, éstas no borran las líneas A y no siguen los movimientos pleurales (9).

El uso de USG pulmonar para el análisis de las estructuras es una herramienta indispensable en la medicina moderna dado que provee información “en tiempo real” que ayuda a optimizar el diagnóstico y tratamiento justo al lado de la cama del paciente. El desarrollo de evidencia científica en nuevos trabajos lo avala como una técnica segura, de bajo costo y reproducibles.

En relación a la respuesta neuro humoral relacionada con la congestión central secundaria a insuficiencia cardiaca y elevación de las presiones de llenado intra ventriculares, los péptidos natriuréticos como el péptido natriurético tipo B (BNP) o pro BNP N- terminal (NT-proBNP) son de ayuda en el diagnóstico, pronóstico y manejo de la insuficiencia cardiaca. Son secretados a la circulación por los miocitos cardiacos en respuesta al incremento del estrés parietal, hipertrofia y sobrecarga de volumen. Estos se encuentran elevados en personas con falla cardiaca y excluyen la misma cuando se encuentran en niveles bajos (18). La literatura publicada hasta ahora muestra que los niveles tanto el BNP como el NT-proBNP están asociados con pronóstico de mortalidad por cualquier causa tanto en el evento agudo como en el escenario crónico (18). Las concentraciones de estos marcadores son mas altos en pacientes con síntomas más graves, peor función ventricular, así como un peor pronóstico, además se han relacionado con la mejoría en la capacidad funcional (19).

Dentro de los estudios realizados hasta ahora se ha encontrado que el NBP y el NT-proBNP correlacionan fuertemente con la elevación de las presiones de llenado del ventrículo izquierdo durante el ejercicio incluso medidas de forma invasiva siendo una buena herramienta pronóstica y diagnóstica, sin embargo, con una correlación no tan fuerte aun demostrada medida en reposo. Ambos biomarcadores se han visto que correlacionan de buena manera con la medición de la función diastólica medida por ecocardiografía, aunque no con todos los parámetros de función diastólica medidas por este método (20). La correlación directamente proporcional de la función ventricular sistólica mediante la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) con la elevación de los péptidos natriuréticos se ha demostrado en estudios previamente, sin embargo también se ha documentado la correlación de su elevación en escenarios de insuficiencia cardíaca aun con FEVI normal, esto por la elevación de las presiones de llenado corroboradas por ecocardiografía, así como de la correlación en particular mas importante del NT-proBNP con la clase funcional medida por la escala de síntomas de la New York Heart Association (NYHA) (21).

En relación a la evaluación ecocardiográfica de las presiones intra cavitarias del ventrículo izquierdo y la función diastólica, se ha demostrado la correlación de varias mediciones y parámetros por ecocardiograma con la disfunción diastólica y la elevación de las presiones de llenado, sin embargo, es la suma de varios de los mismos lo que aumenta como tal la probabilidad de dicha disfunción (22). A no tener acceso de forma rutinaria a medir la presión ventricular izquierda de manera directa, la valoración se enfoca en varios parámetros ecocardiográficos que son indicadores indirectos de aumento de la presión y/o disfunción diastólica ventricular como son los patrones de llenados del VI y de la aurícula izquierda, las velocidades de acortamiento longitudinal basales del miocardio del VI ( $e'$ ), la presión sistólica del ventrículo derecho o la relación de las ondas de llenado trans mitral con la velocidad de acortamiento miocárdico basal del VI ( $E/e'$ ) (23). La precisión del ecocardiograma en relación con la medición directa de presiones estimadas por la

presión capilar pulmonar medida con catéter de flotación se ha encontrado que es de alrededor del 87%, con un valor predictivo positivo del 91% y un valor predictivo negativo del 87%, siendo en ambos casos un poco mas alta cuando se trata de pacientes con FEVI reducida en comparación con las pacientes con FEVI conservada (23). Considerando parámetros aislados de la función diastólica y presiones de llenado por ecocardiograma los valores con mejor correlación en orden descendente son la presión sistólica pulmonar estimada, E/A y E/e', con una correlación de 0.5 a 0.6, siendo parámetros con menor correlación el volumen auricular indexado por ejemplo (23).

Se han realizado ya estudios previos donde se busca encontrar la correlación entre la cantidad de líneas B encontradas en el USG pulmonar con las mediciones de presiones ventriculares diastólicas como E/e' por ecocardiograma y los péptidos natriuréticos (en este caso NT-proBNP) observándose una buena correlación entre los mismos, con una correlación entre USG pulmonar y NT-proBNP de 0.87, con una sensibilidad y especificidad de 86% y 73% respectivamente con un punto de corte de 15 líneas B totales y 1,000 pg/ml de NT-pro BNP, así como una correlación de líneas B con el mismo corte en relación a la medición de E/e' con corte de >15 de 0.85, con una sensibilidad y especificidad de 82% y 7% respectivamente, aunque teniendo estos estudios como limitante que solo han incluido pacientes con disfunción sistólica ventricular izquierda de moderada a grave, sin incluir pacientes con disfunción sistólica leve o con solo disfunción diastólica (24). Se han realizado estudios para encontrar la correlación entre la medición de líneas B por USG pulmonar con las presiones de llenado del VI de forma indirectas medidas por presión de enclavamiento pulmonar donde se ha encontrado buena correlación significativa entre las mismas (correlación de alrededor de 0.48), con un buen valor predictivo para estimar el volumen pulmonar extravascular por congestión y la presión de enclavamiento (4), incluso encontrando en algunos estudios una relación de un aumento de 1 mmHg en la presión sistólica arterial pulmonar (PSAP) y un aumento de 0.1 UW en las resistencias vasculares pulmonares por cada línea B en el USG pulmonar (25), sin embargo sin tenerse aun evidencia de una comparativa

entre la medición de líquido pulmonar extravascular por USG pulmonar y la medición directa de las presiones intra cavitarias del VI mediante cateterismo izquierdo, así como de estas con los péptidos natriuréticos y las mediciones de las presiones de llenado del VI por ecocardiografía.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La medición de la PTDVI es un parámetro útil hemodinámico para el diagnóstico de patologías cardiovasculares y sobre todo para guiar el tratamiento de dichos escenarios, sin embargo, al ser el cateterismo, el Gold estándar, una técnica invasiva con riesgos inherentes, así como de no tan fácil acceso en todos los centros, se requiere de técnicas no invasivas que estimen de manera precisa dicha medición. Las líneas B, en la USG pulmonar, podrían constituir una herramienta confiable, fácil y accesible para la evaluación de PTDVI en la práctica clínica, incluso para guiar el tratamiento en el paciente ambulatorio.

## **JUSTIFICACIÓN**

Diferentes patologías cardiovasculares, como por ejemplo la insuficiencia cardíaca aguda, requieren de un manejo específico y guiado por parámetros objetivos y precisos para su mejor desenlace, siendo uno de ellos la PTDVI, sin embargo su medición directa mediante cateterismo del ventrículo izquierdo resulta costosa, con riesgos asociados al ser un procedimiento invasivo y poco accesible para todos los centros o el paciente ambulatorio, por lo cual al encontrar un método no invasivo fácil, accesible y de bajo costo se podría optimizar el manejo de estos pacientes tanto de forma hospitalaria como ambulatoria, con mejores desenlaces a corto y largo plazo.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

En pacientes consecutivos que son llevados a una angiografía coronaria diagnóstica y/o terapéutica, ¿Cuál es el desempeño diagnóstico de las líneas B medidas por ultrasonido pulmonar en la estimación de la presión tele-diastólica del ventrículo izquierdo?.

## **OBJETIVO PRIMARIO**

Evaluar el desempeño diagnóstico de las líneas B medidas por ultrasonido pulmonar en la estimación de la presión tele-diastólica del ventrículo izquierdo en pacientes consecutivos que son llevados a una angiografía coronaria diagnóstica y/o terapéutica.

## **OBJETIVOS SECUNDARIOS**

- 1) Comparar la concordancia entre las presiones de llenado ventriculares hemodinámicas y la función sistólica del ventrículo izquierdo estimada utilizando la fracción de expulsión del ventrículo izquierdo (FEVI) mediante ecocardiograma transtorácico (ECOTT).
- 2) Comparar la concordancia entre las presiones de llenado ventriculares hemodinámicas y la función diastólica del ventrículo izquierdo estimada utilizando la medición de la relación E/é mediante ecocardiograma transtorácico (ECOTT).
- 3) Comparar la concordancia entre las presiones de llenado ventriculares hemodinámicas y las mediciones de NT-proBNP en sangre.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **TIPO DE ESTUDIO**

#### ***Diseño de estudio***

Transversal, observacional, descriptivo, prospectivo.

#### ***Población***

Se incluyeron prospectivamente adultos ( $\geq 18$  años) sometidos a una angiografía coronaria con cateterismo cardíaco izquierdo en el Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez” de mayo de 2018 a noviembre 2019 por cualquier indicación.

#### ***Criterios de inclusión***

Pacientes mayores de 18 años que se sometieron por indicación médica a coronariografía diagnóstica o terapéutica.

#### ***Criterios de exclusión***

Pacientes con diagnóstico de neumonía activa, neumotórax, historia de trauma de

tórax reciente, cáncer de pulmón activo, pacientes embarazadas o pacientes con ventilación mecánica invasiva.

### ***Criterios de eliminación***

Pacientes que por su estado clínico durante el cateterismo el cardiólogo intervencionista considere no realizar la medición de la PTDVI o por cuestiones técnicas no se pueda realizar, así como pacientes que no tengan una adecuada ventana acústica pulmonar.

### ***Tamaño muestral***

No existen datos para cálculo certero del tamaño muestral, por lo que utilizaremos la teoría del límite central en donde con una muestra grande, la distribución tenderá a ser normal. Se harán dos cálculos, el primero el cálculo post hoc del “poder” y el segundo, reportándose los intervalos de confianza al 95% para los resultados principales. En caso de que el “poder” sea menos a 80% y/o los IC 95% amplios, se incrementará el tamaño muestral. Se reportarán los resultados principales con medidas de tendencia central y de dispersión.

### ***Hipótesis alterna:***

Las líneas B evaluadas por ultrasonido pulmonar tienen un buen desempeño (R de Pearson  $>0.7$ ) para la estimación de la PTDVI en pacientes que son llevados a coronariografía diagnóstica y terapéutica.

### ***Hipótesis nula:***

Las líneas B evaluadas por ultrasonido pulmonar no tienen un buen desempeño (R de Pearson  $<0.7$ ) para la estimación de la PTDVI en pacientes que son llevados a coronariografía diagnóstica y terapéutica.

## **MÉTODOS**

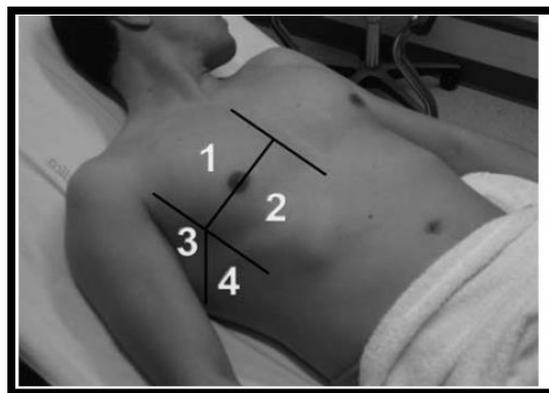
Se incluirán en el estudio de forma prospectiva adultos ( $\geq 18$  años) que sean sometidos a una angiografía coronaria con cateterismo cardíaco izquierdo en el Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez” de mayo de 2018 a noviembre 2019 a los cuales se les realizará durante el procedimiento de cateterismo la

medición de la PTDVI y posteriormente dentro de los primeros 60 minutos post procedimiento se realizara la medición de líneas B pulmonares con ultrasonografía.

### **Descripción de procedimientos.**

#### **US Pulmonar.**

Los exámenes de USG pulmonar se realizaron por dos investigadores capacitados, dentro de los primeros 60 minutos post cateterismo, utilizando un protocolo de adquisición estandarizado en 4 puntos del hemitórax anterior (figura 1), con un dispositivo de ultrasonido de bolsillo (Vscan Dual Probe, General Electric) con transductor matricial en fase, a una profundidad de 18cm y el paciente en posición semisentada (45 grados). Este protocolo ha sido previamente descrito y publicado por Platz y cols. Fueron grabados clips de video de 3 segundos en cada una de las ocho zonas preestablecidas para la adquisición del ultrasonido pulmonar (cuatro en cada hemitórax), siguiendo las pautas recomendadas en una guía internacional y en estudios previos. Las imágenes fueron analizadas “offline” por dos investigadores diferentes y de forma ciega, para validar la variabilidad Inter observador. El número más alto de líneas B (líneas verticales surgiendo de la línea pleural) en cada zona fue registrado. La sumatoria de todas las líneas B en las 4 zonas se utilizó para el análisis primario y comparado con la presión tele diastólica del ventrículo izquierdo.



**Figura 1. Esquema de localización de las regiones de análisis torácicas de las líneas B pulmonares.**

## Medición de la PTDVI.

La PTDVI fue determinada por dos residentes de cardiología intervencionista y un Cardiólogo intervencionista experimentado a través del análisis de formas de onda almacenadas electrónicamente grabaciones de 2-3 trazados de la PTDVI. La información del USG pulmonar fue cegada para los residentes y el cardiólogo que realizó la interpretación de los trazos hemodinámicos. Para la validación de la variabilidad fue determinada fueron interpretados los primeros 20 trazos por los 2 residentes. El resto de las mediciones de la presión arterial se derivarán electrónicamente del sistema de monitoreo hemodinámico de la sala de hemodinámica. Cualquier artefacto fue eliminado del cálculo computarizado. Se utilizó un catéter PigTail 5 Fr Cordis o multipropósito el cual se llevó al ventrículo izquierdo al finalizar el procedimiento diagnóstico o terapéutico y se realizó la medición de la PTDVI (figura 2), PS, PD y PAM. La PTDVI se midió 50 msec después del inicio del complejo QRS.

### PRESIÓN DIASTÓLICA FINAL DEL VENTRÍCULO IZQUIERDO.



Figura 2. Curvas de medición de la presión diastólica final del ventrículo izquierdo.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó el software SPSS 15 para Windows (SPSS, Inc.- Chicago, IL, USA) para el análisis de datos. Los resultados descriptivos se presentaron con frecuencia y porcentaje para las variables cualitativas y con medianas y rangos inter cuartilares para las variables cuantitativas. Se determinó la distribución de normalidad. Se

definió una diferencia estadísticamente significativa cuando la  $P < 0.05$ , realizándose con chi cuadrado para variables cualitativas y con t de Student para variables cuantitativas; como también la utilización de la prueba no paramétrica para variables ordinales o continuas independientes con distribución no normal. La variabilidad inter-observador se calculó para las primeras 20 mediciones ultrasonográficas y curvas hemodinámicas con “r de Pearson”.

## RESULTADOS

Se incluyeron un total de 61 pacientes durante el periodo de estudio. La mayoría fueron hombres (73%) con una mediana de edad de 59 (55-65) años. 21 (34%) pacientes tenían la PTDVI elevada ( $>18$  mmHg). La mediana de talla y peso fueron de 1.68 m (1.6-1.7) y de 70 kg (70-79.5) respectivamente.

La mediana de la FEVI fue de 48.5 RIC (30-58), la cual se encontró disminuida en el grupo de la PTDVI elevada en comparación con los que se encontraba menor a 18 mmHg. (29.5% vs 54.5%  $p = 0.003$ )

Se identificó diferencia en el recuento de las líneas B según nivel de la PTDVI (mediana de línea B 0 (0–1) en pacientes con PTDVI  $<18$  mmHg vs. 4 (0–18) en pacientes con PTDVI  $\geq 18$  mmHg, siendo estadísticamente significativa ( $p = 0.002$ ).

Se utilizó el promedio de la relación E/é mitral como subrogado de la función diastólica del ventrículo izquierdo el cual se vio más afectado en el grupo con elevación de la PTDVI  $>18$  mmHg (15 vs. 8.5,  $p = 0.003$ ).

Es de destacar que el NT-proBNP no fue significativamente diferente entre los grupos, con una mediana de NT-ProBNP de 2590 pg/ml (378-4512), siendo de 1949 en el grupo de PTDVI  $<18$  mmHg y 2739 pg/ml en el otro grupo ( $p = 0,57$ ).

**Tabla 1. Características basales de la población.**

Variable	Total (n=61)	PTDVI<18 mmHg	PTDVI≥18 mmHg	p
Mujeres n(%)	16 (26.2)	12(30)	4(19)	0.54
Hombres n(%)	45 (73.8)	28(70)	17(81)	
Peso (kg) Mediana (RIC)	70 (70-79.5)	70(69-78)	74(70-82)	0.27
Talla (m) Mediana (RIC)	1.68 (1.6-1.7)	1.65 (1.59-1.7)	1.7 (1.66-1.7)	0.05
Edad (años) Mediana (RIC)	59 (55-65)	59 (55-66)	59 (54-64)	0.67
Frecuencia cardiaca (lpm) Mediana (RIC)	75(70-86)	72 (69-80)	81 (70-89)	0.12
Tensión arterial sistólica (mmHg) Mediana (RIC)	118(100-130)	118 (100-130)	120 (100-137)	0.92
Tensión arterial diastólica (mmHg) Mediana (RIC)	70(62-79)	66 (60-80)	71 (67-78)	0.23
Presión telediastólica del ventrículo izquierdo (mmHg) Mediana (RIC)	15(8-22)	10 (5-15)	25 (22-31)	<0.005
Número de líneas B Mediana (RIC)	0(0-4)	0 (0-1)	4 (0-18)	0.002
Troponina I de alta sensibilidad (pg/mL) Mediana (RIC)	2.48(0.03-15.34)	2.48 (0.01-26.4)	2.1 (0.07-5.7)	0.76
NT-proBNP (pg/mL) Mediana (RIC)	2590 (378-4612)	1949 (332-4612)	2739 (1248-10644)	0.57
E/e' Mediana (RIC)	9.7(7.9-13)	8.5 (7.9-11)	15 (9-19.9)	0.005
FEVI (%) Mediana (RIC)	48.5(30-58)	54.5 (36-59.5)	29.5 (22-48.5)	0.002

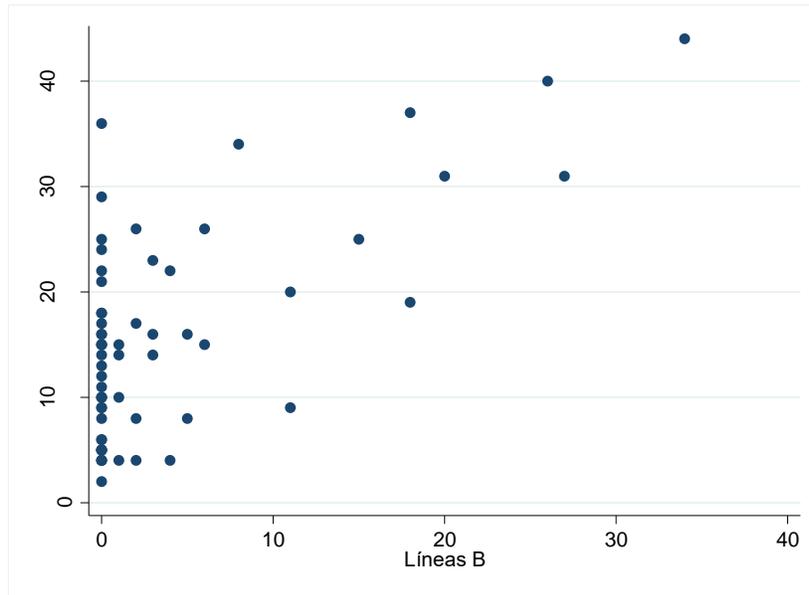


Figura 3. Tabla de correlación entre número de líneas B por US pulmonar y PT-DVI. Coeficiente de correlación de Pearson 0.64 ( $p=0.0001$ ).

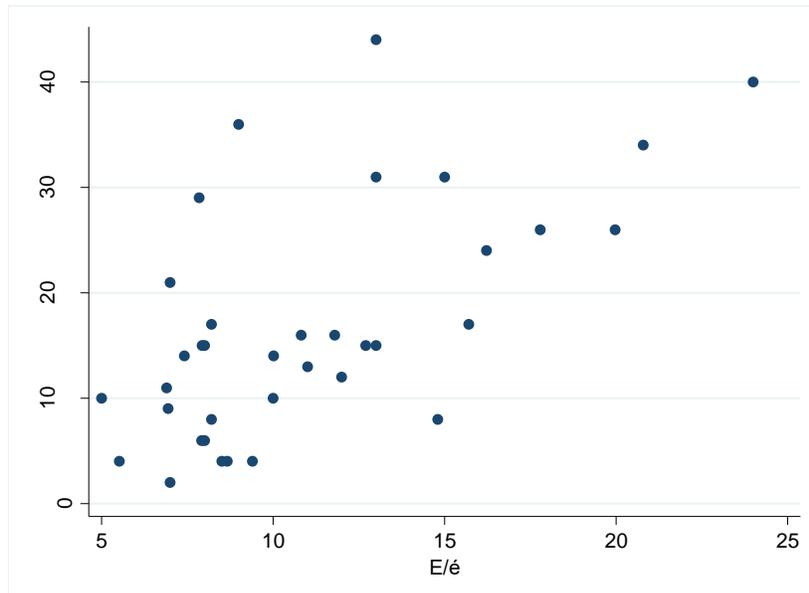


Figura 4. Tabla de correlación entre disfunción diastólica del VI por ecocardiograma medido por relación E/e' y PT-DVI. Coeficiente de correlación de Pearson 0.62 ( $p=0.0001$ ).

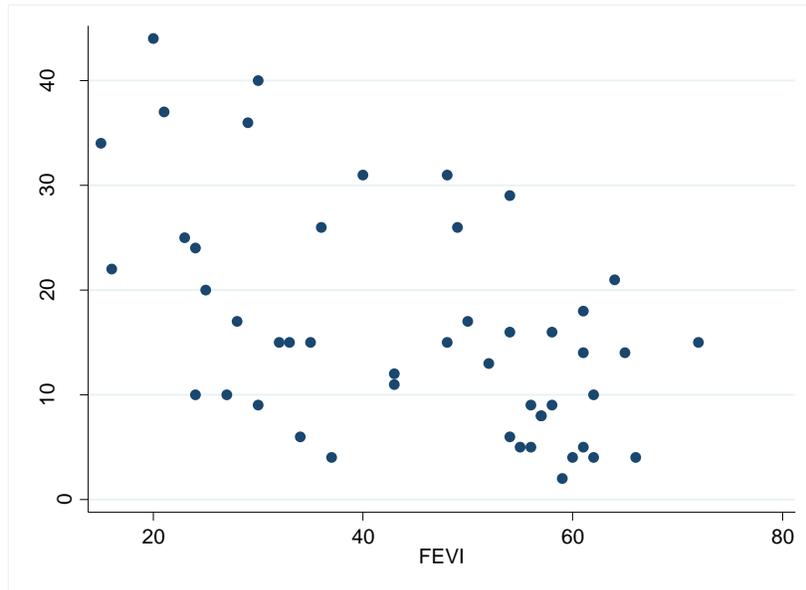


Figura 5. Tabla de correlación entre función sistólica del VI (FEVI) y PTDVI. Coeficiente de correlación de Pearson 0.53 ( $p=0.0001$ ).

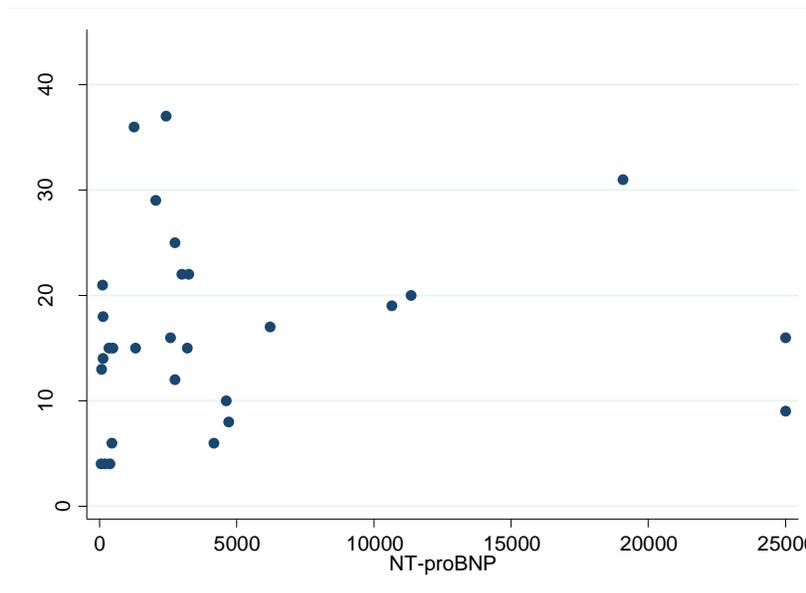


Figura 6. Tabla de correlación entre niveles en sangre de NT-ProBNP y PTDVI. Coeficiente de correlación de Pearson 0.08 ( $p=0.88$ ).

**Tabla 2. Modelo de regresión lineal.**

<b>Variable</b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>P</b>	<b>IC 95%</b>
<b>Líneas B</b>	0.57	0.001	0.24-0.91
<b>E/é</b>	0.78	0.016	0.15-1.42
<b>FEVI</b>	-0.16	0.060	-0.34-0.00

## **DISCUSIÓN**

La medición de las presiones intra cavitarias del ventrículo izquierdo, en particular la PDFVI es un método de estimación de parámetros hemodinámicos que funge como herramienta importante como auxiliar en el diagnóstico de patologías cardiovasculares, así como para guiar su terapéutica o estimación de pronóstico, en particular en el escenario de insuficiencia cardiaca, sin embargo al ser un procedimiento invasivo con riesgos inherentes, en años recientes se han explorado métodos no invasivos que sean confiables para el mismo propósito. Dentro de estos métodos se encuentran el ecocardiograma, los biomarcadores séricos o el USG pulmonar.

En relación al USG pulmonar ha demostrado ser un método confiable para la evaluación del líquido extravascular pulmonar según la presencia de artefactos ultrasonográficos como las líneas B (8). Existen múltiples estudios de correlación entre los parámetros hemodinámicos medidos de forma invasiva con las líneas B observadas por USG pulmonar, sin embargo, todos ellos realizados con cateterismo derecho y uso de un catéter de flotación para una estimación indirecta de las presiones ventriculares izquierdas mediante la presión capilar de enclavamiento pulmonar (PCEP), sin algún estudio al momento con medición directa de las presiones intra ventriculares por cateterismo izquierdo. En nuestro estudio con medición de la PTDVI de forma directa mediante cateterismo izquierdo se encontró una correlación estadísticamente significativa con el número de líneas B en el USG pulmonar, corroborando los resultados encontrados en diversos estudios de correlación usando cateterismo derecho y PCEP (4,25) y demostrando la gran

utilidad de esta herramienta para la estimación de la PTDVI en pacientes en quienes se requiere esta información para guiar el diagnóstico, tratamiento y pronóstico, que al ser una herramienta de fácil acceso seguirá cambiando el paradigma del abordaje del paciente con sospecha de aumento de las presiones intra ventriculares y de congestión pulmonar.

Pudimos corroborar además que parámetros como la estimación de disfunción diastólica mediante parámetros como la relación E/é y la FEVI como indicador de la función sistólica del VI tienen una importante correlación con el número de líneas B por USG pulmonar, dato ya sugerido en varios estudios que compararon la correlación de estas mediciones con las variables hemodinámicas medidas con catéter de flotación pulmonar (23), lo que convierte al USG pulmonar en una herramienta confiable en estimar además la función tanto diastólica como sistólica del VI en ausencia de herramientas para su medición inmediata, lo que ayudará en guiar el manejo de forma inicial y en espera de la estimación dirigida de dichos parámetros ecocardiográficos.

Finalmente los biomarcadores cardiacos, particularmente el BNP y el NT-proBNP han demostrado en diversos estudios una buena correlación con el grado de congestión pulmonar y aún mayor con el pronóstico en insuficiencia cardiaca y la clase funcional, sin embargo su correlación con el aumento de las presiones intra ventriculares izquierdas o la PTDVI no se ha demostrado de manera tan importante, solo con cierta correlación en las mediciones durante el ejercicio y sin correlación de las mediciones en reposo (20), lo que concuerda con nuestros hallazgos al intentar correlacionar la PTDVI con los niveles de NT-proBNP en los cuales no hubo una correlación estadísticamente significativa, lo que si bien nos deja a estos biomarcadores como buenas herramientas para el grado de congestión, la clase funcional y el pronóstico de los pacientes, no podemos inferir a partir de él las presiones intra ventriculares, sobre todo partiendo de la adaptación que pueden tener los pacientes con insuficiencia cardiaca crónica en sus presiones de llenado intra cavitarias antes de manifestar la aparición de líneas B en el USG pulmonar.

## **LIMITACIONES DEL ESTUDIO.**

Las limitaciones de este estudio incluyen su naturaleza de centro único y un tamaño de la muestra pequeño. Por lo tanto, los resultados en este documento deben interpretarse con precaución y se tendrán que confirmar en estudios multicéntricos más amplios. La PTDVI fue considerada como el estándar de oro en nuestro estudio, aunque algunos autores consideran que la presión de la aurícula izquierda media proporciona una mejor estimación de congestión pulmonar.

Las líneas B pueden tener un origen no cardiogénico. Aunque los pacientes con un alto riesgo de falsos positivos en los exámenes de USG pulmonar (fibrosis pulmonar, etc.) fueron excluidos, no podemos descartar la posibilidad de que algunos de los pacientes incluidos en esta cohorte tenían líneas B de origen no cardíaco. Sin embargo, a pesar de estas posibles advertencias de medición, El USG pulmonar produjo una excelente precisión diagnóstica para la PTDVI elevada.

## **CONCLUSIÓN**

Este estudio demuestra la capacidad de diagnóstico de las líneas B para identificar la elevación de la PTDVI en base a la buena correlación que existe entre el número de líneas B y la PTDVI medida de forma directa intra cavitaria, en este caso mediante cateterismo izquierdo y mediciones intra ventriculares izquierdas a diferencia de estudios previos con estimaciones mediante cateterismo derecho y medición de la PCEP, haciendo del USG pulmonar una herramienta confiable para la toma de decisiones.

Además, este estudio demostró una buena correlación entre la PTDVI medida de forma invasiva con la estimación de la función sistólica y diastólica (particularmente mediante la medición de la FEVI y la E/é) mediante ecocardiografía, haciéndolo un parámetro confiable como ya se ha demostrado previamente, y con un nicho de investigación para la correlación indirecta de el USG pulmonar con el ecocardiograma al ser el primero una herramienta relativamente

mas sencilla de utilizar. En relación a correlación entre los biomarcadores séricos y las presiones intra ventriculares izquierdas, estos no demostraron ser un buen parámetro para la estimación de dichas presiones, por lo menos en reposo como fue en este estudio.

#### **Recursos:**

El estudio fue financiado dentro del marco del fondo **otorgado al Instituto Nacional de Cardiología** por parte del Programa de **Calidad de Atención Médica de la Dirección General de Calidad y Educación en Salud, en el rubro de Proyectos de Investigación**, al proyecto titulado “Valor Pronóstico del ultrasonido pulmonar en pacientes con infarto agudo al miocardio en el Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez”. **Este financiamiento ha permitido la adquisición del ultrasonido portátil LG V-Scan Dual Probe, así como la capacitación de los investigadores para su uso.**

#### **Comité de Ética**

Aprobación por los comités de ética e Investigación. No. Protocolo en el INCar: PT-18-084

- **Conflicto de intereses:**

Ninguno de los participantes tiene algún conflicto de interés con cualquier dato que resulte del presente trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Noble VE, Murray AF, Capp R, Sylvia-Reardon MH, Steele DJ, Liteplo A. Ultrasound assessment for extravascular lung water in patients undergoing hemodialysis. Time course for resolution. *Chest* 2009;135:1433–1439.
2. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, Melniker L, Gargani L, Noble VE, Via G, Dean A, Tsung JW, Soldati G, Copetti R, Bouhemad B, Reissig A, Agricola E, Rouby JJ, Arbelot C, Liteplo A, Sargsyan A, Silva F, Hoppmann R, Breikreutz R, Seibel A, Neri L, Storti E, Petrovic T. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med* 2012;38:577–591.
3. Robert A. Slutsky, Linda K. Olson, Dennis Costello, Jeffrey J. Brown. Extravascular Lung Water in Patients with Mitral Stenosis: Relationship to Pulmonary Capillary Wedge Pressure and Kerley B lines. *Radiology* 1984; 153: 317-320.
4. Agricola E, Bove T, Oppizzi M, Marino G, Zangrillo A, Margonato A, Picano E. ‘Ultrasound comet-tail images’: a marker of pulmonary edema: a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest* 2005;127:1690–1695.
5. Agricola E, Picano E, Oppizzi M, Pisani M, Meris A, Fragasso G, Margonato A. Assessment of stress-induced pulmonary interstitial edema by chest ultrasound during exercise echocardiography and its correlation with left ventricular function. *J Am Soc Echocardiogr* 2006;19:457–463.
6. Abraham WT, Adamson PB, Bourge RC, Aaron MF, Costanzo MR, Stevenson LW, Strickland W, Neelagaru S, Raval N, Krueger S, Weiner S, Shavelle D, Jeffries B, Yadav JS. Wireless pulmonary artery haemodynamic monitoring in chronic heart failure: a randomised controlled trial. *Lancet* 2011;377: 658–666.
7. Elke Iatz, AnnMarie Lattanzi, Chioma Agbo, Madoka Tkeuchi, Frederic S. Resnic, Scott D. Solomon, Akshay S. Desai. *European Journal of Heart Failure* 2012; 14, 1276-1284

8. Rantanen NW. Diseases of the Thorax. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 1986;2:49–66
9. Lichtenstein D, Axler O. Intensive use of general ultrasound in the intensive care unit. Prospective study of 150 consecutive patients. *Intensive Care Med.* 1993;19:353–355.
10. Dietrich CF, Mathis G, Blaivas M, et al. Lung artefacts and their use. *Med Ultrason.* 2016;18(4):488–499.
11. Volpicelli G, Mussa A, Garofalo G, et al. Bedside lung ultrasound in the assessment of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Emerg Med.* 2006;24: 689–696.
12. Silvio A. Ñamendys-Silva, Eduardo Garrido-Aguirre, Juan P. Romero-González, Roger G. Mena –Arceo, Oscar Rojo del Moral, Octavio González-Chon. Review Article: Pulmonary Ultrasound, A New Era in Critical Care Medicine. *Ultrasound Quarterly.* Volume 00, Number 00, Mont 2018.
13. S. Coiro, G. Porot, P. Rossignol, et. al Prognostic value of pulmonary congestion assessed by lung ultrasound imaging during heart failure hospitalisation: a two-Centre cohort study, *Sci. Rep.* 6 (2016) 39426.
14. G. Bedetti, L. Gargani, A. Corbisiero, F. Frassi, et. Al Evaluation of ultrasound lung comets by hand-held echocardiography, *Cardiovasc. Ultrasound* 4 (2006) 34.
15. E. Agricola, C. Marini, Lung ultrasound predicts decompensation in heart failure outpatients: another piece to the puzzle but still an incomplete picture, *Int. J. Cardiol.* 240 (2017) 324–325.
16. L.W. Stevenson, J.K. Perloff, The limited reliability of physical signs for estimating hemodynamics in chronic heart failure, *JAMA* 261 (1989) 884–888.
17. S. Chakko, D. Woska, H. Martinez, E. de Marchena, L. Futterman, K.M. Kessler, R.J. Myerberg, Clinical, radiographic, and hemodynamic correlations in chronic congestive heart failure: conflicting results may lead to inappropriate care, *Am. J. Med.* 90 (1991) 353–359
18. Oremus, M. (2014). A systematic review of BNP and NT-proBNP in the

- management of heart failure: overview and methods. *Heart Failure Reviews*, 19(4), 413–419.
19. Bettencourt, P. (2004). NT-proBNP and BNP: biomarkers for heart failure management. *European Journal of Heart Failure*, 6(3), 359–36
  20. Tschöpe, C. (2005). Elevated NT-ProBNP Levels in Patients With Increased Left Ventricular Filling Pressure During Exercise Despite Preserved Systolic Function. *Journal of Cardiac Failure*, 11(5), S28-S33.
  21. O'Donoghue, M. (2005). The Effects of Ejection Fraction on N-Terminal ProBNP and BNP Levels in Patients With Acute CHF: Analysis From the ProBNP Investigation of Dyspnea in the Emergency Department (PRIDE) Study. *Journal of Cardiac Failure*, 11(5), S9-S14.
  22. Andersen, O. S. (2017). Estimating Left Ventricular Filling Pressure by Echocardiography. *Journal of the American College of Cardiology*, 69(15), 1937–1948.
  23. Flachskampf, F. A. (2017). Echocardiographic Algorithms for Detecting Elevated Diastolic Pressures \*. *Journal of the American College of Cardiology*, 69(15), 1949–1951.
  24. Miglioranza, M. H. (2013). Lung Ultrasound for the Evaluation of Pulmonary Congestion in Outpatients. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 6(11), 1141–1151.
  25. Platz, E. (2012). Utility of lung ultrasound in predicting pulmonary and cardiac pressures. *European Journal of Heart Failure*, 14(11), 1276–1284.
  26. Mielniczuk, L. M. (2007). Left Ventricular End-Diastolic Pressure and Risk of Subsequent Heart Failure in Patients Following an Acute Myocardial Infarction. *Congestive Heart Failure*, 13(4), 209–214.
  27. Briennesse, S. C. (2017). Prognostic Value of LVEDP in Acute Myocardial Infarction: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Cardiovascular Translational Research*, 11(1), 33–35.