

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA IGNACIO CHAVEZ

TESIS DE POSGRADO  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN  
**CARDIOLOGÍA CLÍNICA**

**TÍTULO**

**“ CORRELACIÓN ULTRASONOGRÁFICA DE LOS PROTOCOLOS “VExUS” Y “LUS” CON  
CATETERISMO DERECHO-IZQUIERDO EN PACIENTES CON ALTA PROBABILIDAD DE  
HIPERTENSIÓN PULMONAR**

PRESENTA:  
SERGIO MARTIN ALDAY RAMIREZ

DIRECTOR DE ENSEÑANZA:  
DR. CARLOS RAFAEL SIERRA FERNANDEZ

DIRECTOR DE TESIS  
DR. FELIX DAMAS DE LOS SANTOS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MEXICO 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

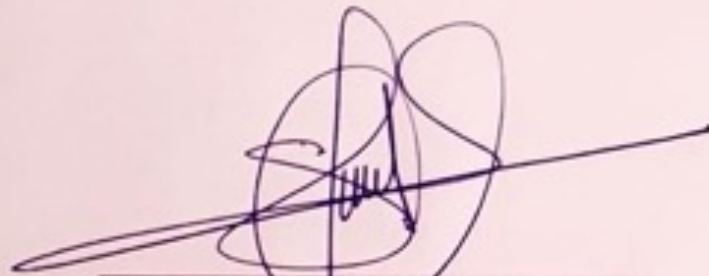
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE MÉDICINA

TÍTULO DE TESIS

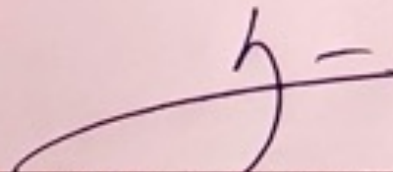
"CORRELACIÓN ULTRASONOGRÁFICA DE LOS PROTOCOLOS "VEXUS" Y "LUS"  
CON CATETERISMO DERECHO-IZQUIERDO EN PACIENTES CON ALTA  
PROBABILIDAD DE HIPERTENSIÓN PULMONAR



SERGIO MARTIN ALBAY RAMIREZ  
PRESENTA



DR. FELIX DAMAS DE LOS SANTOS  
DIRECTOR DE TESIS



DR. CARLOS RAFAEL SIERRA FERNÁNDEZ  
DIRECTOR DE ENSEÑANZA



Dirección de Enseñanza

## ÍNDICE

I. Abreviaturas

II. Antecedentes - Introducción

III. Justificación

IV. Pregunta de investigación

V. Hipótesis

VI. Objetivos

VII. Material y métodos

1) Diseño de la investigación

2) Población y muestra

3) Criterios de inclusión

4) Criterios de exclusión

5) Criterios de eliminación

6) Métodos

7) Análisis estadístico

8) Consideraciones éticas

VIII. Resultados

IX. Discusión

X. Conclusión

XI. Protocolo VExUS con pacientes reales del estudio

XII. Ejemplos de VExUS 1 al 3 y LUS de paciente congestivo

XII. Bibliografía

## I. ABREVIATURAS

AUC (Área bajo la curva)  
2DVI (Presión telediastólica del ventrículo izquierdo)  
PCP (Presión capilar pulmonar)  
PVC (Presión venosa central)  
IRR (Índice de resistencia renal)  
LUS (Lung ultrasound score)  
VExUS (Venous Excess Ultrasound)  
VCI (Vena cava inferior)

## II. ANTECEDENTES

El monitoreo hemodinámico invasivo y no invasivo permite guiar el tratamiento en pacientes estables e inestables. Las medidas terapéuticas incluyen administración de soluciones intravenosas, vasopresores, inotrópicos y tratamiento depletor<sup>17</sup>. Una de las maneras menos invasivas de monitorizar este tipo de estrategias es mediante el uso de la ultrasonografía<sup>1</sup>. Dentro de los protocolos aceptados para la valoración de la sobrecarga hídrica pulmonar secundaria a aumento en las presiones de llenado ventricular izquierdo se encuentran el “Lung Ultrasound Score” (LUS) que implementa la cuantificación de líneas B provenientes de la línea pleural y que traduce presencia de líquido intersticial: ya sea edema pulmonar o infiltrado inflamatorio<sup>2</sup>. La implementación de este protocolo en el manejo diurético de pacientes con insuficiencia cardiaca ha mostrado disminuir el número de descompensaciones y visitas al servicio de urgencias por falla cardiaca agudizada<sup>3,4</sup>. La valoración de la congestión venosa sistémica puede realizarse mediante el protocolo VExUS “Venous Excess Ultrasound”; este se gradúa desde 0 (sin congestión) hasta grado 3 (congestión grave). El punto de partida para considerar a un paciente como congestivo es encontrar una vena cava inferior (VCI) con un diámetro medido a 2 cm evaluada a una distancia de la confluencia con la suprahepática de 1 a 2 cm. Ya sea en su eje transversal o longitudinal. Posteriormente se evalúa el grado de anormalidad en el patrón de vaciamiento de la vena suprahepática, tomándose como patrón normal la deflexión negativa correspondiente a la onda S (sistólica) mayor que la onda D (diastólica) seguida de la onda A reversa. Un patrón anormal leve del flujo suprahepático se considera cuando la onda D tiene una mayor velocidad que la onda S, en este punto la onda A permanece de las mismas características o puede comenzar a adquirir una mayor velocidad. El patrón anormal grave de flujo suprahepático es considerado cuando existe la presencia de onda S reversa y D de velocidad significativamente mayor. Posterior a valorar dicha estructura vascular se procede a analizar el flujo portal. En un estado estable sin congestión vascular el flujo portal tiene un flujo constante con una fracción de pulsatilidad de menos del 30% entre el pico de máxima velocidad y el de mínima velocidad. El grado anormal leve de congestión venosa en este flujo se considera cuando existe una pulsatilidad >30% pero <50% entre las velocidades máxima y mínima. El mayor grado de anormalidad portal es considerado cuando la pulsatilidad es mayor del 50%. Por último, se debe valorar el flujo venoso renal. Este en condiciones normales (sin congestión) es un flujo continuo, conforme existe congestión se puede observar como patrón anormal leve la interrupción del flujo sistólico y diastólico. El patrón anormal grave se observa como la sola presencia de flujo diastólico. Los grados de congestión se dividen del 0 al 3 en donde 0 es equivalente a tener vena cava inferior <2 cm. VEXUS

1 es cuando se tiene VCI >2 cm con al menos un patrón de flujo anormal de grado moderado (ya sea suprahepático, portal o renal). VEXUS 2 involucra: VCI >2 y al menos un patrón de flujo anormal de tipo grave. El VEXUS 3 incluye VCI > 2 cm y la presencia de 2 patrones de flujo gravemente anormales <sup>5</sup>.

A continuación se muestra una imagen de la caracterización de flujos y el grado de congestión correspondiente fig.1

Figura 1: Escala VExUS que muestra el grado de congestión conforme a los diferente patrones: Vena suprahepática, flujo portal y Doppler venoso

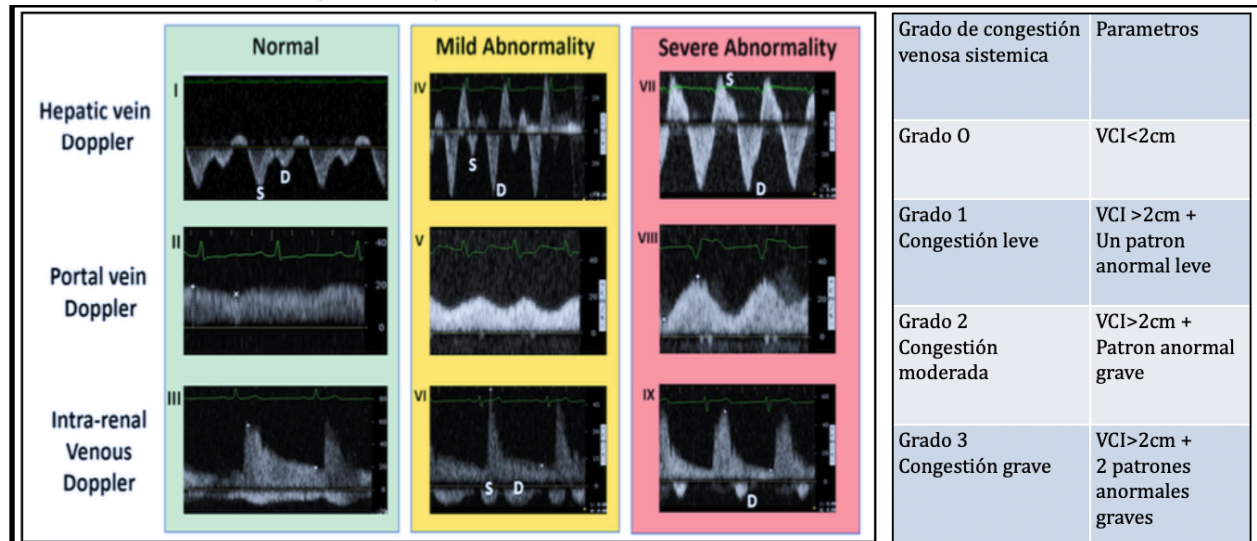


Imagen tomada de: Beaubien-Souligny, William, et al. "Quantifying Systemic Congestion with Point-of-Care Ultrasound: Development of the Venous Excess Ultrasound Grading System." *The Ultrasound Journal*, vol. 12, no. 1, 2020

Este protocolo fue inicialmente probado y validado en 145 pacientes sometidos a cirugía cardíaca en las primeras 72 horas después de cirugía. Inicialmente se crearon 5 prototipos del sistema de valoración de VEXUS utilizando los diferentes marcadores congestión. De todos estos prototipos el VEXUS C con grado de congestión venosa grave (VExUS 3) es el que demostró la asociación de congestión venosa sistémica con desarrollo de lesión renal aguda ( HR: 3.69 CI 1.65–8.24 p = 0.001). Incluso después realizar el ajuste por el riesgo inicial de lesión renal y de soporte farmacológico se mantuvo esta correlación de congestión grave (VExUS 3) en el Prototipo C con riesgo de lesión renal aguda postquirúrgica (HR 2.82, CI 1.21-6.55 p: 0.02) <sup>5</sup>.

En la **figura 2**. se representan los diferentes prototipos estudiados de donde se obtuvo el prototipo final ya descrito (VEXUS C)

Figura 2. En amarillo se ejemplifica el protocolo a utilizar en nuestro estudio

	VExUS A	VExUS B	VExUS C	VExUS D	VExUS E
<b>Grade 0</b>	IVC < 2 cm	IVC < 2 cm	IVC < 2 cm		
<b>Grade 1</b>	IVC ≥ 2 cm <b>Normal patterns</b> <i>(All three of : I, II, III)</i>	IVC ≥ 2 cm <b>Normal patterns</b> <i>(All three of : I, II, III)</i>	IVC ≥ 2 cm <b>Normal patterns or mild abnormalitie(s)</b> <i>(Any combination of : I, II, III, IV, V, VI)</i>	<b>Normal patterns</b> <i>(All three of : I, II, III)</i>	<b>Normal patterns or mild abnormalitie(s)</b> <i>(Any combination of : I, II, III, IV, V, VI)</i>
<b>Grade 2: Mild congestion</b>	IVC > 2 cm <b>Mild abnormality in at least one pattern</b> <i>(At least one of : IV, V, VI)</i>	IVC > 2 cm <b>Mild or severe abnormality in at least one pattern</b> <i>(At least one of : IV, V, VI, VII, VIII, IX)</i>	IVC > 2 cm <b>Severe abnormalities in at least one pattern</b> <i>(At least one of : VII, VIII, IX)</i>	<b>Mild or severe abnormalities in at least one pattern</b> <i>(At least one of : IV, V, VI, VII, VIII, IX)</i>	<b>Severe abnormalities in at least one pattern</b> <i>(At least one of : VII, VIII, IX)</i>
<b>Grade 3: Severe congestion</b>	IVC > 2 cm <b>Severe abnormalities in at least one pattern</b> <i>(At least one of : VII, VIII, IX)</i>	IVC > 2 cm <b>Mild or severe abnormalities in multiple patterns</b> <i>(At least two of : IV, V, VI, VII, VIII, IX)</i>	IVC > 2 cm <b>Severe abnormalities in multiple patterns</b> <i>(At least two of : VII, VIII, IX)</i>	<b>Mild or severe abnormalities in multiple patterns</b> <i>(At least two of : IV, V, VI, VII, VIII, IX)</i>	<b>Severe abnormalities in multiple patterns</b> <i>(At least two of : VII, VIII, IX)</i>

Imagen tomada de Beaubien-Souigny, William, et al. "Quantifying Systemic Congestion with Point-of-Care Ultrasound: Development of the Venous Excess Ultrasound Grading System." *The Ultrasound Journal*, vol. 12, no. 1, 2020

El sustento fisiológico en las características del flujo venoso normal parte de su naturaleza pulsátil. La pulsatilidad de dichos lechos vasculares refleja las ondas de presión transmitidas en la aurícula derecha a través del ciclo cardíaco. Debido a la complianza que existe en las paredes venosas el flujo pulsátil se convierte en flujo continuo conforme se aleja del compartimiento central<sup>6</sup>. Ejemplo de esto es la pulsatilidad de la vena suprahepática en comparación con el flujo continuo portal y venoso renal. Cuando se presenta la congestión venosa el aumento en la presión de la aurícula derecha propicia una disminución en la complianza de las paredes venosas y por lo tanto una mayor transmisión de la presión a través de estas originando un flujo pulsátil en vez de continuo. La cuantificación de este flujo pulsátil a través de los diferentes lechos venosos en relación con sus parámetros basales ayuda a identificar el grado de congestión venosa sistémica mediante el uso de la ecografía<sup>5</sup>.

### Flujo suprahepático

La comprensión del flujo suprahepático depende de la cercanía inmediata que guarda con la vena cava inferior y la aurícula derecha. La característica normal de las ondas anterógradas "S" y "D" son producto de los descensos "X" y "Y" en la morfología de la onda de presión venosa central (PVC). En algunas ocasiones se puede distinguir una onda reversa entre la onda S y la D esta onda recibe el nombre de "V" y corresponde con la onda "V" de la PVC. Por último, posterior a la onda D aparece una onda reversa llamada "A" esta es la correspondiente con la onda "a" de la PVC. A continuación un esquema de la morfología normal del flujo suprahepático<sup>18</sup>.

Figura 3. Flujograma suprahepático en correlación con electrocardiograma y curva de presión auricular

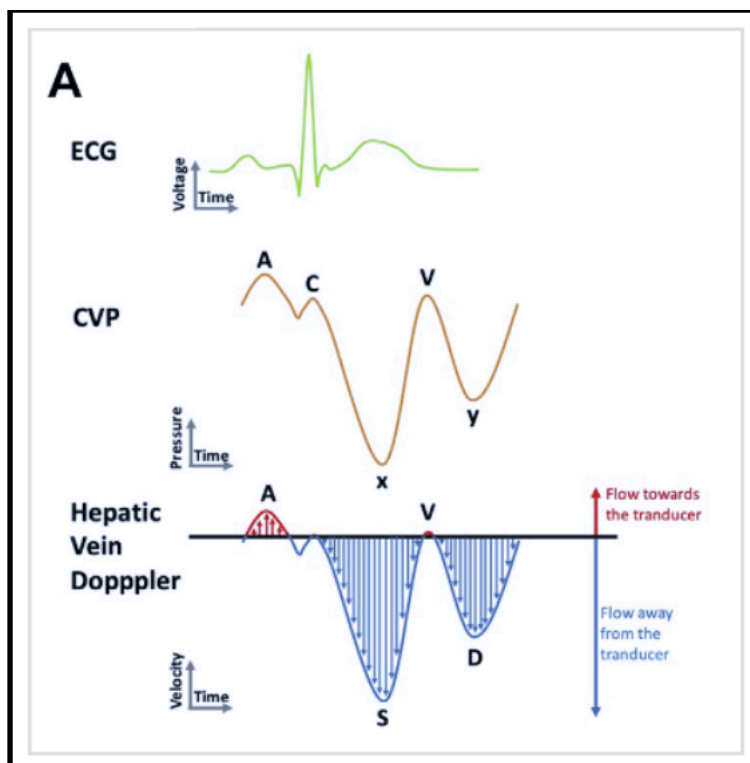


Imagen tomada de: Argaiz, E. (2021). VExUS Nexus: Bedside Assessment of Venous Congestion. *Advances In Chronic Kidney Disease*, 28(3), 252-261.

En presencia de patologías que propicien alteraciones en el llenado ventricular derecho se observarán alteraciones en la dirección y velocidad de ondas suprahepáticas. Conforme aumenta la presión en la aurícula derecha se pierde el gradiente que existe entre esta y la vena suprahepática, ocasionando así la disminución del flujo anterógrado sistólico y en consecuencia la disminución de la amplitud de la onda S en el ecocardiograma<sup>19</sup>. La presencia de disfunción ventricular derecha o insuficiencia tricuspídea también resulta en disminución de la velocidad de la onda S y en casos graves incluso la presencia de onda S reversa. En presencia de aumento en el volumen auricular derecho y un ventrículo derecho no compliante cómo en los casos de hipertensión pulmonar grave típicamente se presenta un aumento significativo en la amplitud de la onda A y la onda V. Debido a los múltiples determinantes que se encuentran en el flujograma suprahepático la descripción morfológica es amplia y por lo tanto su asociación con la presión en la aurícula derecha tiende a ser subóptima<sup>18</sup> es por eso que es importante tomar en cuenta más parámetros para determinar adecuadamente la congestión venosa sistémica por medio del protocolo VExUS<sup>25, 30</sup>.

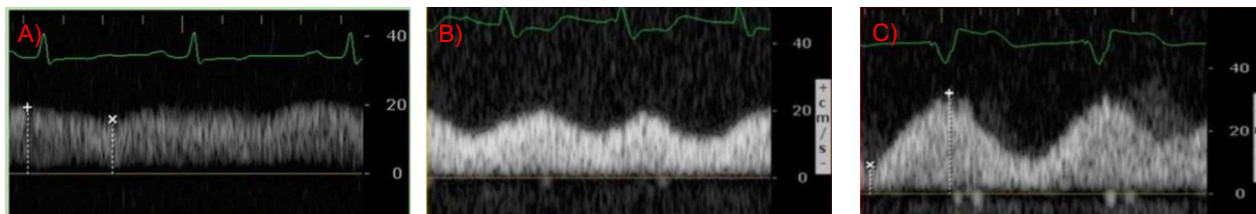
### Comprensión del flujo venoso portal

Los primeros trabajos publicados en la literatura acerca del flujograma portal en relación a cambios ocasionados por insuficiencia cardíaca datan de los años 90s en donde se evidencio la presencia de flujo retrógrado monofásico (variabilidad portal), con pico de mayor velocidad correspondiente con la diástole ventricular y pico de menor velocidad o incluso flujo reverso en relación a la sístole ventricular, este trabajo también hizo noción a las primeras descripciones del flujo



portal normal con variantes en sujetos sanos en donde considero una discreta variabilidad portal dada por la transmisión de la circulación hepática arterial hacia los sinusoides <sup>13</sup>. En un estudio de 17 pacientes adultos con insuficiencia cardiaca se realizó un análisis comparativo del patrón de pulsatilidad portal en relación con las presiones determinadas por catéter de Swang Ganz: la presencia de pulsatilidad más del 25% se relaciono con al menos una presión de 10 mmhg en la aurícula derecha, en aquellos con pulsatilidad del 100% se observó una presión en la aurícula derecha de 20mmhg. <sup>14</sup>. A continuación se ejemplifican los diversos grados de pulsatilidad portal.

Figura 4. Diferentes tipos de flujograma portal con base a su grado de congestión de izquierda a



A): porta no pulsátil, B) pulsatilidad del 30%-50% C): pulsatilidad >50%.

Imagen tomada de: Beaubien-Souligny, William, et al. "Quantifying Systemic Congestion with Point-of-Care Ultrasound: Development of the Venous Excess Ultrasound Grading System." *The Ultrasound Journal*, vol. 12, no. 1, 2020

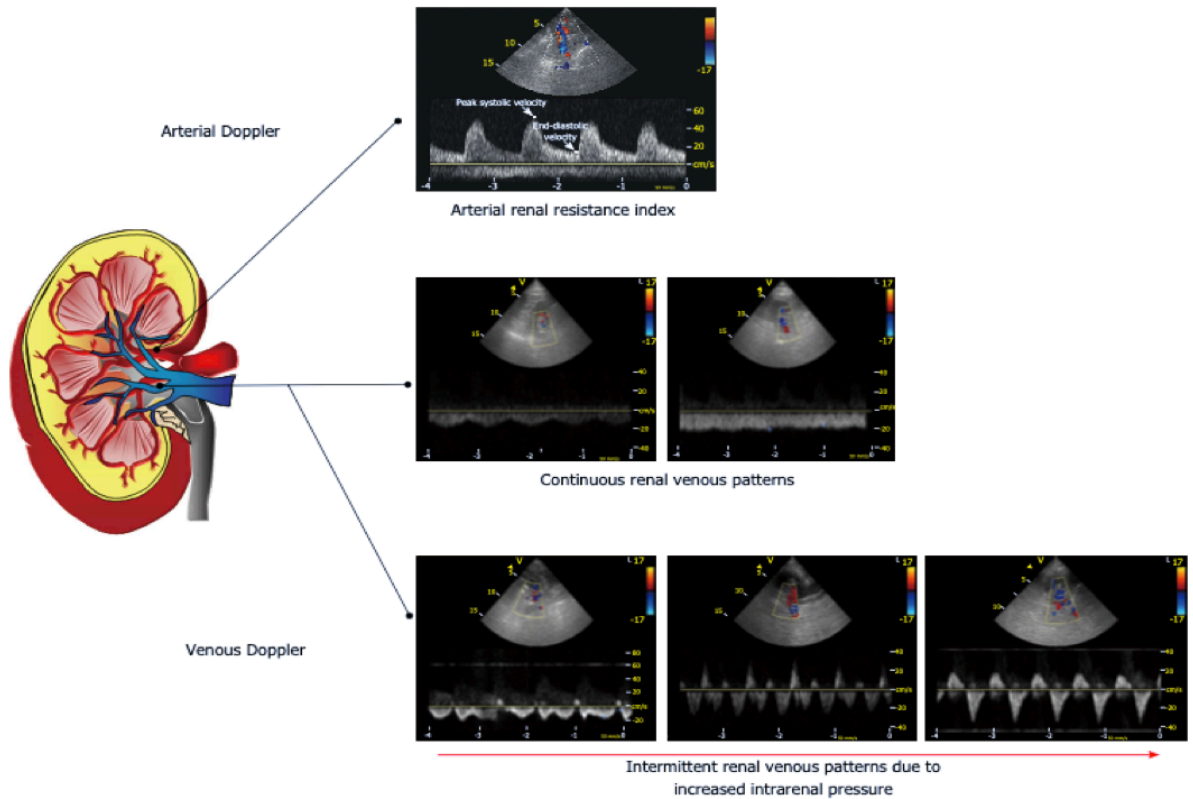
El grupo de trabajo de André Y. Denault realizado en Quebec Canadá en el 2016 en donde se analizó de manera retrospectiva a pacientes que se sometieron a cirugía cardiaca con flujograma portal en al menos una semana de haber sido intervenidos quirúrgicamente. En el análisis de regresión multivariado y univariado de 132 pacientes se evidencio que la presencia de flujo portal pulsátil significativo (>50%) correlaciona con la presencia de lesión renal aguda (OR 4.31 IC: 1.5-12.35, P=0.007) <sup>7</sup>. Un estudio similar analizó de manera prospectiva que los hallazgos sugestivos de congestión venosa por flujograma portal y renal se correlaciona con la presencia de lesión renal posterior a la cirugía <sup>8</sup>. Estudios más robustos han demostrado que la pulsatilidad >50% del flujo portal previo a cirugía cardiaca predice disfunción ventricular derecha, mayor número de días de ventilación mecánica, permanencia en unidad de cuidados críticos y días de estancia intrahospitalaria <sup>9</sup>. La congestión venosa también se ha relacionado con desenlaces neurológicos como delirium y encefalopatía congestiva <sup>10</sup>.

Probablemente el componente del score VExUS qué mejor predice desenlaces es el flujo portal <sup>12</sup>. Ya que incluso se ha llegado a considerar como objetivo terapéutico dado que ha demostrado ser un marcador pronóstico fidedigno de hospitalizaciones futuras en pacientes con insuficiencia cardiaca <sup>11-12</sup>. la pulsatilidad portal >50% infiere la presencia disfunción cardiaca derecha y por lo puede relacionarse con hepatopatía congestiva concomitante esto a su vez con peores desenlaces en mortalidad por todas las causas (hazard ratio, 1.028, P<0.001) <sup>13-16</sup>.

### Interpretación del flujo venoso renal.

Debido a que las arterias y venas interlobares se encuentran dispuestas en paralelo ambos vasos son frecuentemente interrogados y dispuestos en dirección contraria en la línea de base correspondiente al volumen muestra.

Figura 5. Flujograma renal arterial y venoso que demuestra el índice de resistencia renal y los grados de congestión venosa con base al patrón venoso



**Figure 1** The arterial and venous Doppler evaluation is summarised. For renal venous Doppler the continuous and intermittent patterns are represented.

Imagen tomada de: Grande, Dario, et al. "Role of Imaging in the Evaluation of Renal Dysfunction in Heart Failure Patients." *World Journal of Nephrology*, vol. 6, no. 3, 2017, p. 123.

El flujo con deflexión positiva que se inscribe sobre la línea de base es el flujo arterial. El índice de resistencia renal (IRR) es una variable comúnmente utilizada que se calcula a través del análisis espectral de la onda de flujo arterial a nivel de los vasos segmentarios a través de la fórmula de Pourcelot (velocidad sistólica máxima-velocidad sistólica mínima dividido entre la velocidad sistólica máxima <sup>21</sup>. En adultos sanos el IRR es de 0.60 con una diferencia de 5 al 8% entre ambos riñones. Un IRR >0.7 es considerado como anormal y generalmente se correlaciona con desenlaces desfavorables como resistencia a diuréticos, deterioro de la función renal, progresión de insuficiencia cardiaca, hospitalización por insuficiencia cardiaca y mayor mortalidad. <sup>20, 23, 24.</sup>

El Doppler venoso renal normal es continuo o con un grado muy leve de pulsatilidad. Los determinantes del flujo renal son la variabilidad respiratoria la presión auricular derecha, presión intra-abdominal y el parénquima renal <sup>22</sup>. Una mayor presión venosa renal causa congestión de los capilares peritubulares y glomerulares reduciendo así el gradiente arteriovenoso para la apropiada circulación renal. El grado de congestión renal se transmite a nivel peritubular y glomerular capilar a mayor grado de congestión se perderá por ende el gradiente arteriovenoso en la circulación renal y por lo tanto existirá un deterioro en el flujo sanguíneo renal. En un riñón normal la tasa de filtrado glomerular se mantendrá hasta cierto punto a expensas de los mecanismos de autorregulación. Cuando estos mecanismos se ven rebasados por el grado de congestión existirá entonces hipertensión intersticial y por lo tanto deterioro del filtrado glomerular y finalmente lesión

renal aguda. El espectro de congestión venosa renal de tipo leve (bifásico) es aquel que se observa una fase sistólica y una fase diastólica por separado. El espectro de congestión venosa renal grave es aquel que solamente se observa flujo la fase diastólica (monofásico)<sup>20</sup>. ver figura 5

Estudios realizados en pacientes con insuficiencia cardiaca han demostrado que el grado de congestión renal caracterizado por un flujo discontinuo y monofásico se correlaciona con desenlaces clínicos independientemente de los factores pronósticos convencionales de insuficiencia cardiaca<sup>26, 27</sup>

El uso de VExUS permite graduar el grado de congestión en diferentes tipos de pacientes. su aplicabilidad se da principalmente en pacientes con miocardiopatía izquierda con repercusión derecha (hipertensión pulmonar grupo 2) y aquellos que son puramente derechos (hipertensión pulmonar del grupo 1,3,4,5). En estos pacientes la graduación de congestión con base a la variabilidad portal, flujo venoso renal y en ocasiones vena suprahepática permite guiar el tratamiento depletor<sup>25</sup>. En un estudio de seguimiento ultrasonográfico con protocolo VExUS en pacientes con síndrome cardiorenal posoperatorio se demostró que la mejora de la función renal tenía relación con el grado de congestión en el 87% de los pacientes evaluados no así con los datos clínicos de congestión venosa sistémica. Esto enfatiza la necesidad de una herramienta complementaria a la valoración clínica<sup>28</sup>. Existe escasa evidencia de la utilidad clínica del VExUS en el contexto de cardiopatías congénitas ya que tan solo hay reportes de caso en donde se guio la descongestión con base a los hallazgos ultrasonográficos por dicha escala<sup>29</sup>. Recientemente se realizo un estudio de correlación entre la presión auricular derecha y el protocolo VExUS en pacientes admitido a unidad de cuidados intensivos. En este estudio se encontró una correlación de  $R^2 = 0.68$  ( $P < 0.001$ ). Además de tener un área bajo la curva de 0.99, (IC 0.96-1) para identificar PAD >12 mmHg<sup>35,36</sup>.

### III. JUSTIFICACIÓN

Las herramientas no invasivas actualmente validadas para la estimación de la presión auricular, presión telediastólica del ventrículo derecho y presión arterial pulmonar (media y sistólica) tienden a ser poco precisas. En los pacientes con hipertensión pulmonar dichas herramientas son todavía más imprecisas para la toma de decisiones y la necesidad de cateterismo venoso se vuelve prioritario para el seguimiento terapéutico. Esto sucede por la capacidad de adaptabilidad del sistema de capacitancia venoso que se ubica por detrás de la aurícula derecha (vena cava superior, vena cava inferior). El protocolo VExUS evalúa de manera integral la vena cava inferior, vena suprahepática, vena porta y flujo venoso renal. Este protocolo ayudara a predecir el grado de congestión venosa sistémica y tentativamente el grado de hipertensión pulmonar. Poco se conoce acerca de la correlación de dicho protocolo con las presiones de llenado de manera invasiva en pacientes con hipertensión pulmonar.

### IV. PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿Cuál es la correlación que existe entre el método no invasivo (ultrasonografía a través del protocolo VExUS y LUS) y las presiones de llenado del ventrículo derecho e izquierdo?

## **V. HIPOTESIS**

H1. El grado de congestión venosa sistémica en pacientes con hipertensión pulmonar evaluada por VExUS se correlaciona adecuadamente con el aumento en las presiones de llenado en la aurícula derecha y/o telediastólica del ventrículo derecho. El grado de congestión venosa pulmonar en pacientes con hipertensión pulmonar evaluado por el protocolo LUS se correlaciona con el aumento en las presiones de llenado en la aurícula izquierda o el aumento en la presión capilar pulmonar.

H2. El grado de congestión venosa sistémica y pulmonar evaluada por los protocolos VExUS y LUS no correlaciona con el aumento en las presiones de llenado valoradas mediante cateterismo derecho-izquierdo.

## **VI. OBJETIVOS**

Objetivo primario

- Correlacionar el grado de congestión venosa sistémica a través del protocolo VExUS con las presiones de llenado invasivas valoradas mediante el cateterismo derecho-izquierdo en pacientes con hipertensión pulmonar

Objetivos secundarios

- Analizar de manera individual cada parámetro del protocolo VExUS en relación con las presiones de auriculares y ventriculares derecha - izquierda
- Con base al grado de congestión (VExUS y LUS) predecir estancia hospitalaria prolongada (determinada >14 días).
- Estimar el grado de correlación que existe con el puntaje del protocolo LUS en relación con las presiones de llenado del ventrículo izquierdo (PCP o D2VI)

## **VII. MATERIAL Y METODOS**

### **1. Diseño del estudio**

Estudio longitudinal, prospectivo y observacional realizado con una cohorte de pacientes ingresados al área de cardioneumología para realización de cateterismo derecho-izquierdo con o sin angiografía pulmonar de julio 2022 a diciembre 2022. Con diagnóstico de probabilidad alta de hipertensión pulmonar definida por ecocardiograma transtorácico.

### **2. Población en estudio**

Pacientes de ambos sexos mayores a 18 años, admitidos al piso de cardioneumología del Instituto Nacional de Cardiología “Dr. Ignacio Chávez”, para el diagnóstico y/o seguimiento de hipertensión pulmonar.

### **3. Criterios de inclusión**

- \_ Pacientes mayores de 18 años, hombres o mujeres
- \_ Pacientes con sospecha fundamentada por ecocardiografía de hipertensión pulmonar
- \_ Candidatos a realización de cateterismo derecho izquierdo

- Hemodinámicamente estables “sin vasopresores y sin inotrópico”
- Enfermedad renal crónica KDIGO G1 a G4

#### 4. Criterios de exclusión

- Trombosis de la vena cava inferior
- Cirrosis hepática por cualquier etiología que no sea cardíaca
- Hepatocarcinoma
- Enfermedad de Bud-Chiari
- Enfermedad renal crónica KDIGO G5 con o sin terapia de sustitución renal
- Malformaciones arteriovenosas renales
- Tumoraciones renales

#### 5. Criterios de eliminación

- Pacientes que no deseen ser evaluados mediante ultrasonido
- Pacientes que se pierdan en el seguimiento

#### 6. Métodos

Todo aquel paciente con criterios de inclusión y sin criterios de exclusión admitidos al piso de cardioneumología desde el mes de junio 2022 hasta diciembre 2022 se les realizó USG abdominal (con los quipos: VINNO Serie Q o Phillis AFINITII). En las primeras 12 horas del cateterismo derecho-izquierdo con angiografía. Se recopiló las siguientes variables: Género, edad, altura, peso, índice de masa corporal, hipertensión, tabaquismo, dislipidemia, diabetes, niveles de NTproBNP, Creatinina, Nitrógeno uréico sérico, hemoglobina, bilirrubinas totales, grupo de hipertensión pulmonar, grosor del septum interventricular, pared posterior del ventrículo izquierdo, diámetro telediastólico y telesistólico del ventrículo izquierdo, volumen telediastólico y telesistólico del ventrículo izquierdo, fracción de eyección del ventrículo izquierdo, índice de masa del ventrículo izquierdo, volumen auricular izquierdo, volumen auricular izquierdo indexado, velocidad de la onda e,a, velocidad tisular de la onda e´septal y lateral, cálculo de la relación E/A y relación E/é promedio, volumen auricular indexado, diámetros: basal, medio, y longitudinal del ventrículo derecho en telediástole, excursión sistólica del plano valvular tricúspideo (TAPSE), velocidad de la onda S mediante Doppler tisular del plano valvular tricúspide en su porción lateral, área telediastólica y telesistólica del ventrículo derecho así como el cálculo de la fracción de acortamiento, presión sistólica de la arteria pulmonar estimada por método de Bernoulli, vena cava inferior y su colapsabilidad. Como parte del protocolo VEXUS se evaluará: diámetro de la vena cava inferior, patrón de velocidades de la vena suprahepática, variabilidad de la velocidad de la vena porta, patrón de flujo venoso renal. Como parte del protocolo LUS: se analizarán un total de 6 campos pulmonares por cada hemitórax en búsqueda de líneas B. En cada campo pulmonar se dará una puntuación de acuerdo con la cantidad de líneas B y el patrón ultrasonográfico: normal =0, líneas B bien definidas=1, líneas B coalescentes=2, consolidación =3. El rango va de 0-36. Las variables del cateterismo serán presión venosa central, presión de la aurícula derecha en telesístole ventricular, presión media de la arteria pulmonar, presión sistólica

de la arteria pulmonar, presión de enclavamiento de la arteria pulmonar (presión capilar pulmonar) o presión en la aurícula izquierda. Gasto cardiaco por termodilución o por Fick indirecto. En el seguimiento a corto plazo se analizarán: días de estancia hospitalaria.

**Tabla 1. Variables sociodemográficas**

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable y escala</b>	<b>Unidades</b>
<b>Fecha de ingreso</b>	Nominal	Día, mes y año
<b>Fecha de cateterismo</b>	Nominal	Día, mes y año
<b>Días de estancia hospitalaria</b>	Nominal	Días
<b>Edad</b>	cuantitativa	Años
<b>Peso</b>	cuantitativa	Kilogramos
<b>Talla</b>	cuantitativa	Metros
<b>Indice de masa corporal</b>	Cuantitativa	Kg /m <sup>2</sup>
<b>Sexo</b>	Cualitativa	Hombre / Mujer
<b>Hipertensión</b>	Cualitativa	Si / No
<b>Tabaquismo</b>	Cualitativa	Si / No
<b>Dislipidemia</b>	Cualitativa	Si / No
<b>Diabetes mellitus</b>	Cualitativa	Si / No
<b>NtproBNP</b>	Continua	pg/dl
<b>Creatinina</b>	Continua	mg/dl
<b>Hemoglobina</b>	Continua	mg/dl
<b>Bilirrubinas totales</b>	Continua	mg/dl
<b>Tasa de filtrado glomerular</b>	Continua	ml/min/1.73m <sup>2</sup>
<b>Grupo de Hipertensión pulmonar</b>	Cualitativa	Grupo 1 al 5

**Tabla 2. Variables ecocardiografías**

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable y escala</b>	<b>Unidades</b>
<b>Grosor del septum interventricular en telediástole</b>	Cuantitativa	Milímetros
<b>Grosor de la pared posterior en telediástole</b>	Cuantitativa	Milímetros
<b>Diámetro diastólico del ventrículo izquierdo</b>	Cuantitativa	Milímetros
<b>Diametro sistémico del ventrículo izquierdo</b>	Cuantitativa	Milímetros
<b>Volumen telediastólico y telesistólico del ventrículo izquierdo</b>	Cuantitativa	Mililitros
<b>Fracción de eyección del ventrículo izquierdo</b>	Cuantitativa	Porcentaje
<b>Índice de masa del ventrículo izquierdo</b>	Cuantitativa	g/m <sup>2</sup>
<b>Área auricular izquierda</b>	Cuantitativa	Centímetros cuadrados
<b>Volumen auricular izquierda</b>	Cuantitativa	Mililitros
<b>Volumen auricular izquierdo indexado</b>	Cuantitativa	Mililitros/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad de la onda E y A</b>	Continua	cm/seg
<b>Velocidad tisular de la onda e´</b>	Continua	cm/seg
<b>Relación EA</b>	Continua	Proporción
<b>Relación E/e´</b>	Continua	Proporción
<b>Área auricular derecha</b>	Cuantitativa	Centímetros cuadrados
<b>Diámetros telediastólicos del ventrículo derecho</b>	Cuantitativa	milímetros
<b>TAPSE</b>	Cuantitativa	milímetros
<b>Onda S´ Tricuspídea</b>	Cuantitativa	cm/seg

Variable	Tipo de variable y escala	Unidades
Fracción de acortamiento del VD	Cuantitativa	Porcentaje
Presión arterial sistólica calculada por método de Bernoulli	Cuantitativa	mmHg
Diámetros de la vena cava inferior	Cuantitativa	Milímetros
Colapsabilidad de la vena cava	Cuantitativa	Porcentaje

**Tabla 3. Variables para la escala VEXUS**

Variable	Tipo de variable y escala	Unidades
Diametro della vena cava inferior	Cuantitativa	milímetros
Colapsabilidad de la Vena Cava inferior	Cuantitativa	Porcentaje
Patrón de flujo suprahepático	Cuantitativa	Relación
Variabilidad de la vena porta	Cuantitativa	Porcentaje
Patrón de flujo venoso renal	Cuantitativa	Relación

**Tabla 4. Variables para la escala LUS**

Variable	Tipo de variable y escala	Unidades
Puntaje LUS	Cuantitativa	Numerico
Patrón LUS	Cualitativo	Tipo de patrón



**Tabla 5. Variables del cateterismo derecho-izquierdo**

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable y escala</b>	<b>Unidades</b>
<b>Presión auricular derecha</b>	Cuantitativa	mmHg
<b>Presión telediastólica del ventrículo derecho</b>	Cuantitativa	mmHg
<b>Presión arterial pulmonar sistólica y media</b>	Cuantitativa	mmHg
<b>Presión capilar pulmonar</b>	Cuantitativa	mmHg
<b>Presión telediastólica del ventrículo izquierdo</b>	cuantitativa	mmHg
<b>Gasto cardíaco por termodilución</b>	Cuantitativa	Litros / min

<b>Variable (desenlace clínico)</b>	<b>Tipo de variable y escala</b>	<b>Unidades</b>
<b>Días de estancia hospitalaria</b>	Cuantitativa	Días

#### 7. Análisis estadístico

Las variables categóricas se expresaron con la mediana y el rango intercuartil. Las variables continuas se expresaron como media desviación estándar. La distribución de las variables se evaluó mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilk. El rendimiento de discriminación de las diferentes puntuaciones se evaluó mediante la construcción de curvas características operativas del receptor (ROC) y mediante el cálculo del AUROC con intervalo de confianza (IC) del 95%. Los análisis se realizaron utilizando STATA V. 17.0 Los valores con  $P < 0.05$  se consideraron estadísticamente significativos.

#### 8. Consideraciones éticas

Esta tesis se trata de un estudio observacional. No se realizó intervención experimental en los pacientes y el ultrasonido se practica actualmente a todos los pacientes ingresados para determinar su estado de volumen intravascular. Los recursos materiales utilizados no representaron coste adicional para el paciente ni para el instituto. Las mediciones ultrasonográficas y ecocardiografías fueron realizadas de manera convencional en todos los pacientes del área de cardiología.

### VIII. Resultados

Se incluyeron un total de 41 pacientes con alta probabilidad de hipertensión pulmonar por ecocardiograma transtorácico, el 93% (38 pacientes). Se confirmó hipertensión pulmonar por cateeterismo cardiaco derecho. El 61% (25) de los pacientes fueron mujeres. La mediana de edad fue de 48 años. La proporción de pacientes con hipertensión pulmonar por grupos fue por orden descendente 46% (19) con hipertensión pulmonar del grupo I, 41% (17) con hipertensión pulmonar del grupo IV, 3 pacientes con hipertensión pulmonar del grupo II (7.3%) y un paciente con hipertensión pulmonar del grupo III y un paciente con hipertensión pulmonar del grupo V. El promedio de estancia hospitalaria fue de 11 días y solo el 38% tuvieron una estancia hospitalaria prolongada (determinada por >14 días hospitalizado). El resto de las características sociodemográficas y bioquímicas se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6. Características sociodemográficas y bioquímicas de la población**

Características	N= 41
Edad	48 (38, 55)
Sexo- Mujeres (%)	25 (61%)
Índice de masa corporal	25 (21.3, 28.5)
Hipertensión (%)	6 (15%)
Tabaquismo (%)	15 (37%)
Dislipidemia (%)	7 (17%)
Diabetes (%)	7 (17%)
Nt-proBNP (pg/ml)	300 (68, 1168)
Creatinina (mg/dl)	0.8 (0.68-0.98)
BUN (mg/dl)	20 (16, 44.6)
Tasa de filtrado glomerual (ml/min/1.73m <sup>2</sup> )	103 (91,112)
Bilirrubinas totales (mg/dl)	0.75 (0.51-1.31)
Grupo de hipertensión pulmonar (%)	38 (93%)
1	19 (46%)
2	3 (7.3%),
3	1 (2.4%)
4	17 (41%)
5	1 (2.4%)
Clase funcional de la OMS (%)	
1	15 (37%)
2	13 (32%)
3	10 (24%)
4	2 (4.9%)
5	1 (2.4%)
Caminata de 6 minutos (m)	392 (338, 455)
Días de estancia hospitalaria	11 (5, 16)
*Estancias prolongada (%)	15 (38%)

Estancia prolongada definido como >14 días hospitalizado

## Parámetros ecocardiográficos

Los diámetros ventriculares derechos en los segmentos basales y medios fueron significativamente mayores: diámetro basal de 51mm (42,56 mm), diámetro medio: 37mm (31,45mm) con respecto al punto de corte de la normalidad. Esto supone cavidades ventriculares derechas dilatadas. La función ventricular circunferencial derecha en promedio resulto disminuida (FACVD): 29% (21,37%), en cambio al función longitudinal del ventrículo derecho en promedio se encontró limítrofe: Excursión sistólica del anillo tricuspídeo (TAPSE) en 17.5mm (13,1mm) y onda S tricuspídea (S't) en 10.4 cm/seg (8,12cm/seg), el valor promedio del índice de rendimiento miocárdico fue de 0.78 (elevado y por lo tanto alterado), el valor de acoplamiento ventrículo arterial estimado por la relación TAPSE/PSAP fue de 0.28mm/mmHg (normal >0.55). En promedio la velocidad máxima de regurgitación tricuspídea fue del 3.7m/seg. Todos los pacientes tuvieron función ventricular izquierda conservada con FEVI del 68% (61,74), solo 20% de los pacientes manifestaron datos sugestivos de disfunción diastólica. Solo existieron 2 pacientes con valvulopatía izquierda: uno con insuficiencia mitral grave y otra con estenosis mitral grave. Resto de parámetros en la **tabla 7 y 8**

**Tabla 7. Características ecocardiografías de la población**

Característica	
Fracción acortamiento del ventriculo derecho: FACVD (%)	29 (21, 37)
Excusión sistolica del plano valvula tricúspide: TAPSE (mm)	17.5 (13, 21)
Onda S tricuspídea S't (cm/seg)	10.4 (8, 12)
Indice de rendimiento miocárdico (indice de TEI)	0.78 (0.61-1.31)
Acoplamiento ventriculo arterial (TAPSE/ PSAP)	0.28 (0.13, 0.41)
Velocidad maxima de regurgitación tricuspídea (m/seg)	3.7 (3, 4.4)
Presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP: mmHg)	72 (mmHg)
Tiempo de aceleración del ITV pulmonar (mseg)	72 (56, 83)
Diámetros ventriculares derechos (mm)	
Basal	51 (42, 56)
Medio	37 (31-45)
Longitudinal	77 (70-85)
Volumen de la auricular derecha indexada ml/m2	44 (35, 81)
Fracción de eyección del ventriculo izquierdo (%)	68 (61,74)
Geometría ventricular	
Normal	11 (27%)
Remodelado concéntrico	28 (68%)
Hipertrofia concéntrica	2 (5%)
Hipertrofia excéntrica	-
Función diastólica	
Normal	13 (32%)
Indeterminada	18 (45%)
Disfunción diastólica	9 (22%)
Volumen de la auricular izquierda indexada ml/m2	22 (15, 28)

**Tabla 8. Valvulopatías asociadas**

Valvulopatía Aortica	0 (0%)
Valvulopatía mitral	
Estenosis mitral moderada	1 (2.4%)
Estenosis mitral grave	1 (2.4%)
Insuficiencia mitral moderada	2 (4.9%)
Insuficiencia mitral grave	1 (2.4%)
Valvulopatía tricuspídea	
Insuficiencia leve y moderada	17 (42%)
Insuficiencia grave	15 (38%)
Valvulopatía pulmonar	
Insuficiencia leve y moderada	34 (83%)
Insuficiencia grave	7 (17%)

**Características del VExUS**

El diámetro de la vena cava en promedio fue de 20mm (15,24mm), El 48% de los pacientes mostraron datos de congestión venosa sistémica (VExUS >1) mientras que el 52% no tenía datos de congestión. De los pacientes congestivos: el 24% tenían congestión leve, 12% congestión moderada y 12% congestión grave. La gran mayoría tenían datos leves (onda S mayor que la D) de congestión venosa por vena suprahepática (71%). La variabilidad promedio de la vena porta fue del 26%. Y en la mayoría de los pacientes (66%) se documentó flujo venoso renal continuo.

**Tabla 9 características del VEXUS en la población**

Características	N:41
Vena cava inferior (mm)	20mm (15, 24)
Vena suprahepática	
Onda S mayor que D	29 (71%)
Onda D mayor que S	9 (22%)
S reversa	3 (7.3%)
Porta hepática (variabilidad %)	26 (14,47)
Flujo venoso renal	
Continuo	27 (66%)
Discontinuo	9 (22%)
Monofásico	5 (12%)
VEXUS	
0	21 (52%)
1	10 (24%)
2	5 (12%)
3	5 (12%)
PUNTUACIÓN LUS	2.0 (2, 4)

## Características hemodinámicas

El promedio de la presión media de la pulmonar fue de 42mmHg. El 66% de los pacientes tuvieron auricular derecha hipertensa. La presión auricular media encontrada fue de 5mmHg indicando congestión leve. El gasto cardiaco promedio fue de 3.84 litros por minuto. Solo en un paciente no se demostró aumento en las resistencias vasculares pulmonares. El promedio de resistencias vasculares pulmonares fue de 9 UW. La presión capilar pulmonar fue de 7 mmHg. El resto de los parámetros hemodinámicos se muestra en la tabla 10.

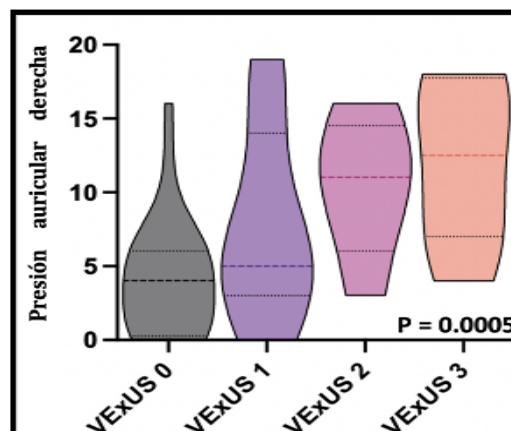
**Tabla 10 Parámetros hemodinámicos de la población**

Parámetro hemodinámico	Median (IQR); n (%)
Aurícula derecha (mmHg)	5.0 (3, 11)
Presion telediastolica del ventriculo derecho (mmHg)	8 (4, 13)
Presion arterial media de la pulmonar (mmHg)	42 (30, 53)
Presion arterial sistolica de la pulmonar mmHg	74 (45, 91)
Gasto cardiaco L/min	3.84 (2.85-5.0)
Índice cardiaco L/min/ SCT	2.23 (1.80, 2.70)
Resistencias vasculares pulmonares	9 (4, 14)
Presión capilar pulmonar (PCP) o D2VI	7 (5.0, 10.2)

## Correlación entre el VExUS y el cateterismo derecho

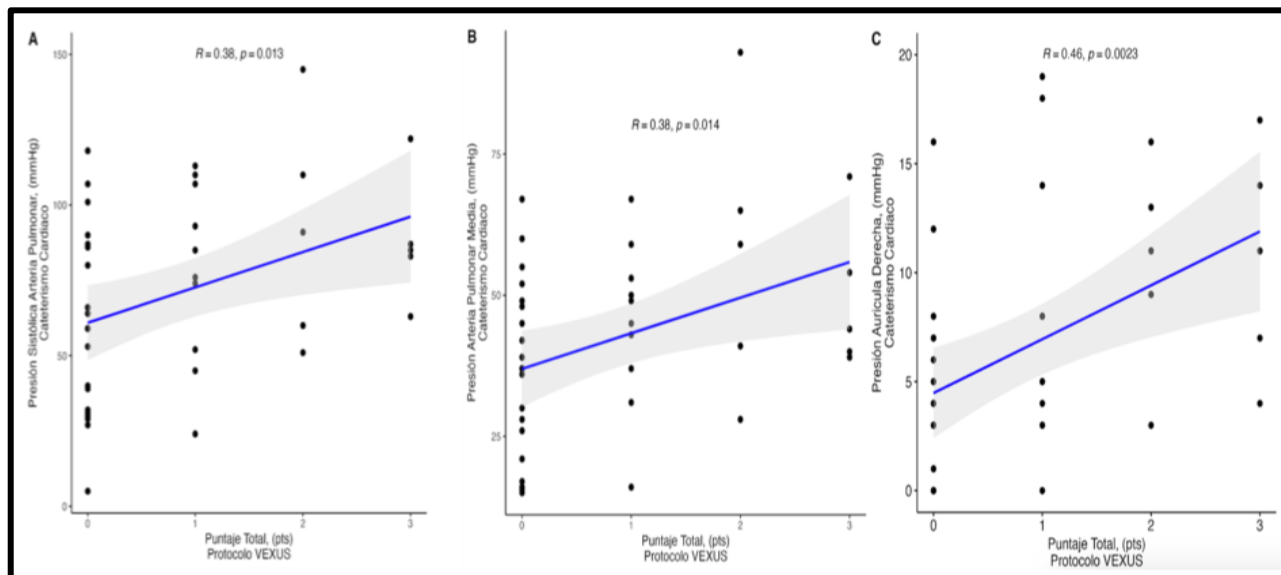
Se observó una diferencia significativa en los valores de presión venosa central al comparar a los pacientes con VExUS 0-1 contra los pacientes VExUS 2-3. Además se observó un incremento gradual de la presión auricular con cada grado de VExUS ( $p=0.005$ ). Figura 6.

Figura 6. Grafica de violón: Grado de congestión por VExUS y presión venosa central



La correlación del VExUS con la presión sistólica de la pulmonar y la presión media de la pulmonar fue moderada con un valor de correlación (R) de 0.38 lo cual demuestra una tendencia en la dirección positiva pero que no es extremadamente fuerte y que tampoco fue estadísticamente significativa con una P de 0.13 y 0.14 respectivamente. La correlación con la presión auricular derecha fue discretamente mejor con una (R) de 0.46 y un valor estadísticamente significativo de  $p=0.002$ . A continuación, se muestran dichas correlaciones en la figura 7.

Figura 7. Correlación de la presión arterial pulmonar sistólica media y presión de la auricular derecha con la escala VExUS



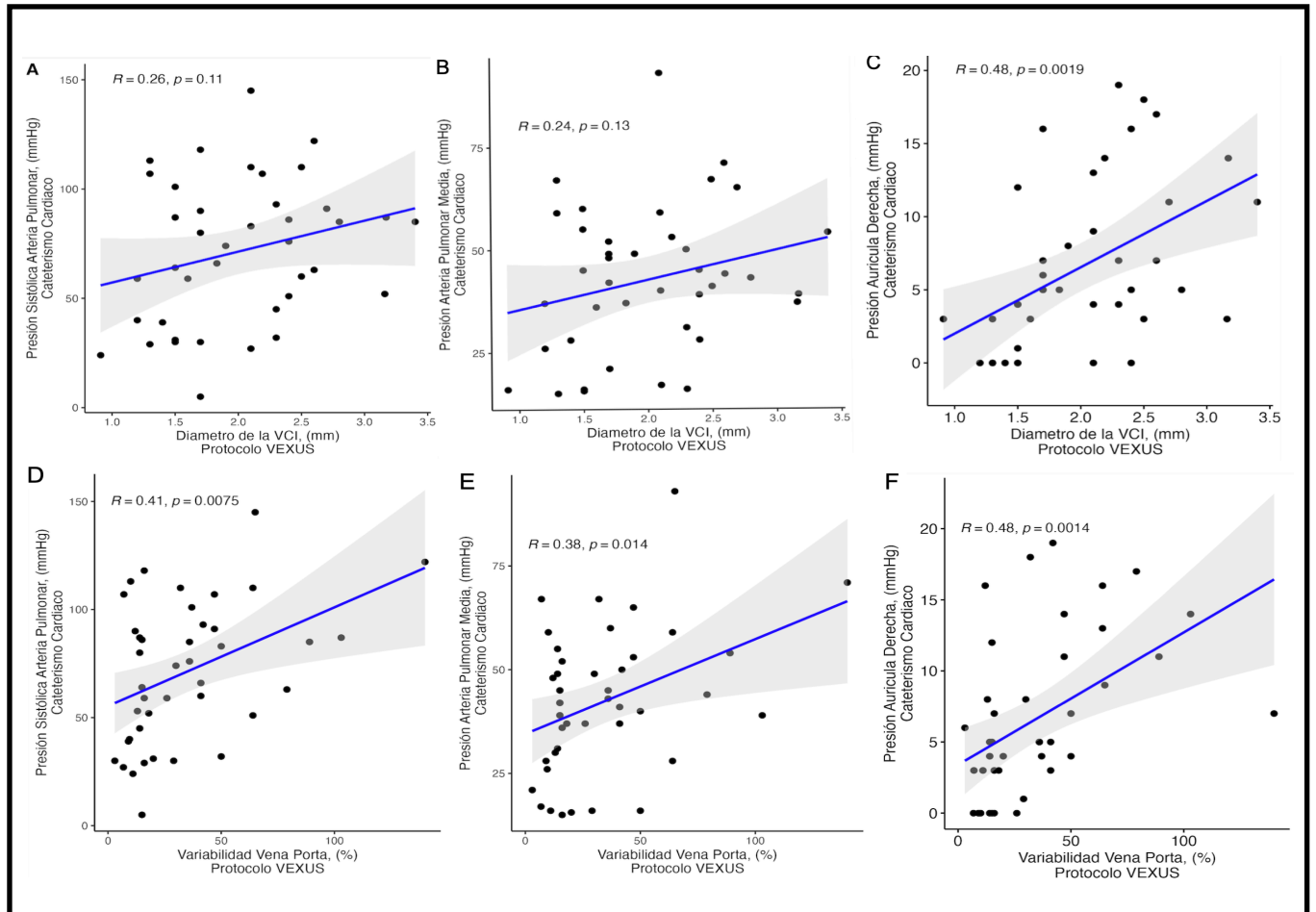
La correlación por parámetros aislados del VEXUS (vena cava inferior, vena porta, vena suprahepática, vena renal) con las presiones de llenado fueron las siguientes.

La vena cava inferior tuvo una correlación casi nula (R: 0.26) con la presión arterial sistólica de la pulmonar y de las misma manera (R: 0.24) con la presión media de la pulmonar con valores de P que no fueron estadísticamente significativos  $p= 0.11$  y  $p=0.13$  respectivamente.

Con respecto a la presión auricular derecha la VCI mostró una mejor correlación (R: 0.48) con un valor de P estadísticamente significativo  $p= 0.0019$ . En la figura 8 se demuestran estos datos

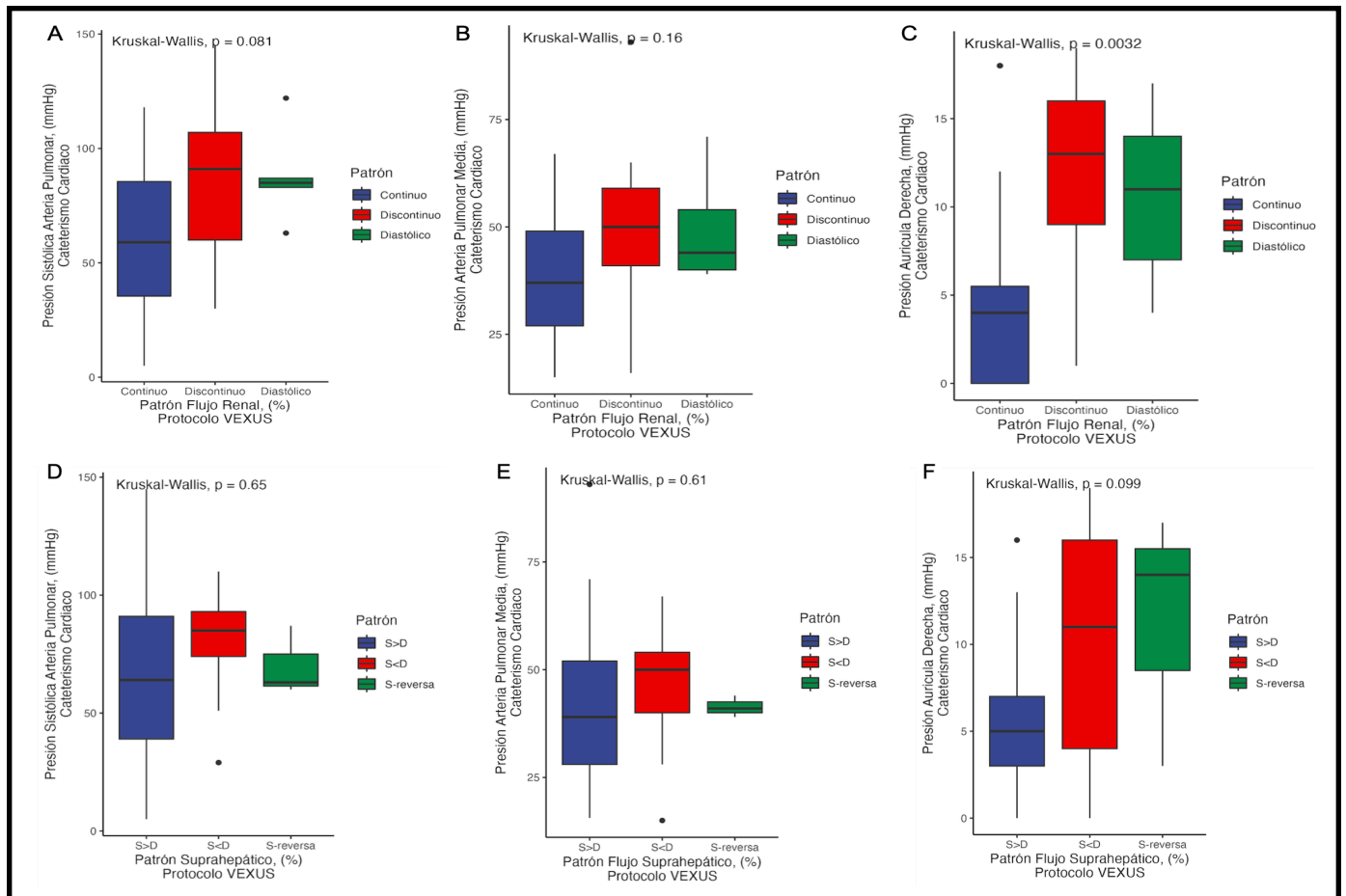
La vena porta tuvo poca correlación con la presión arterial sistólica de la pulmonar (R=0.41) y con la presión arterial media de la arteria pulmonar (R=0.38) con valores de P= estadísticamente significativos. Con respecto a la presión auricular derecha la correlación de la vena porta fue semejante a la VCI con un R= 0.48 pero con una P estadísticamente mejor de 0.0014. Los parámetros se encuentran gratificados en la figura 8.

Figura 8. Correlación entre las presiones de la arteria pulmonar y la auricular derecha con la vena cava inferior y la vena porta.



En los patrones de flujo venoso renal se demostró correlación estadísticamente significativa con la presión auricular derecha. El patrón de flujo suprahepático no se correlacionó con la presión auricular derecha  $P = 0.099$  y mucho menos con la presión sistólica ( $P = 0.65$ ) ni presión media ( $P = 0.61$ ) de la pulmonar. Para el análisis gráfico se ofrecen dichos resultados en la figura 9.

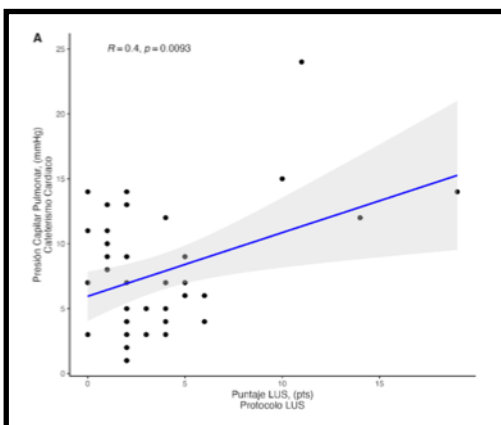
Figura 9 Correlación entre las presiones de la arteria pulmonar y la auricular derecha con los patrones de flujo venoso renal y el flujo venoso suprahepático.



### Correlación entre el puntaje LUS y el cateterismo izquierdo

La correlación del ultrasonido pulmonar a través del puntaje LUS con la presión capilar pulmonar fue moderada ( $R: 0.4$ ) con una P estadísticamente significativa ( $P=0.0093$ )

Figura 10. Correlación entre puntaje LUS y la presión capilar pulmonar

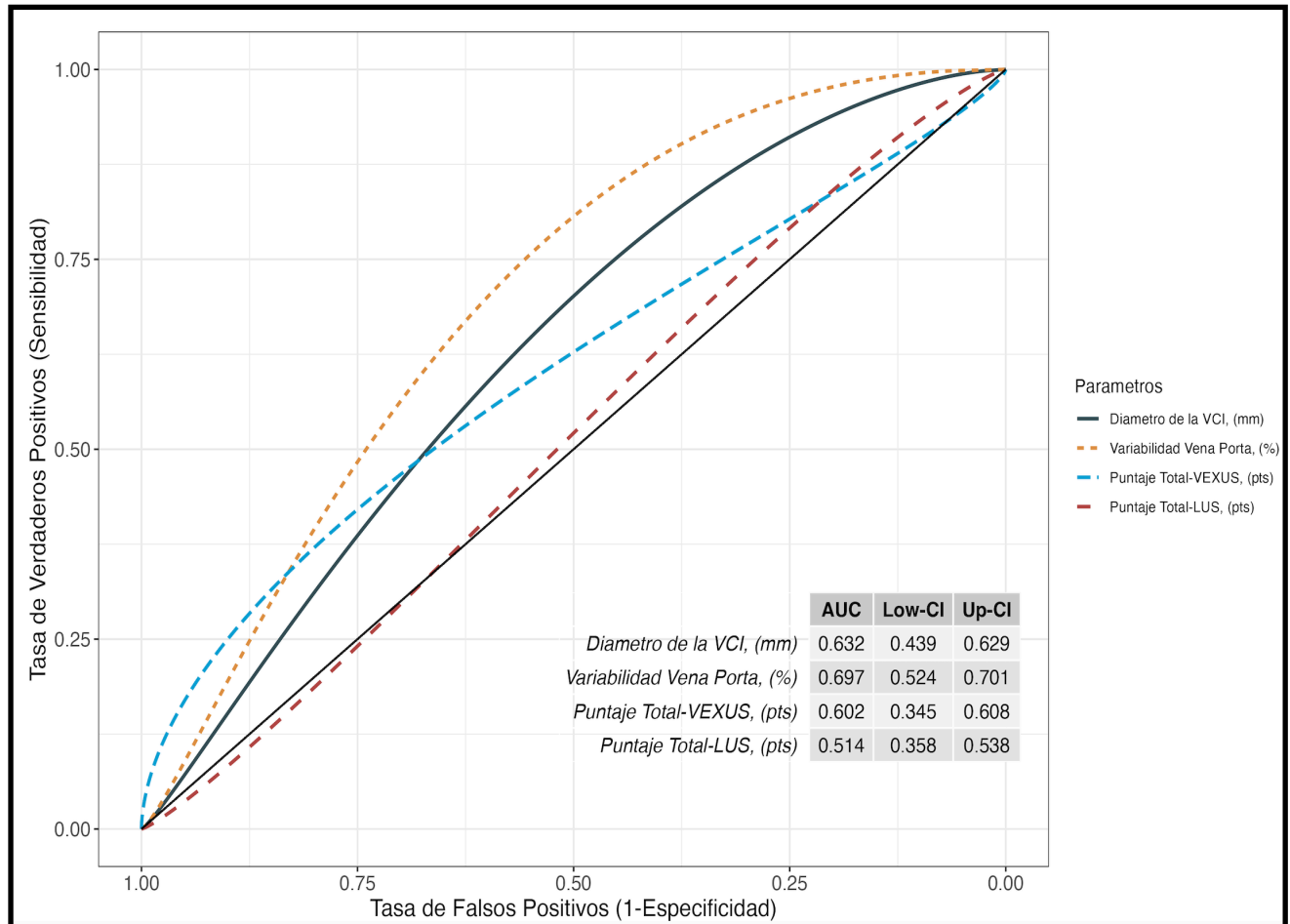




### Rendimiento predictivo para determinar estancia hospitalaria prolongada

Por orden descendente los resultados para predecir estancia hospitalaria prolongada (>14 días) son los siguientes: Vena porta tuvo un área bajo la curva de 0.69 seguido del diámetro de la vena cava inferior de 0.632, VExUS completo de 0.602 y finalmente el puntaje LUS de 0.514. figura 11.

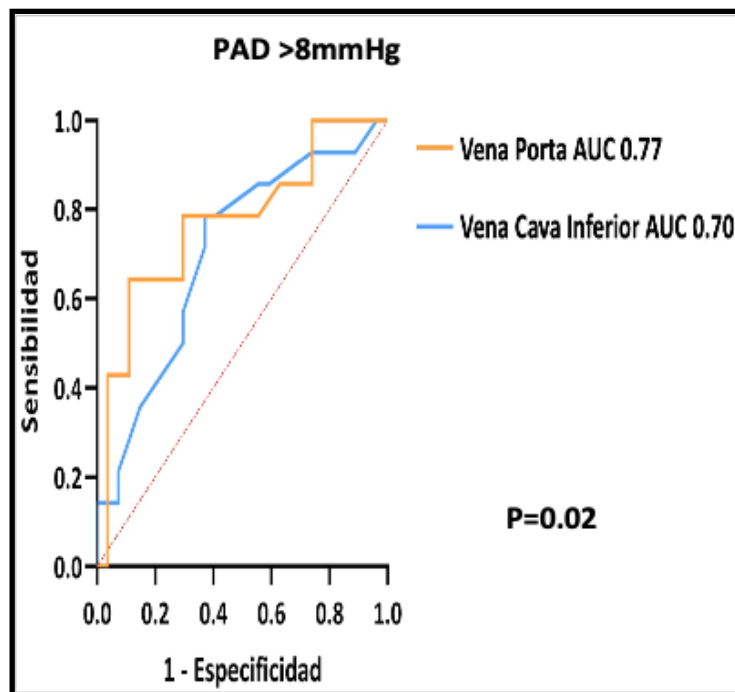
Figura 11. VExUS, parámetros aislados y LUS para predecir estancia hospitalaria prolongada través de área bajo la curva



### Rendimiento predictivo para determinar presión venosa central mayor a 8 mmHg

La vena porta tuvo un área bajo la curva (AUC) para identificar presión auricular derecha > 8mmHg de 0.77, al igual que el flujo venoso intrarrenal 0.77. La vena suprahepática obtuvo un valor de 0.71 y finalmente la vena cava inferior de 0.70. El protocolo VEXUS de manera global obtuvo un valor de área bajo la curva de 0.75

Figura12. Componentes del VExUS que predicen presión auricular derecha >8mmHg



## IX. DISCUSIÓN

El estándar de referencia para valoración morfológica del ventrículo derecho (cuantificación del tamaño, fracción de expulsión y volumen latido) es la resonancia magnética nuclear <sup>29</sup>. El estándar de referencia para la determinación de presiones pulmonares es el cateterismo derecho; sin embargo, el ecocardiograma es la principal herramienta utilizada en la valoración inicial para cuantificar parámetros morfológicos y estimar presiones intracardíacas <sup>30</sup>. La presión auricular derecha, el gasto cardiaco, el volumen sistólico indexado y la saturación venosa central son los parámetros hemodinámicos utilizados en el laboratorio de circulación pulmonar para la estratificación de riesgo en pacientes con hipertensión arterial pulmonar. Con base a dichos hallazgos y a la correlación de estos con parámetros clínicos, prueba de esfuerzo, biomarcadores, ecocardiografía y resonancia; se logra identificar pacientes con bajo riesgo (mortalidad <5% a un año), riesgo intermedio (mortalidad del 5-20% a un año), riesgo alto (mortalidad >20% a un año) <sup>31</sup>. La estimación de la presión auricular derecha por ecocardiografía es consecuencia del tamaño de la vena cava inferior y de su respuesta de esta a la respiración espontánea <sup>32</sup>. En el año 2000 se realizó un estudio por parte de la clínica mayo en donde se correlacionó la presión auricular derecha con la vena cava inferior y la vena suprahepática <sup>33</sup>. Más recientemente se ha dado a conocer el protocolo VExUS mismo que se ha creado con la intención de estimar el grado de congestión venosa sistémica <sup>5</sup>. Dicho protocolo no se ha estudiado en pacientes con hipertensión pulmonar y mucho menos su correlación con las presiones del circuito hemodinámica pulmonar.

El presente trabajo representa la primera serie de pacientes en quienes se realizó de manera conjunta la valoración ultrasonográfica (protocolo VExUS y ultrasonido pulmonar) con el cateterismo derecho izquierdo. La población corresponde a pacientes con alta probabilidad de hipertensión pulmonar en quienes se corroboró dicho diagnóstico por cateterismo derecho, solamente 3 pacientes no tuvieron hipertensión pulmonar ya que habían sido sometidos previamente a tromboendarterectomía y su cateterismo era de seguimiento. Los grupos que conformaron la mayoría del estudio fueron pacientes con hipertensión pulmonar del grupo I y del IV. La gran mayoría de los pacientes tuvieron una clase funcional de la OMS de 1-2 con caminata de 6 minutos con 392 metros en promedio con lo cual la mayoría de los pacientes se encontraban en riesgo intermedio-bajo. Ecocardiográficamente eran pacientes con ventrículos derechos remodelados (diámetros ventriculares prominentes) con índices de función sistólica limitados y disfunción diastólica por índice de TEI. Además de manera global el índice de acoplamiento ventrículo arterial fue de 0.28 esto traduce la presencia de desacoplamiento ventrículo arterial por la presencia de aumento de resistencias vasculares pulmonares, disminución de la función ventricular o ambas. En la gran mayoría de los pacientes se encontraron no congestivos por protocolo VExUS (52% de los pacientes), esto correlacionó con qué de manera global la presión invasiva de la auricular derecha fue de 5 mmHg. Además de manera individual los parámetros de congestión venosa: portal, suprahepático y renal fueron compatibles con congestión leve. La correlación global del protocolo VExUS con la presión sistólica de la pulmonar y la presión media de la pulmonar fue moderada, pero sin significancia estadística. Dicha correlación mejoró al estudiarse contra la presión auricular derecha que fue  $R: 0.46$  con una  $p: 0.0023$ , contrario a lo encontrado por el grupo de trabajo del Dr. August Longino en donde se demostró una mejor correlación de 0.68 con una  $p = 0.001^{33}$ . Esta diferencia radica en el tipo de pacientes estudiados ya que solo 16 pacientes del Dr. August Longino tenían hipertensión pulmonar. En cambio, nuestra población muestra que de manera global el protocolo VExUS tiene una asociación moderada con la presión auricular derecha de pacientes con hipertensión pulmonar. Esto puede estar explicado principalmente por el proceso de adaptabilidad de la vasculatura venosa desde la auricular derecha hasta el sistema de capacitancia venoso<sup>34</sup>. Cuando se analizaron cada uno de los parámetros que conforman el VExUS en relación a las presiones del circuito pulmonar se evidenció la superioridad de la vena porta al correlacionarla con la presión auricular derecha  $R 0.48$  con  $p=0.0014$ . Misma correlación se demostró con la vena cava inferior  $R 0.48$  pero con una significancia estadística menor  $p= 0.0019$ . La correlación de los flujos suprahepático no mostró correlación y en los flujos venosos renales solamente se demostró correlación con la presión auricular derecha con una  $P=0.0032$

En el análisis con área bajo la curva para detectar PAD  $>8\text{mmHg}$  se evidenció que el protocolo VEXUS es útil con una AUC de 0.75. Al analizar los componentes por separado se demostró una mejor AUC de la vena intra renal y de la vena porta con valores de AUC 0.77. La vena cava inferior tuvo un valor de 0.70 y finalmente la vena suprahepática discretamente mejor con 0.71. El ultrasonido pulmonar en nuestra población no fue compatible con congestión venosa pulmonar ya que estos pacientes tenían hipertensión pulmonar del grupo I y IV. Aquellos con hipertensión pulmonar del grupo II se encontraban compensados y solo demostraron puntajes del LUS discretamente elevados. Por lo tanto, la correlación del LUS con la presión capilar pulmonar fue del 0.4 con  $p=$  de 0.0093.

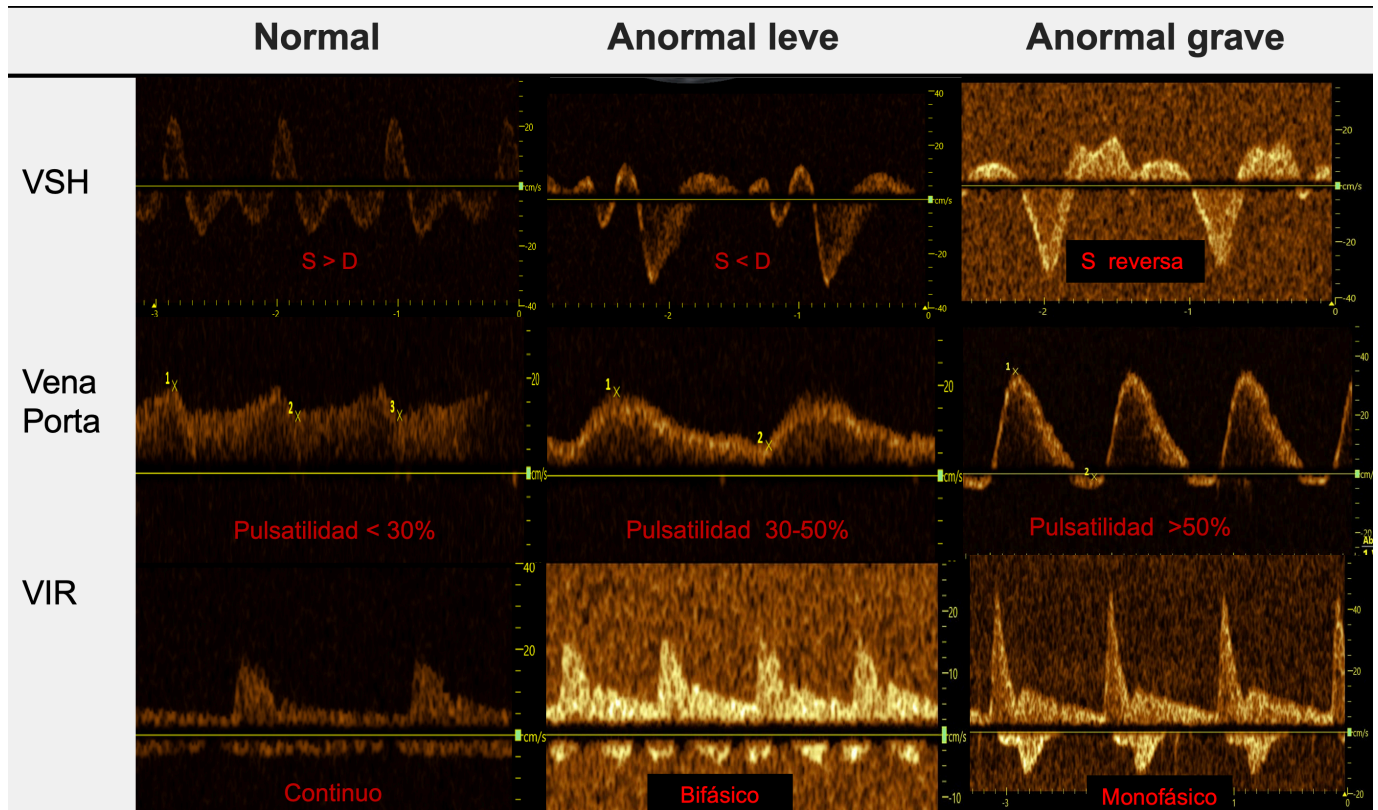
El mejor predictor de hospitalización prolongada ( $>$  de 14 días de estancia hospitalaria) en nuestro estudio fue la vena porta (AUC de 0.69), segundo de la vena cava inferior (AUC de 0.632). El

puntaje total VExUS fue de 0.602 y finalmente el score LUS no mostró significancia para predecir estancia hospitalaria prolongada.

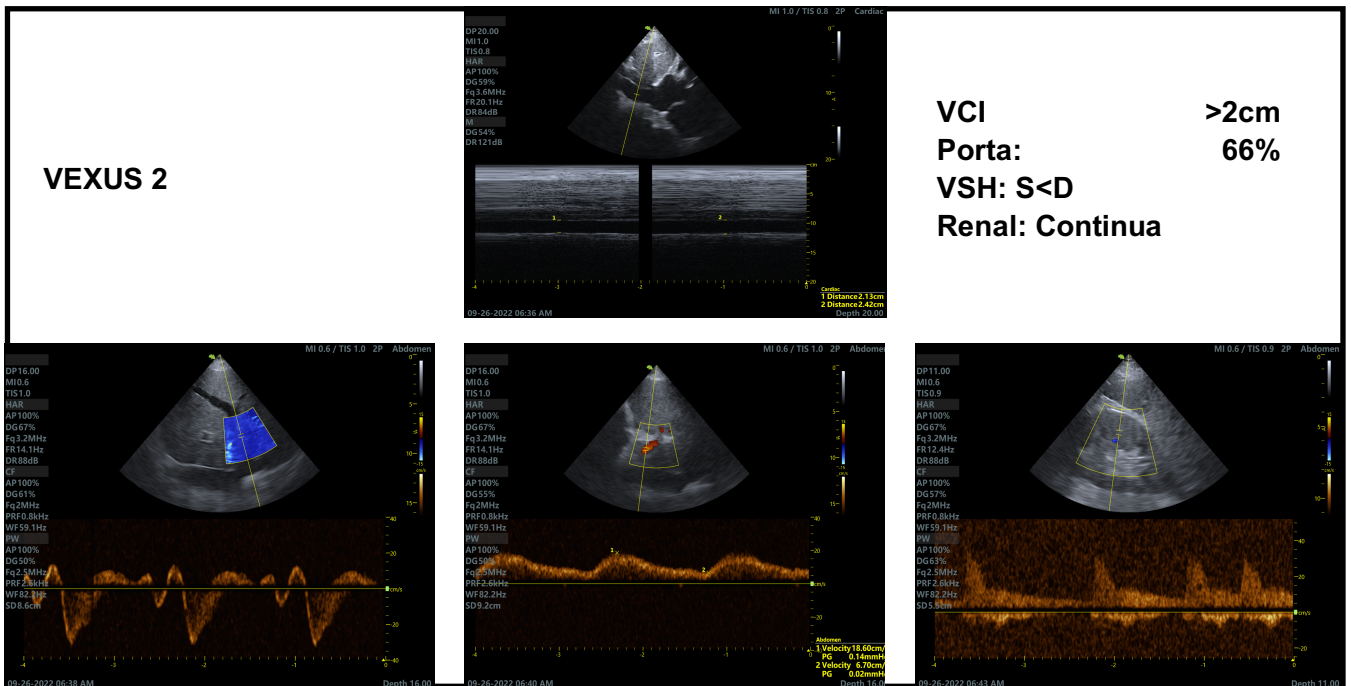
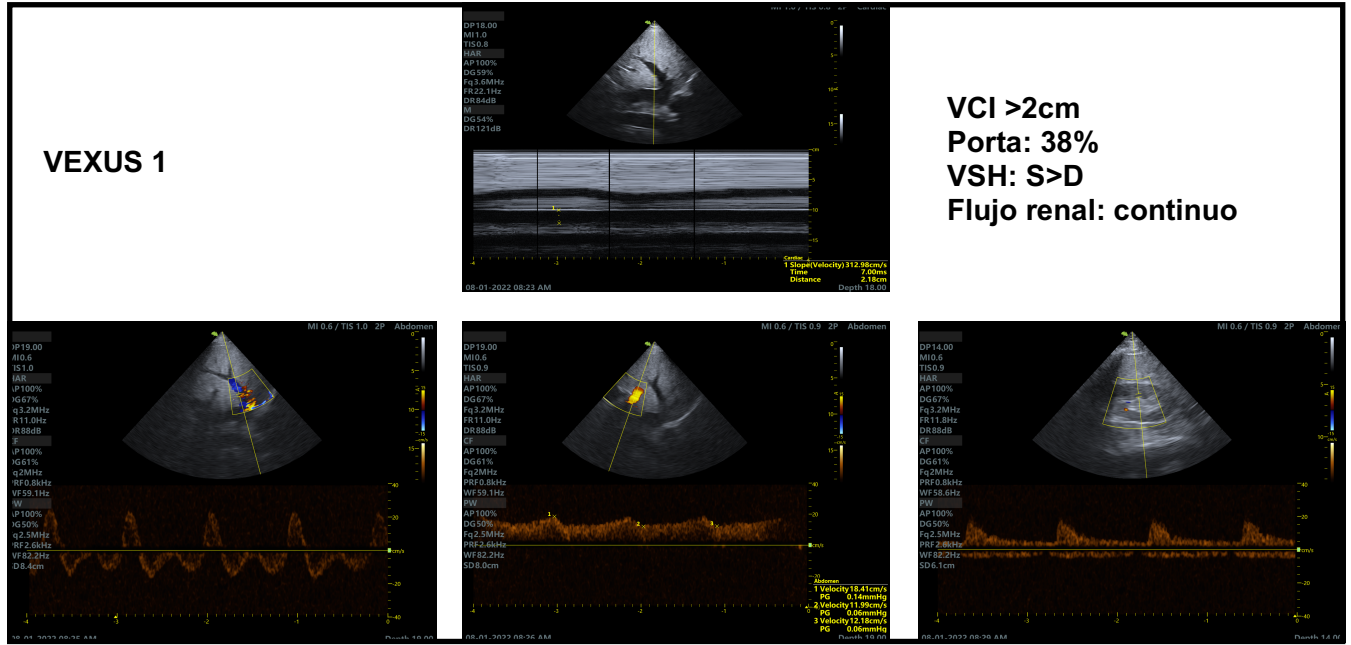
## **X. CONCLUSIONES**

En esta cohorte de 41 pacientes sometidos a cateterismo derecho por reestratificación o diagnóstico de hipertensión pulmonar de novo, se encontró que el protocolo VExUS utilizado para cuantificar el grado de congestión venosa tiene una correlación moderada y significativa con la presión auricular derecha. Al analizar por separado cada uno de los componentes ultrasonográficos del VExUS se encontró que la vena porta es la que mejor correlación tiene con la identificación de congestión venosa sistémica seguido del flujo venoso renal y finalmente la vena cava inferior. La vena suprahepática tiene el peor rendimiento diagnóstico para identificar presión auricular derecha  $>8\text{mmHg}$  además de que no guarda una correlación con el grado de hipertensión de la auricular derecha ya que su espectro es dependiente del grado de insuficiencia tricuspídea y el grado de adaptabilidad a través de la dilatación auricular derecha.

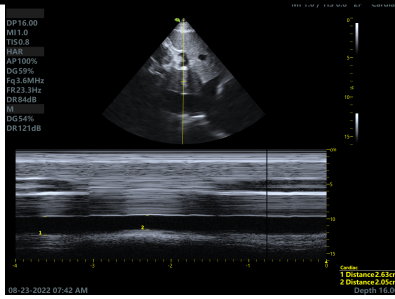
# XI. PROTOCOLO VEXUS CON PACIENTES REALES DEL ESTUDIO



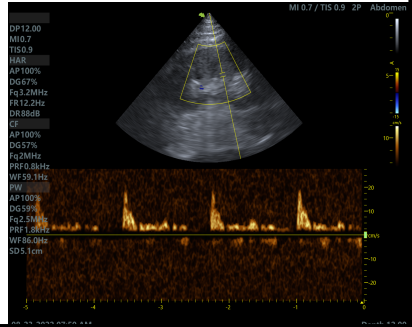
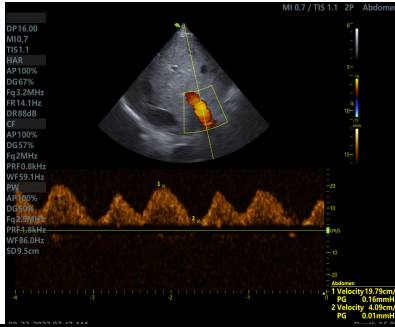
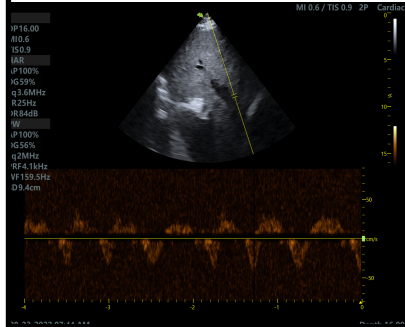
## XII. EJEMPLOS DE VEXUS & LUS



**VEXUS 3**

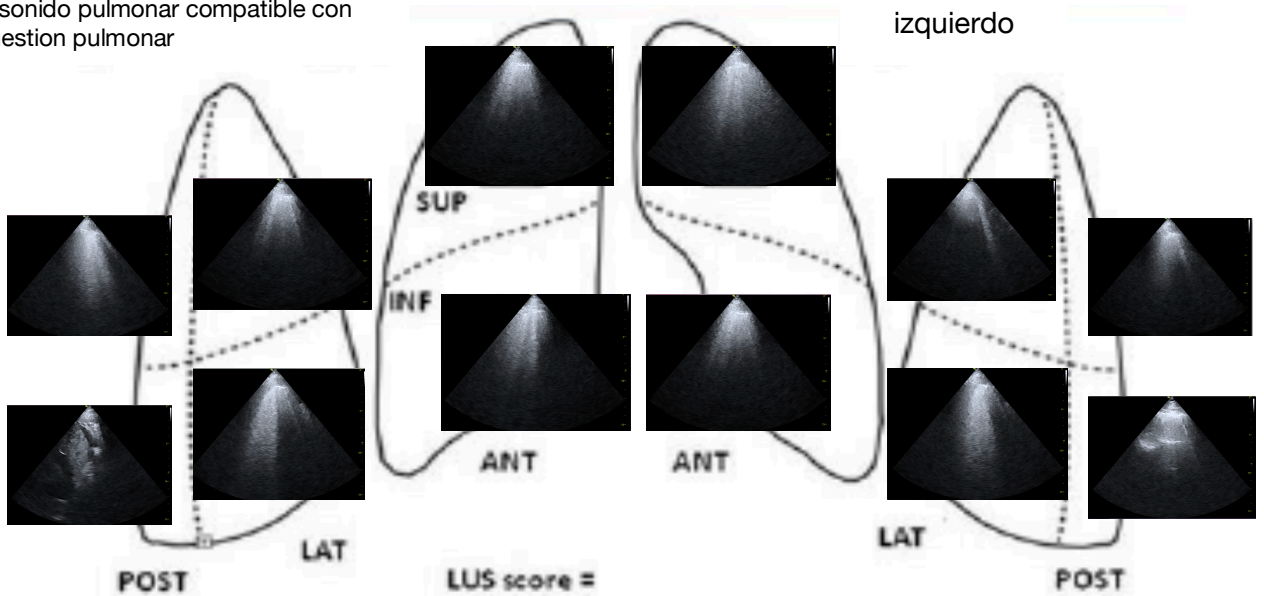


**VCI: >2cm**  
**Porta: 78%**  
**VSH: Sistólico reverso**  
**Renal: Bifásico**



Ultrasonido pulmonar compatible con congestión pulmonar

izquierdo



### XIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Huygh, Johan, et al. "Hemodynamic Monitoring in the Critically Ill: An Overview of Current Cardiac Output Monitoring Methods." *F1000Research*, vol. 5, 2016, p. 2855., <https://doi.org/10.12688/f1000research.8991.1>.
2. Volpicelli, Giovanni, et al. "International Evidence-Based Recommendations for Point-of-Care Lung Ultrasound." *Intensive Care Medicine*, vol. 38, no. 4, 2012, pp. 577–591., <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2513-4>.
3. Araiza-Garaygordobil, Diego, et al. "A Randomized Controlled Trial of Lung Ultrasound-Guided Therapy in Heart Failure (Cluster-HF Study)." *American Heart Journal*, vol. 227, 2020, pp. 31–39., <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2020.06.003>.
4. Rivas Lasarte, Mercedes, et al. "Lung Ultrasound-Guided Treatment in Ambulatory Patients with Heart Failure: A Randomized Controlled Clinical Trial (LUS-HF Study)." *European Journal of Heart Failure*, vol. 21, no. 12, 2019, pp. 1605–1613., <https://doi.org/10.1002/ejhf.1604>.
5. Beaubien-Souligny, William, et al. "Quantifying Systemic Congestion with Point-of-Care Ultrasound: Development of the Venous Excess Ultrasound Grading System." *The Ultrasound Journal*, vol. 12, no. 1, 2020, <https://doi.org/10.1186/s13089-020-00163-w>.
6. Reynolds, Terry, and Christopher P. Appleton. "Doppler Flow Velocity Patterns of the Superior Vena Cava, Inferior Vena Cava, Hepatic Vein, Coronary Sinus, and Atrial Septal Defect: A Guide for the Echocardiographer." *Journal of the American Society of Echocardiography*, vol. 4, no. 5, 1991, pp. 503–512., [https://doi.org/10.1016/s0894-7317\(14\)80386-6](https://doi.org/10.1016/s0894-7317(14)80386-6).
7. Beaubien-Souligny, William, et al. "The Association between Pulsatile Portal Flow and Acute Kidney Injury after Cardiac Surgery: A Retrospective Cohort Study." *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, vol. 32, no. 4, 2018, pp. 1780–1787., <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.11.030>.
8. Beaubien-Souligny, William, et al. "Alterations in Portal Vein Flow and Intrarenal Venous Flow Are Associated with Acute Kidney Injury after Cardiac Surgery: A Prospective Observational Cohort Study." *Journal of the American Heart Association*, vol. 7, no. 19, 2018, <https://doi.org/10.1161/jaha.118.009961>.
9. Eljaiek, R., et al. "High Postoperative Portal Venous Flow Pulsatility Indicates Right Ventricular Dysfunction and Predicts Complications in Cardiac Surgery Patients." *British Journal of Anaesthesia*, vol. 122, no. 2, 2019, pp. 206–214., <https://doi.org/10.1016/j.bja.2018.09.028>.
10. Benkreira, Aymen, et al. "Portal Hypertension Is Associated with Congestive Encephalopathy and Delirium after Cardiac Surgery." *Canadian Journal of Cardiology*, vol. 35, no. 9, 2019, pp. 1134–1141., <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2019.04.006>.
11. Kuwahara, Naoya, et al. "Abstract 14595: The Clinical Impact of Portal Vein Pulsatility on the Prognosis of Hospitalized Acute Heart Failure Patients." *Circulation*, vol. 142, no. Suppl\_3, 2020, [https://doi.org/10.1161/circ.142.suppl\\_3.14595](https://doi.org/10.1161/circ.142.suppl_3.14595).
12. Catalano D, Caruso G, DiFazio S, Carpinteri G, Scalisi N, Trovato GM. Portal vein pulsatility ratio and heart failure. *J Clin Ultrasound*. 1998 Jan;26(1):27-31.



13. Hosoki, T, et al. "Portal Blood Flow in Congestive Heart Failure: Pulsed Duplex Sonographic Findings." *Radiology*, vol. 174, no. 3, 1990, pp. 733–736., <https://doi.org/10.1148/radiology.174.3.2406781>.
14. Duerinckx, A J, et al. "The Pulsatile Portal Vein in Cases of Congestive Heart Failure: Correlation of Duplex Doppler Findings with Right Atrial Pressures." *Radiology*, vol. 176, no. 3, 1990, pp. 655–658., <https://doi.org/10.1148/radiology.176.3.2202011>.
15. Bouabdallaoui, Nadia, et al. "Assessing Splanchnic Compartment Using Portal Venous Doppler and Impact of Adding It to the Everest Score for Risk Assessment in Heart Failure." *CJC Open*, vol. 2, no. 5, 2020, pp. 311–320., <https://doi.org/10.1016/j.cjco.2020.03.012>.
16. Styczynski, Grzegorz, et al. "Echocardiographic Correlates of Abnormal Liver Tests in Patients with Exacerbation of Chronic Heart Failure." *Journal of the American Society of Echocardiography*, vol. 29, no. 2, 2016, pp. 132–139., <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.09.012>.
17. Teboul, Jean-Louis, et al. "Less Invasive Hemodynamic Monitoring in Critically Ill Patients." *Intensive Care Medicine*, vol. 42, no. 9, 2016, pp. 1350–1359., <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4375-7>.
18. Scheinfeld, Meir H., et al. "Understanding the Spectral Doppler Waveform of the Hepatic Veins in Health and Disease." *RadioGraphics*, vol. 29, no. 7, 2009, pp. 2081–2098.
19. Nagueh, Sherif F., et al. "Relation of Mean Right Atrial Pressure to Echocardiographic and Doppler Parameters of Right Atrial and Right Ventricular Function." *Circulation*, vol. 93, no. 6, 1996, pp. 1160–1169., <https://doi.org/10.1161/01.cir.93.6.1160>.
20. Grande, Dario, et al. "Role of Imaging in the Evaluation of Renal Dysfunction in Heart Failure Patients." *World Journal of Nephrology*, vol. 6, no. 3, 2017, p. 123., <https://doi.org/10.5527/wjn.v6.i3.123>.
21. Tublin, Mitchell E., et al. "The Resistive Index in Renal Doppler Sonography: Where Do We Stand?" *American Journal of Roentgenology*, vol. 180, no. 4, 2003, pp. 885–892., <https://doi.org/10.2214/ajr.180.4.1800885>.
22. Jeong, Seok Hwan, et al. "Renal Venous Doppler Ultrasonography in Normal Subjects and Patients with Diabetic Nephropathy: Value of Venous Impedance Index Measurements." *Journal of Clinical Ultrasound*, vol. 39, no. 9, 2011, pp. 512–518., <https://doi.org/10.1002/jcu.20835>.

23. Ciccone, Marco Matteo, et al. "The Renal Arterial Resistance Index: A Marker of Renal Function with an Independent and Incremental Role in Predicting Heart Failure Progression." *European Journal of Heart Failure*, vol. 16, no. 2, 2013, pp. 210–216., <https://doi.org/10.1002/ejhf.34>.
24. Iacoviello, Massimo, et al. "The Renal Arterial Resistance Index Predicts Worsening Renal Function in Chronic Heart Failure Patients." *Cardiorenal Medicine*, vol. 7, no. 1, 2016, pp. 42–49., <https://doi.org/10.1159/000448405>.
25. Rola, Philippe, et al. "Clinical Applications of the Venous Excess Ultrasound (Vexus) Score: Conceptual Review and Case Series." *The Ultrasound Journal*, vol. 13, no. 1, 2021, <https://doi.org/10.1186/s13089-021-00232-8>.
26. Lida, Noriko, et al. "Clinical Implications of Intrarenal Hemodynamic Evaluation by Doppler Ultrasonography in Heart Failure." *JACC: Heart Failure*, vol. 4, no. 8, 2016, pp. 674–682., <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2016.03.016>.
27. Puzzovivo, Agata, et al. "Renal Venous Pattern: A New Parameter for Predicting Prognosis in Heart Failure Outpatients." *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, vol. 5, no. 4, 2018, p. 52., <https://doi.org/10.3390/jcdd5040052>.
28. Bhardwaj, Vimal, et al. "Combination of Inferior Vena Cava Diameter, Hepatic Venous Flow, and Portal Vein Pulsatility Index: Venous Excess Ultrasound Score (Vexus Score) in Predicting Acute Kidney Injury in Patients with Cardiorenal Syndrome: A Prospective Cohort Study." *Indian Journal of Critical Care Medicine*, vol. 24, no. 9, 2020, pp. 783–789., <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23570>.
29. Edgardo, Edgardo, et al. "Usefulness of Vexus in a Pediatric Patient with Ebstein's Anomaly." *Revista Chilena De Anestesia*, vol. 51, no. 2, 2022, pp. 221–224., <https://doi.org/10.25237/revchilanestv5109021632>.
30. Naeije, R. (2015) "Assessment of right ventricular function in pulmonary hypertension," *Current Hypertension Reports*, 17(5). Available at: <https://doi.org/10.1007/s11906-015-0546-0>.
31. Humbert, M. et al. (2022) "2022 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension," *European Heart Journal*, 43(38), pp. 3618–3731. Available at: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac237>.
32. Kircher, B.J., Himelman, R.B. and Schiller, N.B. (1990) "Noninvasive estimation of right atrial pressure from the inspiratory collapse of the inferior vena cava," *The American Journal of Cardiology*, 66(4), pp. 493–496. Available at: [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(90\)90711-9](https://doi.org/10.1016/0002-9149(90)90711-9).

33. Longino, A., Martin, K., Leyba, K. *et al.* Correlation between the VExUS score and right atrial pressure: a pilot prospective observational study. *Crit Care* **27**, 205 (2023).
34. Pinsky, M.R. (2016) *The right ventricle: Interaction with the pulmonary circulation - critical care*, *BioMed Central*. Available at: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-016-1440-0> (Accessed: 13 June 2023).
35. Longino, A., Martin, K., Leyba, K. *et al.* Correlation between the VExUS score and right atrial pressure: a pilot prospective observational study. *Crit Care* **27**, 205 (2023).
36. Menéndez-Suso JJ, Rodríguez-Álvarez D, Sánchez-Martín M. Feasibility and Utility of the Venous Excess Ultrasound Score to Detect and Grade Central Venous Pressure Elevation in Critically Ill Children. *J Ultrasound Med*. 2023 Jan;**42**(1):211-220.