



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ

Asociación entre complicaciones,
características clínicas y hallazgos de
ultrasonido en pacientes pediátricos
posoperados de cirugía cardiovascular
en el Hospital Infantil de México en el
periodo de 2022-2023

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN :

MEDICINA CRÍTICA PEDIÁTRICA

P R E S E N T A:

Dr. Ramsés Michel Zúñiga Casillas

TUTOR:

Dra. Nancy Patricia Soto Bautista
Dra. María de Lourdes Marroquin Yanez



CIUDAD DE MÉXICO





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

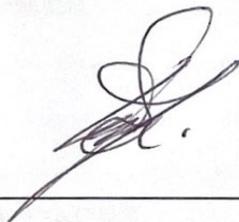
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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.

Dr. Sarbelio Moreno Espinosa
Director de Enseñanza y Desarrollo Académico.



Dra. María de Lourdes Marroquín Yáñez
Jefa del Servicio de Medicina Crítica Cardiovascular



Dra. Nancy Patricia Soto Bautista
Adscrita al Servicio de Medicina Crítica Cardiovascular

ÍNDICE

	Página
I. AGRADECIMIENTOS	4
II. ABREVIATURAS.....	5
III. ANTECEDENTES	6
IV. MARCO TEÓRICO	8
a. ULTRASONIDO PULMONAR.....	8
b. ULTRASONIDO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO.....	11
c. ULTRASONIDO CARDÍACO A PIE DE CAMA.....	12
d. PROTOCOLO VEXUS.....	24
V. PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
VI. PREGUNTA DE INVENTIGACIÓN	28
VII. JUSTIFICACIÓN	29
VIII. HIPOTESIS.....	30
IX. OBJETIVOS	31
X. MÉTODOS	32
XI. PLAN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO	34
XII. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	35
XIII. RESULTADOS	41
XIV. DISCUSIÓN	56
XV. CONCLUSIONES	60
XVI. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	62
XVII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	63
XVIII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	67

I. AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a las dos personas que trabajaron arduamente para poder llevar a fin este trabajo, a la Dra. Nancy por su apoyo incondicional y a motivarme a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles, a la Dra Marroquín por la disposición y la ayuda elemental en el ensamblaje de este trabajo, incluso trabajando a contra tiempo, en lo que refiere al contacto con el paciente, a las enfermeras que son parte primordial en el tratamiento del paciente crítico, a la mtra. Lupita y a Maribel, por su enorme humanismo al tratar con pacientes y ayudarme cuando más fue necesario.

Por último a mis padres por la confianza ciega que me han entregado todos estos años, y a mis hermanos mi motor de traabajo. Y a mi novia Mariana solo tu sabes como fue este proceso, gracias por tu apoyo en los momentos más complicados.

II. ABREVIATURAS

PIC: Presión intracraneal.

UCI: Unidad de cuidados intensivos.

PEEP: Presión positiva al final de la espiración.

EPOC: Enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

PVS: Presión venosa central.

GC: Gasto cardíaco.

RVS: Resistencia vascular sistémica.

PAM: Presión arterial media.

dVCI: Distensibilidad de la vena cava inferior.

ITV: Integral de velocidad y tiempo.

VS: Flujo de volumen sistólico

SD: Distancia sistólica

CSA: Cambio de área transversal

Ar²: Raíz aortica al cuadrado

DI: Diametro de la vena cava inferior

VCI: Vena cava inferior

VEXUS: Venous Excess Ultrasound Score

III. ANTECEDENTES

El uso de ecografía en el paciente crítico pediátrico operado de cirugía cardiovascular es un método no invasivo que sirve para la detección oportuna de posibles complicaciones inmediatas, resultado de tiempos quirúrgicos largos, uso de materiales de invasión y complicaciones asociadas a tiempos largos de circulación extracorpórea. En la actualidad existen protocolos los cuales se ajustan al paciente adulto posoperado de cirugía cardíaca, que ayudan a identificar las posibles complicaciones y actuar de forma oportuna. (1) No existe en la actualidad un protocolo enfocado en el paciente pediátrico, lo cual es alarmante considerando el gran número de cirugías realizadas en los pacientes con cardiopatías congénitas.

Los protocolos ya existentes enfocados en los pacientes con cirugía cardíaca, realizan un análisis secuencial para la detección de choque (cardiogénico, hipovolémico, obstructivo), valvulopatías, alteraciones de la movilidad, disfunción protésica y valoración hemodinámica no invasiva, también se determinan afecciones a otros sistemas como eventos vasculares cerebrales de tipo hemorrágico o isquémico secundario a procedimiento quirúrgico, bomba de circulación extracorpórea, anticoagulación, otra de sus funciones es la predicción de lesión renal aguda, mediante el índice resistivo renal. (1)

En el mundo la incidencia de cardiopatías congénitas es de 4-5 por cada 1000 nacimientos. (2) En México no existen bases de datos que registren su frecuencia, se puede estimar una prevalencia de 8-10 por cada 1000 recién nacidos, considerando la tasa de natalidad de nuestro país se esperan de 18,000 a 20,000 casos nuevos por año. (3)

El avance en el conocimiento de las técnicas quirúrgicas, los métodos de perfusión y la atención perioperatoria ha permitido alcanzar una supervivencia a 45 años del 85%,

sin embargo, aun hace falta mejorar el poder realizar las cirugías en las primeras etapas de la vida. (4)

En un estudio realizado en un hospital de tercer nivel de una clínica de cardiopatías congénitas del niño y del adulto del IMSS, analizaron tres mil cuatrocientos ochenta y tres enfermos, encontraron como cardiopatía más frecuente las cardiopatías acianógenas de flujo pulmonar incrementado en 47.23%; en segundo lugar las cardiopatías cianógenas de flujo pulmonar disminuido en 22.02%, y con la misma frecuencia las cardiopatías acianógenas de flujo pulmonar normal en 4.97% y las cardiopatías cianógenas de flujo pulmonar aumentado en 4.97%. (5)

IV. MARCO TEÓRICO

A. Ultrasonido Pulmonar

En la década de 1990, el Dr. Daniel Lichtenstein demostró la utilidad de la ecografía pulmonar en el tratamiento de pacientes en estado crítico. (6) Por lo cual se inició un movimiento a nivel internacional para establecer la ultrasonografía como una competencia básica de los médicos de cuidados críticos, existen ventajas que lo posicionan sobre la radiografía de tórax como lo es el no tratarse de un estudio que despende radiación ionizante, el contar con la disponibilidad de tenerlo a la cama del paciente y el contar con imágenes y mediciones en muchas ocasiones más objetivas que la radiografía de tórax. (7) Los hallazgos ultrasonográficos de un pulmón normal son: la presencia de líneas A, que son artefactos de reverberación que aparecen como líneas horizontales regularmente espaciadas separadas por la misma distancia que la piel y la línea pleural, y deslizamiento pulmonar, que es el movimiento dinámico visible de la pleura visceral y parietal deslizándose una al lado de la otra con la respiración. (8) La ecografía pulmonar puede detectar síndrome pulmonar que representa edema pulmonar cardiogénico o no cardiogénico, consolidaciones y derrames pleurales, puede diagnosticar y descartar neumotórax. (9)

Síndrome Intersticial

El síndrome intersticial se caracteriza por líneas B que son un tipo de artefacto en cola de cometa. Las líneas B son artefactos de reverberación vertical hiperecoica que surgen de la línea pleural, se extienden hasta el borde de la pantalla, se mueven dinámicamente con la respiración y borran las líneas A. (6) Las líneas B representan tabiques interlobulillares engrosados, que pueden ser causados por edema pulmonar, inflamación o fibrosis. Tres o más líneas B en un único espacio intersticial significa

síndrome intersticial en ese espacio intersticial. El clínico debe determinar su etiología con base en la ubicación, distribución e historial clínico. Existen estudios en animales que correlacionan el número de líneas B en una zona con el grado de sobrecarga hídrica. (10) Un paciente en el que se encuentra el hallazgo de líneas B sumado con la detección de disfunción sistólica y diastólica orienta a edema pulmonar cardiogénico en un estudio observacional prospectivo de pacientes con insuficiencia cardíaca el número de líneas B al momento del ingreso se relacionó con más días de estancia hospitalaria, mayores eventos adversos incluso con la necesidad de inotrópico. (11)

Neumotórax

Los neumotórax ocurren episódicamente en la unidad de cuidados intensivos y siempre deben estar en el diagnóstico diferencial en pacientes ventilados mecánicamente que se descompensan agudamente y en pacientes sometidos a procedimientos como el acceso venoso central. La presencia de deslizamiento pulmonar descarta la presencia de neumotórax en esa zona con un valor predictivo negativo del 100%. (12) La ausencia de deslizamiento pulmonar no es diagnóstica de neumotórax, porque existen otras patologías que lo pueden causar como la pleurodesis previa o adherencias pleurales. La presencia de “pulso pulmonar”, que es el deslizamiento pulmonar causado por pulsaciones cardiófásicas, indica que la pleura visceral y parietal están completamente en contacto, descartando neumotórax. El pulso pulmonar se puede ver en pacientes intubados en un bronquio principal o en pacientes con un gran tapón mucoso que conduce a una atelectasia completa. (13) La presencia de un neumotórax se puede detectar definitivamente localizando el “punto pulmonar”, el área donde existe una evidencia mínima de deslizamiento pulmonar o líneas B reemplaza un área de deslizamiento pulmonar ausente durante la inspiración. Este hallazgo tiene una especificidad del 100% y una sensibilidad del 66%. (14)

Derrame Pleural

Los derrames pleurales se detectan fácilmente con ecografía y permite observar las características del líquido con más detalle que la tomografía computarizada, pueden observarse como una bolsa anecoica de líquido los cuales pueden tratarse de exudado o trasudado o como una bolsa compleja con material celular ecogénico o tabiques este corresponde con exudado siempre. (15) Los derrames pleurales unilaterales se observan muy a menudo en el síndrome pospericardiotomía o en la insuficiencia mitral grave, la ecografía se utiliza de forma rutinaria para identificar un lugar seguro para la toracocentesis y la ecografía lineal con Doppler color sirve para detectar vasos anómalos en el trayecto de la aguja. (16)

B. Ultrasonido de la vaina del nervio óptico

Las complicaciones principales derivadas de la cirugía cardíaca son ictus isquémico, lesión cerebral isquémica, delirio y deterioro cognitivo, los cuales conllevan un alta morbilidad y mortalidad. La hipertensión intracraneal es una complicación frecuente en los enfermos con lesión cerebral aguda para lo cual se requiere un diagnóstico temprano y tratamiento oportuno para cambiar la evolución natural de la enfermedad y el pronóstico del paciente. (17)

En un estudio retrospectivo llevado en un hospital de tercer nivel en España donde analizaron 900 casos a lo largo de 10 años se encontraron como complicaciones a sistema nervioso central (1.9%) 8 convulsiones, 4 accidentes cerebrovasculares y 4 encefalopatías hipóxico-isquémicas y 1 déficit neurológico reversible. (18)

El nervio óptico es una prolongación del sistema nervioso central y, está recubierto por meninges y líquido cefalorraquídeo, por tanto existirá papiledema con el aumento de la presión intracraneana, así como cambios en el diámetro de la vaina del nervio óptico con las fluctuaciones de la presión intracraneal (PIC). (19)

Ultrasonográficamente, el nervio óptico se identifica como la estructura hipoeoica de trayecto regular posterior al globo ocular. Es necesario trazar una línea vertical que se inicia en la unión del nervio óptico con el globo ocular, se usa como referencia y debe medir 3 milímetros, después se traza una línea horizontal de borde a borde del nervio óptico, con esta segunda línea se mide el valor en milímetros del nervio óptico. (20) El punto de corte de la normalidad es variable según la edad y la persistencia de la fontanela permeable; en los primeros 4 años se puede considerar aumento de la vaina del nervio óptico de 4 a 4.5 mm, mientras que en niños mayores se considera como anormal >5 mm. (21)

C. Ultrasonido cardíaco a pie de cama

El ultrasonido es una herramienta útil para evaluar las estructuras y funciones cardíacas. Los avances tecnológicos y la educación han llevado a un aumento en el uso de la ecografía a pie de cama por parte de profesionales de diversas subespecialidades distintas a la cardiología. (22)

Durante la última década, se ha incrementado significativamente el reconocimiento del ultrasonido y la ecocardiografía como herramienta para el manejo del paciente crítico. Dentro de los escenarios clínicos más frecuentes que se pueden beneficiar de la ecocardiografía se encuentran: la inestabilidad hemodinámica, hipoxemia inexplicable, posible embolismo pulmonar, daño o disección aórtica y posible endocarditis. En un estudio realizado a pacientes de cuidados intensivos, los cuales realizaron una ecocardiografía para los escenarios mencionados previamente, a 67% de los pacientes se les cambió o modificó el diagnóstico, 36% recibieron una modificación en el tratamiento, y 14% recibieron una intervención quirúrgica basados en los resultados de la ecocardiografía. (23)

A pesar de que se presentan dificultades en la adquisición de imágenes en paciente Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), un estudio demostró que aproximadamente 97% de los pacientes obtuvieron un resultado que extrajo información valiosa. (24) Los escenarios que pueden conducir a la adquisición de imágenes inadecuadas incluyen presencia de drenajes torácicos, empaquetamiento quirúrgico, niveles altos de presión positiva al final de la espiración o PEEP (> 15 cmH₂O), incremento de peso superior al 10% comparado con el peso de ingreso, obesidad en general e hiperexpansión de tórax por enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). (25) La Red Mundial Interactiva Enfocada en Ultrasonido Crítico (WINFOCUS, por sus siglas en inglés) ha publicado un documento con su opinión y la acreditación de los médicos de cuidados intensivos. La sociedad cree que todos los médicos que atienden a pacientes de

cuidados intensivos pueden beneficiarse de aprender y aplicar, por lo menos ecocardiografía básica. (26)

Existen consideraciones únicas de la población pediátrica que han limitado el uso generalizado de la ecocardiografía a pie de cama. En primer lugar, al contrario que en las prácticas de adultos, la disponibilidad de adiestramiento para subespecialidades pediátricas distintas a la cardiología es limitada y no se encuentra estandarizada. En segundo lugar, la capacitación, recomendaciones y equipo requerido para la ecocardiografía a pie de cama en la población pediátrica, deben abordar específicamente las diferencias técnicas en la exploración de niños, como los desafíos de resolución espacial y temporal de las imágenes, existiendo un amplio espectro en las imágenes obtenidas dependiendo de la edad del paciente. En tercer lugar, la aplicación en niños debe tener en cuenta la prevalencia relativa de la enfermedad. La enfermedad cardíaca es relativamente rara en niños en comparación con los adultos y, cuando está presente, es más probable que esté relacionada con cardiopatías congénitas que requieran una evaluación anatómica más detallada que la que puede abordar la ecografía cardíaca a pie de cama. (22)

Ventanas Ecocardiográficas

De acuerdo con las recomendaciones emitidas en el año 2023 por la Sociedad Americana de Ecocardiografía es esencial establecer una sistemática de exploración que permita uniformizar la disposición de las estructuras cardíacas en las diferentes ventanas de exploración. (22) El corazón se puede explorar desde el tórax, abdomen y desde el esófago. Desde cada una de estas localizaciones se pueden obtener diferentes ventanas para visualizar diferentes proyecciones y estructuras cardíacas.

Las ventanas ecocardiográficas por evaluar en la ecocardiografía a pie de cama en pacientes pediátricos en estado crítico son las siguientes (22, 27):

- Subcostal eje largo: se coloca el transductor a nivel subxifoideo, con el indicador hacia flanco izquierdo (reloj a las 3pm). Estructuras visualizadas: aurícula izquierda, aurícula derecha, ventrículo izquierdo, ventrículo derecho, válvulas auriculoventriculares, tabiques. Objetivos potenciales: descartar derrame pericárdico, evaluación general de la función sistólica biventricular, descartar derrame pleural.
- Subcostal eje de cavas: transductor a nivel subxifoideo, dirigiendo indicador hacia la cabeza del paciente. Estructuras visualizadas: vena cava inferior, hígado, vena suprahepática media, aurícula derecha, vena cava superior (basculando la sonda para dirigir los ultrasonidos hacia la cabeza del paciente). Objetivos potenciales: evaluación cualitativa del tamaño de la vena cava inferior (medición justo debajo del diafragma) y estado de hidratación.
- Paraesternal eje largo: transductor en tercer a cuarto espacio intercostal, línea paraesternal izquierda, indicador dirigido hacia el hombro derecho del paciente, obteniendo mejor ventana acústica al colocar al paciente en decúbito lateral izquierdo. Estructuras visualizadas: cavidades izquierdas (aurícula y ventrículo izquierdos), válvulas izquierdas (mitral y aórtica) y tracto de salida del ventrículo derecho. Objetivos potenciales: evaluación del tamaño y función sistólica del ventrículo izquierdo, evaluación limitada del tamaño y función sistólica del ventrículo derecho, presencia de derrame pericárdico, diferenciar entre derrame pleural o pericárdico, permite la evaluación con Doppler color de regurgitación mitral o aórtica.
- Paraesternal eje corto: transductor en tercer a cuarto espacio intercostal, línea paraesternal izquierda, dirigiendo indicador hacia hombro izquierdo (reloj 1 o 2hrs). Se identifica el plano de los músculos papilares. Estructuras visualizadas: cavidades ventriculares (ventrículo izquierdo, ventrículo derecho). Objetivos potenciales: evaluación del tamaño y función sistólica del ventrículo izquierdo, evaluación del tamaño y función sistólica del ventrículo derecho, evaluación de

la configuración del septum interventricular, presencia de derrame pericárdico, presencia de colapso ventricular derecho.

- Apical cuatro cámaras: transductor en ápex cardíaco, quinto espacio intercostal, línea axilar media-lateral. Dirigir indicador hacia la axila izquierda, asegurando que el ápex se sitúe en el vértice del sector y que el septum interventricular esté verticalizado (reloj 3hrs). Estructuras visualizadas: aurícula izquierda, aurícula derecha, ventrículo izquierdo, ventrículo derecho, válvulas auriculoventriculares y tabiques. Objetivos potenciales: evaluación del tamaño y función sistólica ventricular izquierda, tamaño y función sistólica ventricular derecha, dilatación auricular derecha o izquierda, presencia de derrame pericárdico, colapso auricular o ventricular derecho, evaluación por Doppler color de regurgitación mitral y tricuspídea.

Otras ventanas que también pueden ser evaluadas mediante la ecocardiografía a pie de cama son: apical 5 cámaras y eje corto plano pedículo vascular. Dependiendo de la experiencia del operador. (22, 28, 29)

- Apical cinco cámaras: desde la posición apical cuatro cámaras, se bascula el transductor hacia el abdomen, para dirigir los ultrasonidos hacia una posición más anterior, asegurando que el ápex se sitúe en el vértice del transductor y que el septum interventricular esté verticalizado. Estructuras visualizadas: las mismas que en apical cuatro cámaras más tracto de salida del ventrículo izquierdo y válvula aórtica. Dentro de las principales aplicaciones se encuentra la obtención del gasto del ventrículo izquierdo por método Doppler.
- Paraesternal eje corto plano pedículo vascular: transductor en tercer a cuarto espacio intercostal, línea paraesternal izquierda, dirigiendo indicador hacia hombro izquierdo (reloj 1 o 2hrs), bascular el transductor hacia los pies, para dirigir los ultrasonidos más cranealmente. Estructuras visualizadas: aurícula izquierda, aurícula derecha, válvula tricúspide, tracto de salida del ventrículo derecho, válvula pulmonar, válvula aórtica. Sus principales aplicaciones son

estimación del gasto del ventrículo derecho, evaluación de coronarias y apertura aórtica.

Fisiología de la función cardíaca

Se denomina gasto cardíaco (GC) a la cantidad de sangre que expulsa el corazón en un minuto. Podemos expresarlo como: volumen sistólico multiplicado por la frecuencia cardíaca. Académicamente hablando, podemos situar los valores de normalidad del gasto cardíaco en torno a 3.3 - 6 l/min (2,5 l/min por m² de superficie corporal sería el índice cardíaco), en reposo. Sin embargo, el gasto cardíaco, como principal determinante del transporte de oxígeno al organismo, ha de adaptarse, en cada momento, a las necesidades del organismo, por lo que un valor dentro del intervalo de la “normalidad” no sirve, como único dato, para indicarnos que la función cardíaca es óptima. (26, 30)

El enfermo crítico presenta generalmente unas demandas de oxígeno anormales debido al propio proceso desencadenante de la enfermedad, por lo que el valor de gasto cardíaco por sí solo no es suficiente para valorar el estado de la función cardíaca y situación hemodinámica del paciente. Si lo asociamos a otros valores que nos aporten información sobre los determinantes del gasto cardíaco y el equilibrio entre el aporte y el consumo de oxígeno, podremos tener una idea más exacta de lo adecuado o no de la función cardíaca global. (26)

Los determinantes del gasto cardíaco son el volumen sistólico y la frecuencia cardíaca. A su vez, el volumen sistólico va a depender de (26, 30):

Precarga

Está determinada por la longitud de la fibra cardíaca antes de su contracción. Según la ley de Frank-Starling existe una relación directa entre el grado de elongación de la

fibra en diástole y el posterior acortamiento de la fibra miocárdica en sístole. Se debe a que el estiramiento de la fibra conlleva una ligera elongación del sarcómero con lo que aumenta el número de lugares de interacción entre actina y miosina. En la clínica, podríamos definirla como la dimensión ventricular en telediástole. Se podría utilizar la presión ventricular izquierda como medida de precarga, siempre y cuando la relación entre presión y volumen ventricular fuese constante.

Según la ley de Frank-Starling, a una frecuencia cardíaca constante, el gasto cardíaco es directamente proporcional a la precarga hasta un punto a partir del cual, aunque aumenten las presiones de llenado ventricular, el GC no aumentará y, en determinadas circunstancias podría descender. Dentro de la curva de Frank-Starling, podemos definir dos fases: una primera en la que el aumento de precarga se correlaciona de forma lineal con un aumento en el volumen sistólico (o zona precarga-dependiente) y una segunda en la que el aumento de precarga apenas se correlaciona ya con un incremento en el gasto cardíaco (o zona precarga independiente). Efectivamente, las fibras miocárdicas, al estirarse, aumentan su afinidad por el Ca^{++} y, consiguientemente, la contractilidad miocárdica, pero llega un punto en que el corazón no puede distenderse más, debido a limitaciones anatómicas y estructurales. Una sobredistensión miocárdica, como ocurre en las miocardiopatías dilatadas, conlleva una alteración estructural de los miocitos, lo que ocasiona una pérdida de contractilidad y, por lo tanto, un descenso en el gasto cardíaco.

Por otra parte, también existirá un desplazamiento a la derecha de la curva de Frank-Starling cuando la distensibilidad ventricular se ve afectada por procesos que alteren la relajación ventricular, como la hipertrofia o la fibrosis, o por factores extrínsecos como enfermedades del pericardio.

La precarga, por lo tanto, tiene una relación directa con el llenado ventricular cuyo principal determinante es el retorno venoso al corazón.

La relación entre retorno venoso y función cardíaca va a determinar los valores de la presión venosa y el gasto cardíaco del momento. Un aumento en el retorno venoso

producirá un aumento del gasto cardíaco en un corazón sano y la presión venosa se mantendrá en límites normales. Por contra, en una situación de fallo cardíaco, el corazón no podrá asumir todo el contenido sanguíneo que le llega, lo que producirá un aumento de la presión de aurícula derecha (presión venosa central) y una disminución del retorno venoso debido al descenso en el gradiente de presión entre el sistema venoso y la aurícula derecha, así como un descenso en el gasto cardíaco.

Poscarga

Supone la resistencia al vaciado del corazón. En un corazón sano, la poscarga equivale a la tensión de la pared ventricular en sístole, siendo esta tensión la presión que debe superar el ventrículo para contraerse. El gasto cardíaco tiene una relación inversa con la poscarga. Asumiendo que el ventrículo tiene forma esférica, la ley de Laplace expresa la tensión de la pared según la fórmula:

- Tensión = (presión cavitaria multiplicada por el radio de la cavidad), dividido entre (dos multiplicado por el espesor de la pared).

Los principales determinantes de la presión ventricular durante la sístole son la fuerza de contracción ventricular, la distensibilidad de las paredes de la aorta y la resistencia vascular sistémica. Dado que la distensibilidad vascular suele ser constante, en la práctica clínica suele equipararse poscarga con resistencia vascular sistémica (RVS), que puede ser calculada a partir de la fórmula:

- $RVS = (PAM - PVC)/GC$

Como podemos observar, a la hora de conocer las resistencias vasculares sistémicas, en ausencia de alteraciones de la función cardíaca, la presión arterial media es su mayor condicionante y, por lo tanto, en la práctica clínica su valor nos ofrece una aproximación válida a la poscarga cardíaca.

A partir de dicha fórmula, podemos entender que la presión arterial media depende fundamentalmente y de forma directa del gasto cardíaco y de las resistencias vasculares periféricas, según:

$$- \text{ PAM} = (\text{GC multiplicado por RVS}) + \text{PVC}$$

Contractilidad cardíaca

Es la capacidad intrínseca del miocardio para bombear la sangre en condiciones de precarga y poscarga constantes. Está relacionada con la velocidad de acortamiento del músculo cardíaco que, a su vez, depende del contenido de Ca^{++} intracelular de los miocitos y determinadas proteínas musculares como la proteincinasa. La contractilidad miocárdica puede ser modulada por factores nerviosos y humorales.

Índices ecocardiográficos

La ecocardiografía es una técnica no invasiva muy utilizada en cuidados intensivos para evaluar la función cardíaca de pacientes críticamente enfermos. Los parámetros ecocardiográficos estáticos de la precarga cardíaca, como los volúmenes y las presiones de llenado estimadas, presentan las mismas limitaciones que las informadas para las presiones de llenado cardíacas invasivas. Sin embargo, la evaluación dinámica de las variables ecocardiográficas durante el ciclo respiratorio ha asumido un papel importante en la predicción de la respuesta a los líquidos.

Los datos clínicos sugieren que la variación respiratoria del diámetro de la vena cava inferior (VCI) pueden utilizarse para predecir el estado de dependencia previa a la carga en pacientes con ventilación mecánica (31).

Barbier y col. Calcularon el índice de distensibilidad de la vena cava inferior mediante ecocardiografía transtorácica y mostró que el umbral del 18% era capaz de discriminar a los respondedores de los no respondedores con una sensibilidad del 90% y una especificidad del 90%. Así mismo se observó una fuerte relación ($r = 0,9$) entre dVCI al inicio del estudio y el aumento del índice cardíaco después de la expansión del volumen sanguíneo (32).

Utilizando doppler pulsado en el trayecto del flujo de salida del ventrículo izquierdo, la ecocardiografía puede medir el volumen sistólico del ventrículo izquierdo multiplicándolo el área bajo la curva del flujo aórtico (integral de velocidad y tiempo) <ITV> por el área de sección transversal del anillo aórtico, debido a que esta permanece constante durante el ciclo respiratorio, los cambios en la ITV reflejan directamente los cambios en el volumen sistólico del ventrículo izquierdo. Por lo tanto, las variaciones de la ITV se han utilizado como sustituto de las variaciones del volumen sistólico para predecir la respuesta a líquidos (33).

La variación del volumen sistólico es un buen indicador de la respuesta a fluidos y su medición es verdaderamente simple por ecocardiografía.

- El flujo a través del tubo es Velocidad X área de cruce – seccional, si el flujo es constante.
- El flujo de sangre es más pulsátil que constante, nosotros necesitamos calcular el volumen por contracción.
- Medir la integral de velocidad de tiempo ITV (edición de todas las velocidades por contracción en ciertos puntos) pueden hacerse por rastreo sobre el doppler espectral.
- Esta es una medición en centímetros y representa que tan lejos la columna de sangre puede ser eyectada. (Distancia sistólica) (34).

Volumen = área X distancia

Por lo tanto

Volumen = área X velocidad X tiempo

También por debajo del trazo del doppler pulsado (ITV) es la distancia sistólica. Flujo de volumen (VS) = SD (or ITV) X CSA

CSA = $A r^2$

CSA = $0.785 \times (\text{diámetro})^2$

Este volumen sistólico puede ser calculado midiendo el ITV y el diámetro en el mismo punto. Este es el mejor método para medir el diámetro del tracto de salida de ventrículo izquierdo en eje largo paraesternal (34).

Posterior a ello se hace un cambio a una vista cinco cámaras con doppler pulsado. El ITV puede ser trazado. La disminución de la velocidad de barrido del flujo aórtico puede verse en más de un ciclo respiratorio. Trazando la más alta y más pequeña del ITV sobre el ciclo respiratorio seguido de algún porcentaje de cambios podría ser calculado.

La variación del volumen sistólico de más de 12% predice respuesta a fluidos, con valores del 14% tienen un alto valor predictivo positivo (34).

Las grandes venas

La vena cava inferior se mide justo en la parte distal de la vena hepática, en los pacientes con respiración espontánea se correlaciona con la presión de la aurícula derecha. En los pacientes ventilados se muestra una baja correlación entre la vena

cava inferior y la aurícula derecha, sin embargo, una presión de la aurícula derecha menor de 10 mmHg puede asumirse si la vena cava inferior es menor de 12 mm, en pacientes con respiración espontánea los pacientes pueden tener corte de 2 cm con presión de la aurícula derecha por arriba o debajo de 10 mmHg.

Sin embargo, una VCI menor de 10 mmHg predice que el volumen puede ser mejor tolerado.

En pacientes con ventilación invasiva frecuentemente tienen una dilatación de la Vena cava inferior por que el incremento de la presión intratoracica impacta en la reflexión del estado del volumen intravascular (34).

Variación en el diámetro de la vena cava inferior

Los cambios cíclicos en la presión intratoracica inducen cambios en la presión de la aurícula derecha las cuales alteran el retorno venoso. En la ventilación controlada la VCI se expande en inspiración y se reduce en espiración.

Esto se puede visualizar en modo M, pero es mejor visualizarlo en modo 2D por que los vasos no son siempre perpendiculares al haz. Esta variación es anulada cuando la presión de la aurícula derecha es alta. La ausencia de altas variaciones respiratorias sugiere que el paciente no responde a fluidos (34).

Se define como índice de variabilidad a una variación del diámetro mayor al 12% identifica respuesta.

$$100 \times (D_{\max} - D_{\min} / D_{\text{medio}})$$

Se define como índice de distensibilidad a un valor superior a 18% prediciendo que el paciente responderá a volumen.

$$DI = D \text{ max} - D \text{ min} / D \text{ min} \times 100\%$$

Se define como índice de colapsabilidad a un valor con índice mayor de 36% prediciendo una respuesta a volumen.

$$(VCI \text{ Max} - VCI \text{ min}) / (VCI \text{ max}) \times 100$$

D. PROTOCOLO VEXUS

Fisiología de la congestión venosa.

La vena cava inferior es el principal factor por describir en la congestión venosa. Sin embargo, debido a un incremento en el volumen venoso estresado o un incremento en la presión atrial derecha el primer compartimiento venoso donde inicia la congestión es aparentemente la vena cava inferior.

Cuando la vena cava inferior alcanza la parte plana de esta complianza, la presión comienza a ser transmitida de forma retrograda con dilatación de las venas hepáticas y así mismo las venas renales.

El flujo normal en las venas hepáticas refleja la presión venosa central donde se describen tres ondas onda A retrograda seguida por una onda S y D anterógrada (35).

Como evaluar la perfusion esplácnica

En la evaluación de la Hemodinámica esplácnica regional por el índice por dóppler color. Una medición del flujo de sangre pulsátil refleja la resistencia de la cama del flujo sanguíneo de la microvasculatura. Esto provee utilidad para detectar anomalías hemodinámicas relacionadas con disfunción orgánica antes de que ocurran cambios bioquímicos macro hemodinámicas. Esto es porque la hipoperfusión esplácnica altera la microcirculación orgánica por el incremento de las resistencias del flujo en turno, índice de resistencia doppler (36).

Sin embargo, existen algunos factores que pueden influir en la interpretación tales como arritmias, esclerosis arterial, presión intraabdominal, Hipóxia, función cardiaca derecha, aumento de la presión de cuña (37).

Hígado y Riñón

El Doppler de las venas hepáticas son el resultado de las interacciones entre el drenaje del retorno venoso por la presión media sistémica, el atrio y el ventrículo derechos.

La presión media sistémica es generada por el retroceso de la suma total del sistema venoso.

El sistema venoso es altamente compliant y actúa a lo largo del reservorio sanguíneo que puede ser reclutado en tiempos de hipovolemia al incrementar el tono venoso.

El volumen sanguíneo que ocupa el compartimiento venoso sin distender las paredes de las venas es llamado volumen no estresado y no ejerce influencia en el retorno venoso (38).

Sin embargo, el volumen adicional que distiende las paredes del sistema venoso conocido como volumen estresado, podría generar una presión debido al retroceso elástico de las venas. La presión que resulta este retroceso se conoce como presión media sistémica, así mismo funciona como la fuerza que conduce el retorno venoso al ventrículo derecho (39).

Ciclo cardíaco

Durante el ciclo cardíaco cuando la presión del atrio derecho supera la presión media sistémica el flujo de sangre se alejará de la cámara cardíaca, al contrario, el flujo sanguíneo se ira hacia el corazón cuando la presión media sistémica supere la presión de la aurícula derecha. Por lo tanto las ondas de doppler hepático normal están caracterizadas por una onda en la línea de base inicial asociada con la contracción

atrial derecha seguida por un flujo por debajo de la línea de base durante la sístole, debido a una relajación del atrio derecho y el movimiento del anillo tricúspideo hacia el ápex del corazón y en un incremento en la capacidad del volumen atrial a medida de que los ventrículos disminuyen su volumen dentro del pericardio no compatible) y finalmente una onda de flujo por debajo de la línea de base durante la diástole cuando la aurícula derecha se convierte en un conducto pasivo para que la sangre ingrese al ventrículo derecho relajado (38).

Estas ondas se conocen como ondas A, D y S, respectivamente y corresponden con las ondas A, X, Y que coinciden con el pulso venoso yugular. Generalmente las presiones del atrio derecho como las ondas A llegan a ser más prominentes que la S que pueden disminuir en amplitud en relación con la onda D hasta que haya una inversión sistólica del flujo y la fusión con la onda A.

Clasificación de vexus

El VEXUS grado 0 es quien no tiene congestión de ningún órgano, el VEXUS grado 1 es quien solo tiene congestión moderada, VEXUS grado 2 es quien tiene congestión severa en solo un órgano y VEXUS grado 3 es quien tiene congestión severa en al menos 2-3 sistemas (38).

V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

No existe aún un estudio que relacione los hallazgos ultrasonográficos en el paciente operado de cardiovascular con las posibles complicaciones derivadas de la intervención quirúrgica o el uso de circulación extracorpórea, tampoco se ha diseñado un protocolo de evaluación que permita guiar el manejo en las primeras horas de posquirúrgico, el cuál podría contribuir en tener un manejo oportuno de las complicaciones mejorando la morbimortalidad de los pacientes.

Es por eso que es de nuestro interes saber si lo hallazgos de ultrasonido encontrados en el paciente pediátrico operado de cirugía cardíaca en el periodo posoperatorio temprano nos servirán para predecir complicaciones oportunamente.

VI. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿El uso de ultrasonografía en el posquirúrgico de cardiopatías congénitas nos podrá predecir complicaciones tempranamente?

VII. JUSTIFICACIÓN

El uso del ultrasonido en medicina crítica ha tomado mucha importancia por permitir contar con un estudio diagnóstico que puede realizarse a la cama del paciente, es seguro, de bajo costo, accesible, sin radiación ionizante, el cual permite identificar complicaciones en forma inmediata y de esta forma poder realizar intervenciones oportunas, además de poder guiar el manejo en los pacientes con inestabilidad hemodinámica.

El acceso a un ultrasonido las 24 horas, los 7 días de la semana, es importante a la hora de manejar la labilidad hemodinámica que caracteriza a estos pacientes, un estudio ecocardiográfico puede respaldar un diagnóstico de falla de ventrículo izquierdo, hipovolemia, taponamiento, obstrucción dinámica del tracto de salida del VI secundaria a movimiento sistólico de la valva anterior de la válvula mitral, o fallo agudo de ventrículo derecho. La ecocardiografía pulmonar permite identificar edema pulmonar, derrame pleural, consolidación, neumotorax. El protocolo VEXUS puede medir el grado de congestión venosa.

Es de nuestro interés evaluar con esta tecnología a nuestros pacientes en el posoperatorio inmediato para conocer si los hallazgos tempranos ecocardiográficos correlacionan con complicaciones posoperatorias.

VIII. HIPOTESIS

La frecuencia de complicaciones en nuestro hospital será similar a lo reportado en otros hospitales o en otros países, los pacientes con mayor distensibilidad de la vena cava tendrán una relación positiva con choque hemorrágico, los pacientes con medida de la vaina del nervio óptico más dilatada tendrán relación positiva con el tiempo de circulación extracorporea, los pacientes con valoración de protocolo VEXUS positivo para congestión venosa severa tendrán relación positiva con sobrecarga hídrica y lesión renal aguda, la insuficiencia tricuspídea tendrá relación positiva con la presencia de arritmias.

IX. OBJETIVOS

General:

Asociar los hallazgos ultrasonográficos con las complicaciones inmediatas en los pacientes pediátricos operados de cirugía cardiovascular del Hospital Infantil de México “Federico Gómez” en el periodo de septiembre de 2022 a abril de 2023.

Específicos:

1. Identificar la frecuencia de las complicaciones y las características clínicas de nuestros pacientes
2. Correlacionar los hallazgos ultrasonográficos con posibles complicaciones inmediatas en los niños operados de cirugía cardiaca.

X. MÉTODOS

1. Población de estudio

Fueron incluidos niños de ambos sexos, entre 0 y 18 años, con diagnóstico de cardiopatía congénita operados de cirugía cardiovascular. El estudio se realizó en una etapa, retrolectiva (2022-2023).

2. Descripción del estudio

- Transversal
- Observacional
- Retrospectivo
- Analítico

3. Lugar del estudio

Hospital Infantil de México “Federico Gómez”, Unidad de Terapia Intensiva Pediátrica

4. Tiempo de estudio

Septiembre 2022 a mayo 2023

5. Criterios de inclusión

- Pacientes atendidos en la terapia intensiva del HIMFG.
- Pacientes con diagnóstico de cardiopatía congénita operados de cirugía cardiovascular en el perioro de tiempo 2022-2023.
- Pacientes de 0 – 18 años.
- Cualquier género.

6. Criterios de exclusión

- No haber obtenido la información clínica completa
- Pacientes sin ventilación mecánica invasiva
- Pacientes con mala ventana acústica para valoración ultrasonográfica

7. Planeación

A los pacientes operados de cirugía cardiovascular que cumplan los criterios de inclusión, se les realizará un ultrasonido en la primera hora del postquirúrgico llenando un formato con diferentes variables, asociado a monitoreo hemodinámico, estudios de laboratorio y estudios de imagen con el objetivo de reconocer posibles complicaciones.

El diagnóstico de cardiopatía congénita y los criterios para elección de cirugía cardíaca se llevó a cabo por una valoración de ecocardiografía, angiotomografía, angioresonancia magnética o cateterismo cardíaco valorado en conjunto por los servicios de cardiología, cirugía cardiovascular y medicina crítica cardiovascular.

XI. PROCESAMIENTO DE DATOS

Se obtendrán del expediente clínico datos epidemiológicos de los pacientes en estudio. Se realizará estadística descriptiva, expresando los datos como promedio y desviaciones estándar para variables con distribución normal y como medianas con rangos para variables con distribución no paramétrica. Se evaluará la asociación de las diferentes complicaciones tempranas en el paciente crítico operado de cirugía cardíaca y hallazgos de ultrasonido. Las características clínicas que se analizarán incluirán las siguientes: Edad del paciente, fecha de cirugía, diagnósticos prequirúrgicos y posquirúrgicos, índice de sobre carga hídrica, presión venosa central, ritmo electrocardiográfico, creatinina prequirúrgica y posquirúrgica, uresis en las primeras 18 horas, uso de diurético, tiempo de circulación extracorporea, tiempo de pinzamiento aortico, tiempo de paro circulatorio, sangrado en las primeras 18 horas. Los hallazgos de ultrasonido que se analizarán serán los siguientes: Distensibilidad de la vena cava inferior, derrame pericárdico, derrame pleural, neumotorax, líneas A, líneas B, signo de “sliding”, signo de “codigo de barras”, medición de la vaina del nervio óptico del ojo derecho y ojo izquierdo, protocolo VEXUS, FEVI, función cualitativa, coagulo anterior al ventrículo derecho, signo de “Kissing Wall”, NIRS cerebral y renal. Los análisis estadísticos serán ajustados por hallazgos ultrasonográfico, características clínicas y complicación posquirúrgica. Se utilizará el programas estadístico Stata/SE 14.2 para Mac OS y Microsoft excel para generar gráficas.

XII. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

Tabla 1. Tipo y definición de variables independientes

VARIABLES INDEPENDIENTES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN
Edad	Tiempo vivido por una persona desde su nacimiento.	Tiempo vivido por el paciente desde su nacimiento hasta el ingreso hospitalario.	Numérica	Años
Cirugía realizada	Procedimiento quirúrgico realizado para corrección de una cardiopatía congénita.	Tipo de procedimiento realizado en pacientes pediátricos con la finalidad de mejorar la calidad de vida o corregir una cardiopatía congénita.	Nominal	Diagnósticos posquirúrgicos de cirugía cardiovascular
Índice de sobrecarga hídrica	Porcentaje de líquido acumulado agregado a la cantidad de líquido habitual corporal.	Porcentaje de acumulación de fluidos más de un 10 % superior al peso corporal basal.	Numérica	Porcentaje
Presión venosa central	Presión registrada por un cateter localizado en la desembocadura de la vena cava superior.	Presión media de todas las fluctuaciones de presión que tienen lugar en la aurícula derecha durante el ciclo cardíaco.	Numérica	Milímetros de mercurio
Ritmo electrocardiográfico	Patrón de despolarización del corazón que se obtiene de un electrocardiograma.	Patrón de despolarización que se obtiene de analizar la dirección y magnitud de las corrientes eléctricas producidas por el corazón.	Nominal-Dicotómica	-Sinusal -Nodal
Arritmias	Alteración en la frecuencia de descarga de las células miocárdicas que puede generar o no inestabilidad hemodinámica.	Variación en la frecuencia de descarga del corazón que no guarda relación con el ciclo de la respiración	Nominal-Dicotómica	Sí/No

Creatinina posquirurgica	Compuesto orgánico generado a partir de la degradación de la creatina, que se utiliza para monitorizar la función renal.	Valor plasmático de un producto de desecho del metabolismo normal de los musculos, que se filtra por los riñones y se excreta por la orina, reflejando la función renal	Numérica	Miligramos por decilitro
Tasa de filtrado glomerular	Volumen de fluido filtrado por unidad de tiempo desde los capilares glomerulares renales hacia el interior de la capsula de Bowman.	Volumen filtrado en los glomerulos renales por unidad de tiempo calculado con la fórmula de Schwartz con la creatinina posquirurgica inmediata.	Numérica	mL/min/1.73 metros cuadrados
Gasto urinario	Cantidad de orina por kilogramo de peso corporal que produce una persona.	Cantidad de orina por kilogramo de peso corporal por hora, tomando en cuenta la cantidad de orina desde su salida de quirófano hasta las 07:00 AM del siguiente día.	Numérica	Mililitro por kilogramo por hora
Escala de lesión renal aguda KDIGO	Clasificación de la lesión renal aguda de acuerdo al aumento de creatinina y disminución del volumen urinario	Clasificación de la lesión renal aguda posterior a optimización de volemia de acuerdo al aumento de creatinina, disminución de uresis horaria, disminución de tasa de filtrado glomerular o inicio de terapia de sustitución renal	Nominal-Categorica	Normal Etapa 1 Etapa 2 Etapa 3
Uso de diuréticos	Uso de medicamentos con la finalidad de forzar la uresis.	Farmacos empleados y forma de administración para mantener un gasto urinario adecuado.	Nominal-Dicotómica	-Furosemide /aminofilina -Bolos/infusión
Tiempo de circulación extracorporea	Tiempo desde el inicio de la circulación extracorpórea hasta el momento del clampeo en el retorno venoso, el cual detiene el flujo sanguíneo desde el paciente.	Tiempo de duración de la circulación extracorpórea durante la cirugía.	Numérica	Minutos

Tiempo de pinzamiento aórtico	Tiempo transcurrido desde el inicio del clampado de la aorta para la administración de cardioplejía hasta el retiro de la misma.	Tiempo durante la circulación extracorpórea en el cual la arteria aorta es pinzada.	Numérica	Minutos
Tiempo de paro circulatorio	Tiempo de duración de paro de la circulación extracorpórea.	Tiempo de duración de paro de la circulación extracorpórea.	Numérica	Minutos
NIRS cerebral y renal	Medida de detección temprana de cambios en la cantidad de oxígeno del lecho vascular con luz cercana al infrarrojo.	Espectroscopia cercana a infrarrojo estimada en el lecho vascular cerebral y renal.	Numérica	Porcentaje
Choque hemorrágico	Inestabilidad hemodinámica causada por la pérdida aguda y significativa de volumen intravascular.	Inestabilidad hemodinámica causada por la pérdida aguda y significativa de volumen intravascular posterior a la cirugía cardíaca.	Dicotómica	Sí/No

Tabla 2. Tipo y definición de variables dependientes

VARIABLES DEPENDIENTES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN
Hallazgos pulmonares				
Signo de Sliding	El desplazamiento del pulmón en la cavidad torácica durante la respiración produce una alteración en la línea pleural que denominaremos «lung sliding» o deslizamiento pulmonar.	Imagen de desplazamiento del pulmón en la cavidad torácica, durante la respiración evidenciado en el ultrasonido pulmonar.	Dicotómica	Sí/No

Lineas A	Las líneas A son el resultado de un artefacto de reverberación, que se traduce en la aparición de varias líneas paralelas a la línea pleural a intervalos regulares.	Observar líneas paralelas a la línea pleural a intervalos regulares.	Dicotómica	Sí/No
Lineas B	Las líneas B son un artefacto en cola de cometa que se produce en la línea pleural, en la zona de contacto entre la pleura visceral y el pulmón normalmente aireado	Observar líneas perpendiculares a la línea pleural, con forma de cola de cometa que inicia en la zona de contacto entre la pleura visceral y el pulmón.	Dicotómica	Sí/No
Codigo de barras	En modo M, patrón lineal por encima y debajo de la línea pleural	Patrón lineal por encima y debajo de la línea pleural similar a un código de barras que se observa en la modalidad M	Dicotómica	Sí/No
Derrame pleural	Acumulación de líquido entre la pleura y la cavidad torácica.	Acumulación de líquido entre la pleura y la cavidad torácica presente en el período postoperatorio.	Dicotómica	Sí/No
Neumotorax	Filtración de aire dentro del espacio que se encuentra entre los pulmones y la pared torácica. El aire hace presión en la parte externa del pulmón y causa el colapso.	Presencia de aire filtrado en el espacio pleural, que causa el colapso pulmonar.	Nominal-Dicotómica	Sí/No

Hallazgos oculares				
Vaina del nervio óptico	Medición tomada a 3 mm de profundidad de la retina, del diametro del nervio óptico	Diametro del nervio óptico a 3 mm de profundidad desde el inicio de la retina.	Numérica	Milímetros
Hallazgos cardíacos				
Derrame pericárdico	Acumulación de líquido en el espacio pericárdico.	Impresión cualitativa de la presencia de liquido en el espacio pericárdico visualizado en las diferentes ventanas del ecocardiograma.	Dicotómica	Sí/No
Fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI)	Porcentaje de sangre eyectada por el ventrículo izquierdo.	Volumen sistólico dividido por el volumen del ventrículo al final de la diástole.	Numérico	Porcentaje
Distensibilidad de la vena cava inferior	Cambios en el diametro de la vena cava inferior con la ventilación mecánica invasiva.	Se refiere al calculo de la diferencia del diametro máximo con el mínimo dividido entre el diametro mínimo.	Numérica	Porcentaje
Insuficiencia Tricuspídea	Incapacidad de la válvula tricúspide de cerrarse correctamente durante la sístole, permitiendo regurgitación de flujo sanguíneo del ventrículo derecho hacia la aurícula derecha.	Regurgitación del flujo sanguíneo desde el ventrículo derecho hacia la aurícula derecha durante la diástole.	Nominal-Dicotómica	Sí/No
Coagulo anterior al ventrículo derecho	Hallazgo de un trombo ubicado en el tracto de salida del ventrículo derecho.	Visualización directa en la vista de camaras derechas de un trombo en el ventrículo derecho o en el tracto anterogrado del ventrículo derecho.	Nominal-Dicotómica	Sí/No

Signo de Kissing Wall	Consiste en la obliteración sistólica de la cavidad ventricular izquierda	Obliteración sistólica de la cavidad ventricular izquierda.	Nominal-Dicotómica	Sí/No
Protocolo VEXUS	Evaluación de la congestión venosa y la repercusión en la relación flujo-presión-volumen del sistema cardiovascular	Evaluación del grado de congestión venosa tomando en cuenta las características de la vena suprahepática, vena porta y vena renal.	Nominal-Categorica	- Sin congestión - Congestión leve - Congestión severa

XIII. RESULTADOS

En este estudio se realizó la recolección de datos de los pacientes operados de cirugía cardiovascular obteniendo un total de 28 pacientes después de emplear los criterios de eliminación y exclusión. Se pudo observar que la edad media de intervención quirúrgica fue de 60.3 meses de edad (rango 16 días-180 meses). Con una distribución de género 12 mujeres (43%) y 16 hombres (57%).

Tabla 1. Frecuencia de diagnósticos preoperatorio y posoperatorios y edad al momento de la cirugía		
Diagnóstico cardiológico	Tipo de cirugía	Total de pacientes
Comunicación interventricular	Cierre de la CIV Cierre de CIA Ligadura de PCA	7/25% Edad m: 55.9 meses
Drenaje venoso anómalo total	Corrección total	5/17.9% Edad m: 51.2 meses
Tetralogía de Fallot	Corrección total con parche transanular	1/3.6% Edad: 84 meses
TF corregida con insuficiencia pulmonar	Colocación de válvula pulmonar	2/7.1% Edad m: 132 meses
Atresia tricúspidea	Fontan	2/7.1% Edad m: 114 meses
Atresia tricúspidea	Cerclaje de AP Ligadura de PCA	1/3.6% Edad: 6 meses
DVSVD	Fístula BT Septostomía interatrial y cerclaje de AP	2/7.1% Edad m: 6 meses

Coartación de aorta más hipoplasia de la raíz aórtica	Coartectomía Damus	2/7.1% Edad m: 1.4 meses
PO de interrupción de arco aórtico tipo B más CIV con estenosis subvalvular aórtica	Cierre de CIV y ESAFF	1/3.6% Edad: 48 meses
D TGA con estenosis pulmonar	Fístula de BT	1/3.6% Edad: 1.2 meses
D TGA con septum integro	Jatene	1/3.6% Edad: 17 días
Doble vía entrada de VI	Fontan	1/3.6% Edad: 96 meses
Atresia pulmonar con septum integro	Fontan	1/3.6% Edad: 132 meses
CIV con obstrucción subaórtica	Cierre de CIV más ESAFF	1/3.6% Edad: 168 meses

De las complicaciones respiratorias que se detectaron por clínica se busco su asociación a anomalías del USG pulmonar como sliding, líneas A, líneas B y código de barras. Sólo se presento en 2 pacientes derrame pleural y en 1 neumotórax, en este último paciente no se realizaron líneas A y B, el signo de código de barras estuvieron presentes, por lo que solo se cruzo la variable de derrame pleural. Ver tabla 2.

Tabla 2. Hallazgos ultrasonográficos en el derrame pleural			
N=28	Derrame pleural N=2		Total
	Sí	No	
Sliding positivo	0 0%	25 100%	25 100%
Sliding negativo	2 67%	1 33%	3 100%
Total	2 7%	26 93%	28 100%
Líneas A positivas	1 5.9%	16 94.1%	17 100%
Negativas	0 0%	8 100%	8 100%
No se realizó	1 33.3%	2 66.7%	3 100%
Líneas B positivas	1 33.3%	2 66.3%	3 100%
Líneas B negativas	0 0%	22 100%	22 100%
No reportado	1	2	3
Código de barras Positivo	1 5.3%	18 94.7%	19 100%
Negativo	1 11.1%	8 88.9 %	9 100%

Sólo 3 pacientes presentaron un índice de sobrecarga hídrica mayor al 3 %, que corresponde a un 10% de la población. Se cruzó esta variable con LRA de acuerdo a KDIGO, encontrando que los pacientes que se encontraron en KDIGO 2 tuvieron en un 66% sobrecarga mayor al 3%.

En la siguiente tabla se encuentra la comparación del índice de resistencia renal con la escala de falla renal KDIGO se observó que los pacientes sin falla renal presentaban índices de resistencia renal más altos que los pacientes con falla renal sin embargo al realizar el análisis estadístico con la prueba de Kruskal-Wallis resultó una $P=0.1646$ demostrando que no es estadísticamente significativo.

Tabla 3. Comparación de escala KDIGO de lesión renal aguda con el índice de resistencia renal.

Sin lesión renal aguda			
Variable	N	Media	DE
Índice de resistencia renal	14	0.8857143	0.3153683
KDIGO 1			
Variable	N	Media	DE
Índice de resistencia renal	10	0.725	0.0770642
KDIGO 2			
Variable	N	Media	DE
Índice de resistencia renal	3	0.7466667	0.1150362

Se comparó la relación entre la creatinina posquirúrgica y el índice de sobrecarga sin mostrar una relación positiva o negativa entre ambos, se calcula coeficiente de correlación de 0.0523 lo cual corrobora que no existe una relación lineal entre ambos.

En la siguiente figura se muestra la relación entre la creatinina posquirúrgica y el índice de resistencia renal, la cual muestra una relación inversamente proporcional, es decir en los pacientes con menores índices de resistencia renal a la salida de quirófano tienen una creatinina posquirúrgica más elevada con un coeficiente de correlación calculado de -0.3456, por tanto, tiene una relación débil pero negativa.

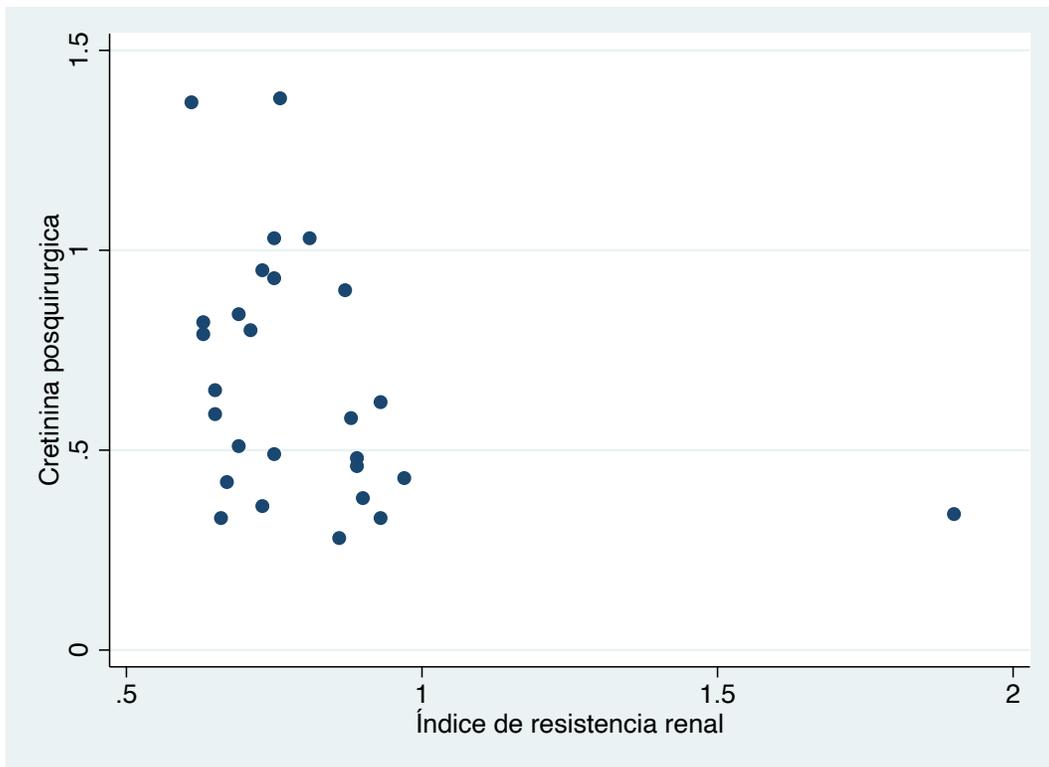


Figura 1. Relación entre creatinina posquirúrgica y el índice de resistencia renal.

De los índices de sobrecarga hídrica por ultrasonido que se estudiaron fue la distensibilidad de la cava, reportándose una mediana de 11 ± 12 (3-55), se cruzo índice de sobrecarga hídrica mayor al 3% con distensibilidad de la VCI menor al 18%. Ver tabla #4. Los 3 pacientes que tuvieron sobrecarga hídrica tuvieron distensibilidad de la VCI menor al 18%, sin encontrarse significancia estadística con una $p=0.67$.

Tabla 4. Índice de sobrecarga hídrica mayor del 3% y distensibilidad de la VCI mayor 18%

			DVCI mayor 18%		Total
			Sí	No	
Índice de sobrecarga hídrica mayor del 3%	Sí	N % Índice de sobrecarga hídrica mayor del 3%	0 0.0%	3 100.0%	3 100.0%
	No	N % Índice sobrecarga hídrica mayor del 3%	8 32.0%	17 68.0%	25 100.0%
Total		N %	8 28.6%	20 71.4%	28 100.0%

En la siguiente figura se analiza la relación entre el índice de sobrecarga hídrica y la distensibilidad de la VCI donde se puede observar una relación negativa, por tanto, son inversamente proporcionales, a mayor índice de sobrecarga hídrica, menor distensibilidad de la vena cava inferior, se calculó un coeficiente de correlación de -0.4804, el cual apoya lo observado en la gráfica.

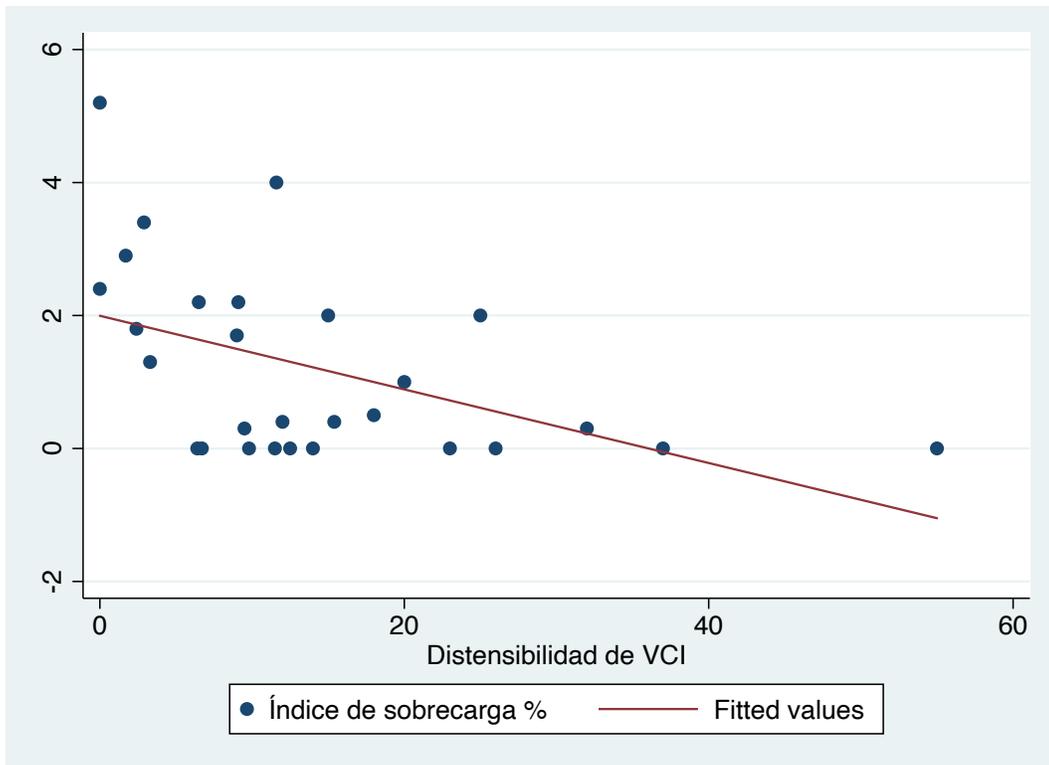


Figura 2. Relación entre distensibilidad de la VCI y el índice de sobre carga hídrica

El choque hemorrágico que es otra complicación que se incluyó en el estudio, lo presentaron 9 pacientes (32%), no encontrándose asociación con ninguna de las mediciones USG.

En la siguiente figura se puede observar la relación entre el tiempo de circulación extracorpórea y el tamaño de la vaina del nervio óptico, donde podemos apreciar una clara relación entre el tiempo de circulación extracorpórea con el diámetro del nervio óptico con un coeficiente de correlación de 0.4559 que reafirma la relación positiva entre ambas variables.

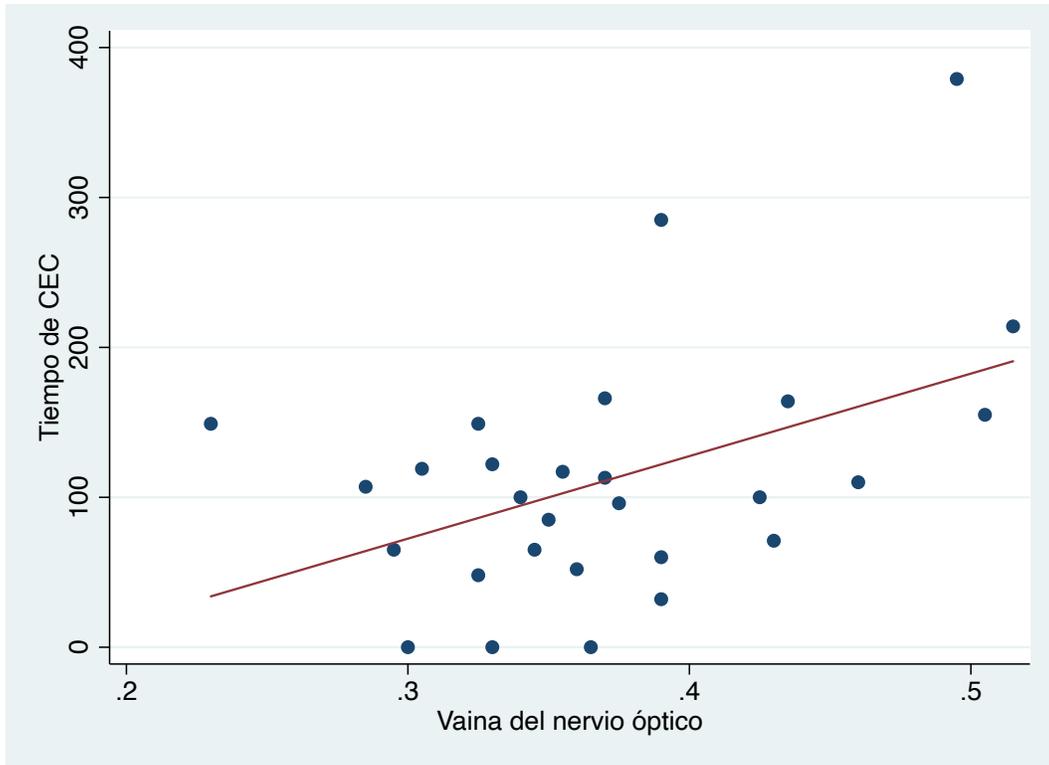


Figura 3. Relación entre el tiempo de circulación extracorpórea y la vaina del nervio óptico

En la siguiente figura ilustra el tiempo de pinzamiento óptico y el diámetro de la vaina del nervio óptico donde podemos concluir que no existe una relación entre ambas variables con un coeficiente de correlación de -0.2746 lo cual muestra una relación baja.

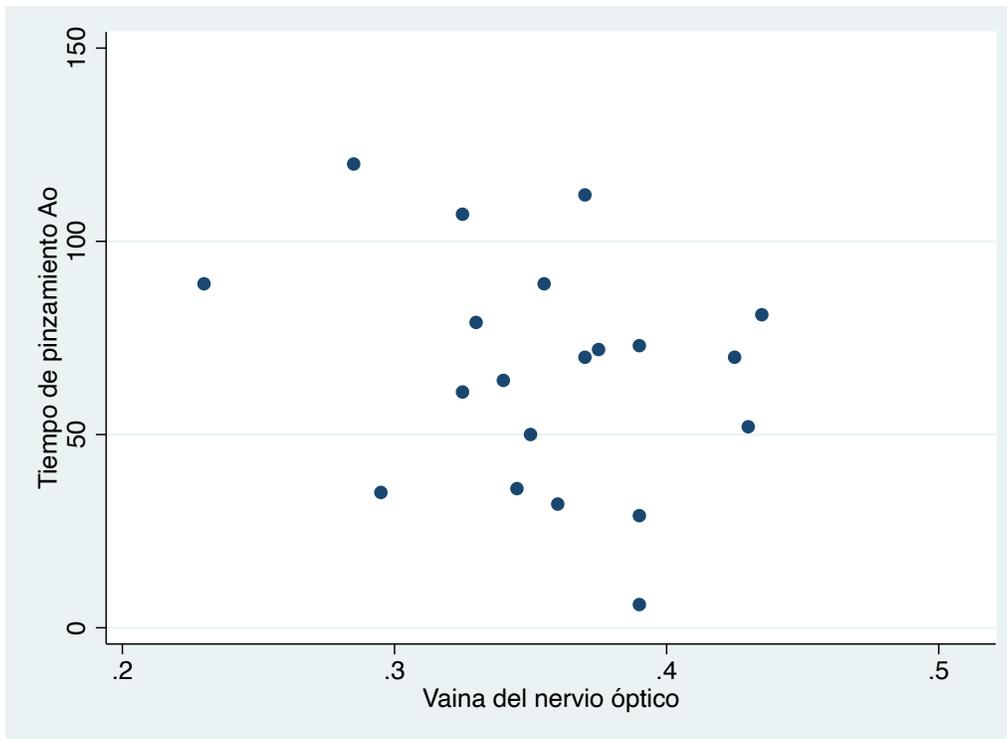


Figura 4. Relación entre el tiempo de pinzamiento aórtico y el diámetro de la vaina del nervio óptico.

No se hizo seguimiento de las complicaciones neurológicas para poder cruzar con el engrosamiento de la vaina del nervio óptico y el tiempo de bypass.

Se encontró que 17 pacientes (60%) presentaron insuficiencia tricúspidea, se esperaría una elevación de la PVC en estos niños, sin embargo, no se encontró una asociación entre estos. Se buscó la relación entre arritmias e insuficiencia tricúspidea sin embargo solo se reportaron 2 casos de pacientes que presentaron arritmias, y al analizarlo se obtuvo una $P = 0.747$ por prueba de χ^2 concluyendo que no existe relación entre estas variables.

En la siguiente tabla se muestra la relación entre la variabilidad de la vena porta como parte del protocolo VEXUS, comparada con la presión venosa central se obtuvo una $P = 0.3638$ lo cual no es estadísticamente significativo a pesar de observarse una relación débil entre ambas variables.

Tabla 5. Comparación de la variabilidad de la vena porta y la presión venosa central.

Variabilidad de la vena porta <30%			
Variable	N	Media	DE
PVC	8	10.25	4.334249
Variabilidad de la vena porta >30%			
Variable	N	Media	DE
PVC	19	12.21053	4.961843

En esta tabla podemos observar el número de pacientes en quienes se realizó el protocolo VEXUS, el cual se comparó con la presión venosa central, observando una diferencia clara en los tres grupos, que nos orienta a una relación positiva, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis encontrando una diferencia significativa con $P=0.0302$, en la figura 8 se puede corroborar lo explicado en la tabla.

Tabla 6. Comparación del protocolo VEXUS con la presión venosa central.

VEXUS sin congestión			
Variable	N	Media	DE
PVC	14	9.428571	3.673487
VEXUS congestión leve			
Variable	N	Media	DE
PVC	10	13.5	4.57651
VEXUS congestión severa			
Variable	N	Media	DE
PVC	3	15.66667	6.350853

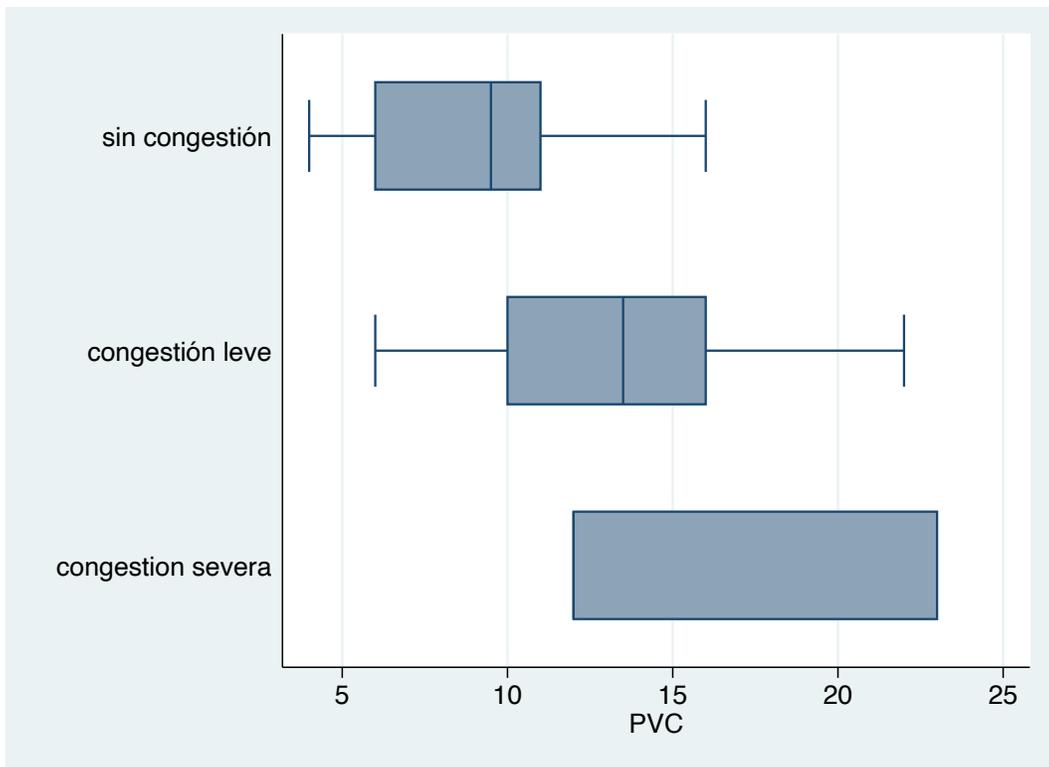


Figura 5. Comparación entre el protocolo VEXUS y la presión venosa central.

En la comparación del protocolo VEXUS de congestión venosa con la escala KDIGO de falla renal aguda se realizó la prueba de Chi², con la se obtuvo una P=0.695 evidenciando que no tiene relación estadística.

En la comparación de la tasa de filtrado glomerular con el protocolo VEXUS se encontró una diferencia aritmética que sugiere una relación inversamente proporcional, es decir, a menor congestión venosa se observaron tasas de filtrado glomerular más elevadas, pero sin una diferencia estadísticamente significativa con P= 0.5241.

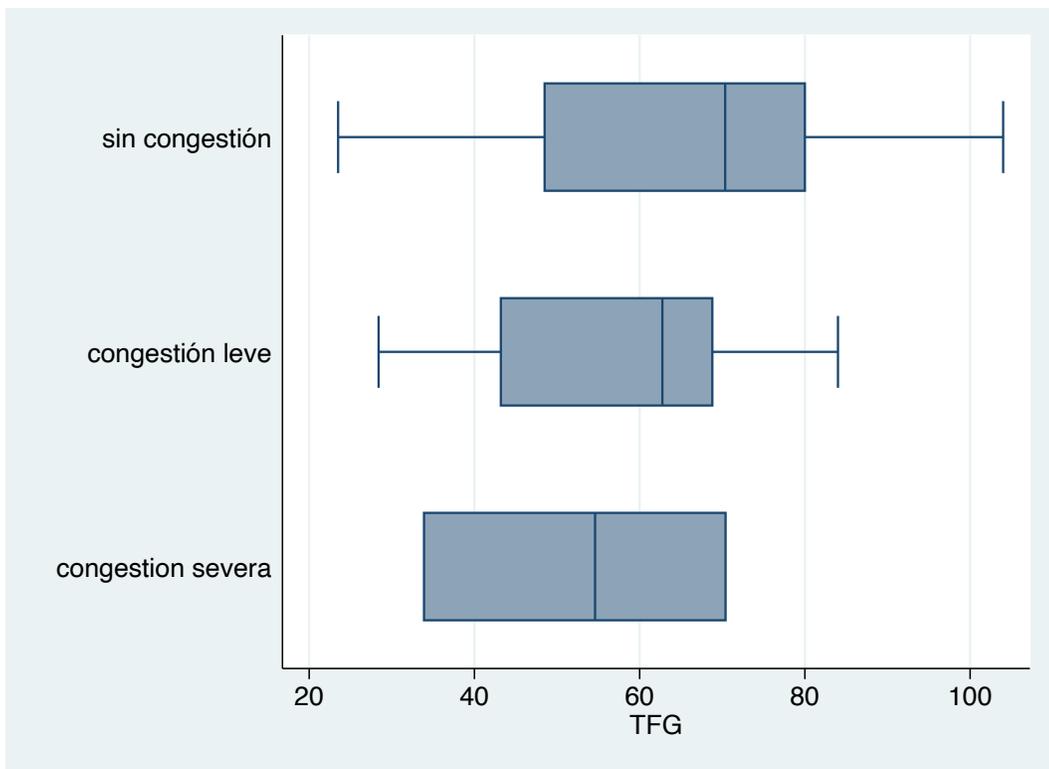


Figura 6. Comparación de protocolo VEXUS y tasa de filtrado glomerular

En la siguiente tabla se muestra cómo se relaciona el protocolo VEXUS con el índice de sobrecarga de forma positiva al observar la diferencia aritmética, sin embargo, se calculó una P=0.6095 sin significancia estadística.

Tabla 7. Comparación entre el protocolo VEXUS y el índice de sobrecarga

Vexus: sin congestión			
Variable	N	Media	DE
Índice de sobrecarga hídrica	14	1.121429	1.191753
Vexus: congestión leve			
Variable	N	Media	DE
Índice de sobrecarga hídrica	10	1.33	1.897396
Vexus: congestión severa			
Variable	N	Media	DE
Índice de sobrecarga hídrica	3	1.566667	1.096966

En la siguiente tabla se observa que no existe una relación clara entre el grado de congestión venosa del protocolo VEXUS y la distensibilidad de la vena cava inferior con una $P=0.3628$ sin significancia estadística.

Tabla 8. Comparación del protocolo VEXUS y la distensibilidad de la vena cava inferior

Vexus: sin congestión			
Variable	N	Media	DE
Distensibilidad de VCI	14	13.7071	15.4488
Vexus: congestión leve			
Variable	N	Media	DE
Distensibilidad de VCI	10	14.63	8.101036
Vexus: congestión severa			
Variable	N	Media	DE
Distensibilidad de VCI	3	8.366667	1.628906

En la siguiente gráfica se representa el número de pacientes con insuficiencia tricuspídea que tuvieron congestión de la vena hepática en la valoración vexus sin encontrar una relación clara entre ambas variables con una $P=0.300$ sin significancia estadística, mediante la prueba de χ^2 .

Tabla 9. Relación entre congestión de la vena hepática y la insuficiencia tricuspídea.

	Insuficiencia tricuspídea		
	No	Sí	Total
Vena hepática	2	7	9
Sin congestión			
	22.22	77.78	100.00
	18.18	43.75	33.33
Congestión leve	4	6	10
	40.00	60.00	100.00
	36.36	37.50	37.04
Congestión severa	5	3	8
	62.50	37.50	100.00
	45.45	18.75	29.63
Total	11	16	27
	40.74	59.26	100.00
	100.00	100.00	100.00

En la siguiente tabla se muestra la relación entre la valoración hepática del protocolo VEXUS y la insuficiencia hepática, sin encontrar relación aritmérica ni de significancia estadística con una $P=0.791$.

Tabla 10. Relación entre hipertensión pulmonar y congestión de la vena hepática

	Hipertensión pulmonar		
	No	Sí	Total
Vena hepática	4	5	7
Sin congestión			
	44.44	55.56	100.00
	26.67	41.67	33.33
Congestión leve	6	4	8
	60.00	40.00	100.00
	40.00	33.33	38.10
Congestión severa	5	3	6
	62.50	37.50	100.00
	33.33	25.00	28.57
Total	15	12	27
	55.56	44.44	100.00
	100.00	100.00	100.00

XIV. DISCUSIÓN

En este trabajo se revisaron como datos epidemiológicos de los niños operados de cirugía cardíaca la edad al momento de la cirugía y los diagnósticos prequirúrgicos y posquirúrgicos, así como las principales complicaciones, en un estudio realizado por la universidad de Vanderbilt, evaluaron 325 pacientes operados de cirugía cardíaca, se encontraron como principales complicaciones el síndrome de bajo gasto cardíaco (21.4%), crisis convulsivas o déficit focal (2.2%), uso de óxido nítrico (9.5%), enterocolitis necrotizante (1.5%), falla renal sin requerir terapia de remplazo renal (4.8%), terapia de remplazo renal (2.9%), sospecha de sepsis/bacteremia (5.9%), hiperglicemia (14%), sangrado torácico que requirió reintervención (8.1%). Comparado con el caso de nuestro paciente, observamos una mayor tasa de casos en la falla renal (50%) y el choque hemorrágico (32%), como edad media de nuestro estudio tuvimos 60 meses. (40)

En el análisis en el índice de resistencia renal y la creatinina posquirúrgica se observa una relación débil pero negativa lo cual sugiere que tienen una relación inversamente proporcional, lo cual sugiere de forma débil que los pacientes con índices de resistencia renal más altos tienen menor daño renal en el posquirúrgico, según lo reportado en la literatura con base en los valores del IRR se puede realizar diagnóstico diferencial entre varias enfermedades renales, en pacientes con glomerulonefritis la media del IRR es de 0.58, en pacientes con enfermedades intersticiales el IRR es de 0.75 y en enfermedades vasculares es de 0.87. Existe una pequeña correlación entre el grado de disfunción renal y el IRR. El ultrasonido Doppler se considera como una herramienta para evaluar la lesión renal aguda no obstructiva, se considera que una elevación de 0.07 de IRR sobre el nivel basal de IRR es un factor discriminante de LRA secundaria a necrosis tubular renal o lesión

prerrenal (41). Sin embargo, se deberán realizar más estudios acerca de esta relación ya que la muestra de pacientes afecta en que sea estadísticamente significativo.

Continuando con las variables analizadas: la relación de la distensibilidad de la vena cava y el índice de sobre carga hídrica, se observa claramente una relación inversamente proporcional lo cual refuerza la idea que la distensibilidad de vena cava es útil para detectar el estado volémico del paciente, en un estudio publicado en 2020 realizado en la universidad de Washington se recolectó una muestra de 50 pacientes bajo ventilación mecánica invasiva hospitalizados en la unidad de terapia intensiva, se analizó la relación entre diferentes índices de sobrecarga clínicos y de ultrasonido se encontró relación significativa solamente entre la distensibilidad de la vena cava y la variabilidad de distensibilidad de la vena cava con el porcentaje de sobrecarga hídrica. (42)

Otro de los resultados en lo que se encontró correlación significativa es entre la medida de la vaina del nervio óptico y el tiempo de circulación extracorpórea, en un estudio publicado en febrero de 2023 realizado en la universidad de Kastamonu en Turquía en donde se comparó el tamaño de la vaina del nervio óptico en 21 pacientes mayores de 18 años que se sometieron a cirugía con circulación extracorpórea, al inicio, a los 30, 60 y 90 minutos, se observó un aumento de hasta el doble del valor basal, esta descrito en la literatura la relación del tamaño de la vaina del nervio óptico con la hipertensión intracraneal, estos hallazgos pueden ayudar a monitorizar lo cambios en la presión intracraneal posquirúrgica (43). Es importante mencionar que no hubo relación significativa al momento de comparar el diámetro de la vaina del nervio óptico con el tiempo de pinzamiento aórtico y la medición de NIRS cerebral.

También se realizó la comparación entre la presión venosa central y la insuficiencia tricuspídea, en nuestro estudio no correlacionaron valores altos de PVC con insuficiencia tricuspídea. En la literatura esta reportada la relación entre el diámetro de la vena suprahepática y la insuficiencia tricuspídea y, con una relación más débil, la asociación entre el diámetro de la vena hepática con la presión venosa central (44). En nuestro trabajo también se comparó la congestión de la vena hepática y la insuficiencia tricuspídea, sin encontrar relación aritmética ni significativa, pero si con la elevación de la PVC.

Se encontró otra relación positiva entre el protocolo para congestión venosa VEXUS y la presión venosa central, con diferencia estadísticamente significativa, se encontraron presiones más elevadas en los pacientes con congestión venosa severa, en un estudio publicado en enero de 2023 realizado en la unidad de cuidados intensivos del hospital infantil de La Paz en España con una muestra de 33 pacientes donde compararon el VEXUS tanto en su score general como en cada una de sus partes, se observó de forma estadísticamente significativa una relación positiva con la elevación de la PVC, también se encontró que de manera independiente y después de quitar los factores confusores, el aumento en la PVC se relacionó directamente con la congestión en la vena renal. (45).

También se realizó la comparación entre el protocolo VEXUS y la lesión renal aguda estadiada con escala KDIGO sin encontrar relación entre ellas, sin embargo al comparar VEXUS con el índice de sobrecarga se encontró una relación positiva débil pero sin significancia estadística, pasando algo similar al comparar VEXUS con la tasa de filtrado glomerular se observó discretamente mejores tasas de filtración glomerular en los pacientes sin congestión venosa pero con una diferencia estadísticamente no significativa, lo mismo con la prueba de distensibilidad de la vena cava donde se observa

un aumento discreto en lo pacientes sin congestión venosa pero sin lograr significancia estadística.

Al intentar comparar la hipertensión pulmonar con la congestión de la vena cava tampoco se encontró una relación ni estadística ni aritmética.

Por cuestiones de número de casos no se analizaron el derrame pleural (N=2), el derrame pericárdico (N=2) y el neumotórax (N=1), sin embargo, se deben mencionar, pues estos hallazgos ayudaron a la detección y resolución oportuna.

XV. CONCLUSIÓN

Dentro de los datos epidemiológicos de nuestro estudio se encuentran la edad media de nuestros pacientes de 5 años, el diagnóstico prequirúrgico más frecuente fue la comunicación interventricular, en segundo lugar, la conexión anómala total de venas pulmonares, seguido con frecuencia de 2 casos por doble vía de salida de ventrículo derecho, atresia tricuspídea, insuficiencia pulmonar secundaria a corrección de tetralogía de Fallot, y coartación aortica. En lo que se refiere a los diagnósticos posquirúrgicos, la operación más frecuente fue cierre de CIV, cierre de CIA y ligadura de PCA, en segundo lugar corrección de drenaje venoso anómalo total.

En el presente trabajo se analizaron diferentes hallazgos ultrasonográficos, de los cuales se encontraron algunas relaciones estadísticamente significativas como lo fueron las siguientes interacciones: El índice de sobrecarga hídrico y distensibilidad de la vena cava inferior, tiempo de circulación extracorpórea y diámetro de la vaina del nervio óptico, protocolo VEXUS y presión venosa central.

De estos sería ideal poder dirigir un seguimiento por un mayor tiempo para valorar más variables, y los posibles desenlaces de las complicaciones o de la misma forma hacer estudios enfocados a una sola complicación.

En todas las comparaciones donde no alcanzó significancia estadística tenemos la limitante del número de pacientes analizados, sin embargo, este estudio servirá como base para futuros estudios donde se podrán incluir más pacientes y más variables clínicas, aumentar el tiempo de seguimiento a un mayor plazo.

En cuanto a los hallazgos pulmonares ayudaron a identificar oportunamente 1 neumotórax y 2 derrames pleurales a los cuales se les dio tratamiento

oportunamente, sin embargo, por la escasa cantidad de pacientes no fue posibles hacer un análisis significativo sobre los hallazgos pulmonares.

Sin lugar a duda sin necesarias más publicaciones sobre hallazgos de ultrasonido en pacientes de operados de cirugía cardiovascular, acentuando esto en nuestro país donde existen muy pocas publicaciones al respecto, esto sobre todo pensando en la mejoría en la atención del paciente en cuanto a la detección de complicaciones de forma oportuna y en un futuro no muy lejano llegar a integrar un algoritmo de manejo posquirúrgico basado en la valoración hemodinámica por ultrasonido.

XVI. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Marzo- Noviembre 2022	Noviembre 2022 -Mayo 2023	Mayo-Junio 2023	Julio 2023- Enero 2024
Protocolo				
Recolección y análisis de datos				
Informe Final				
Redacción de artículo				

XVII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Garduño-López J, García-Cruz E, Baranda-Tovar FM. Protocolo ultrasonográfico enfocado en cirugía cardiaca posquirúrgica CCROSS (Cardiac, Cerebral, Renal, Optic nerve, lung ultraSound Study). *Arch Cardiol Mex.* 2019;89(2):138-49.
2. Hoffman JI, Kaplan S. The incidence of congenital heart disease. *J Am Coll Cardiol.* 2002;39(12):1890-900.
3. Samánek M. Congenital heart malformations: prevalence, severity, survival, and quality of life. *Cardiol Young.* 2000;10(3):179-85.
4. Nieminen HP, Jokinen EV, Sairanen HI. Causes of late deaths after pediatric cardiac surgery: a population-based study. *J Am Coll Cardiol.* 2007;50(13):1263-71.
5. Márquez-González H, Yáñez-Gutiérrez L, Rivera-May JL, López-Gallegos D, Almeida-Gutiérrez E. Análisis demográfico de una clínica de cardiopatías congénitas del Instituto Mexicano del Seguro Social, con interés en el adulto. *Archivos de Cardiología de México.*
6. Lichtenstein D, Mézière G, Biderman P, Gepner A, Barré O. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997;156(5):1640-6.
7. Oks M, Cleven KL, Cardenas-Garcia J, Schaub JA, Koenig S, Cohen RI, et al. The effect of point-of-care ultrasonography on imaging studies in the medical ICU: a comparative study. *Chest.* 2014;146(6):1574-7.
8. Lichtenstein D. Lung ultrasound in the critically ill. *Curr Opin Crit Care.* 2014;20(3):315-22.
9. Koenig SJ, Narasimhan M, Mayo PH. Thoracic ultrasonography for the pulmonary specialist. *Chest.* 2011;140(5):1332-41.
10. Jambrik Z, Gargani L, Adamicza A, Kaszaki J, Varga A, Forster T, et al. B-lines quantify the lung water content: a lung ultrasound versus lung gravimetry study in acute lung injury. *Ultrasound Med Biol.* 2010;36(12):2004-10.
11. Platz E, Campbell RT, Claggett B, Lewis EF, Groarke JD, Docherty KF, et al. Lung Ultrasound in Acute Heart Failure: Prevalence of Pulmonary Congestion and Short- and Long-Term Outcomes. *JACC Heart Fail.* 2019;7(10):849-58.
12. Rowan KR, Kirkpatrick AW, Liu D, Forkheim KE, Mayo JR, Nicolaou S. Traumatic pneumothorax detection with thoracic US: correlation with chest radiography and CT--initial experience. *Radiology.* 2002;225(1):210-4.
13. Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, Mezière G. The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med.* 2003;29(12):2187-92.
14. Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A. The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med.* 2000;26(10):1434-40.

15. Yang PC, Luh KT, Chang DB, Wu HD, Yu CJ, Kuo SH. Value of sonography in determining the nature of pleural effusion: analysis of 320 cases. *AJR Am J Roentgenol.* 1992;159(1):29-33.
16. Sekiguchi H, Suzuki J, Daniels CE. Making paracentesis safer: a proposal for the use of bedside abdominal and vascular ultrasonography to prevent a fatal complication. *Chest.* 2013;143(4):1136-9.
17. McDonagh DL, Berger M, Mathew JP, Graffagnino C, Milano CA, Newman MF. Neurological complications of cardiac surgery. *Lancet Neurol.* 2014;13(5):490-502.
18. Avila-Alvarez A, Gonzalez-Rivera I, Ferrer-Barba A, Portela-Torron F, Gonzalez-Garcia E, Fernandez-Trisac JL, et al. [Acute neurological complications after pediatric cardiac surgery: still a long way to go]. *An Pediatr (Barc).* 2012;76(4):192-8.
19. Ropper AH. Hyperosmolar therapy for raised intracranial pressure. *N Engl J Med.* 2012;367(8):746-52.
20. Hansen HC, Helmke K. Validation of the optic nerve sheath response to changing cerebrospinal fluid pressure: ultrasound findings during intrathecal infusion tests. *J Neurosurg.* 1997;87(1):34-40.
21. Padayachy LC, Padayachy V, Galal U, Gray R, Fieggen AG. The relationship between transorbital ultrasound measurement of the optic nerve sheath diameter (ONSD) and invasively measured ICP in children: Part I: repeatability, observer variability and general analysis. *Child's nervous system.* 2016;32:1769-78.
22. Lu JC, Riley A, Conlon T, Levine JC, Kwan C, Miller-Hance WC, et al. Recommendations for Cardiac Point-of-Care Ultrasound in Children: A Report from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2023;36(3):265-77.
23. Cameli M, Mondillo S, Solari M, Righini FM, Andrei V, Contaldi C, et al. Echocardiographic assessment of left ventricular systolic function: from ejection fraction to torsion. *Heart Fail Rev.* 2016;21(1):77-94.
24. Levy PT, Machefsky A, Sanchez AA, Patel MD, Rogal S, Fowler S, et al. Reference Ranges of Left Ventricular Strain Measures by Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2016;29(3):209-25.e6.
25. Lu X, Xie M, Tomberlin D, Klas B, Nadvoretzkiy V, Ayres N, et al. How accurately, reproducibly, and efficiently can we measure left ventricular indices using M-mode, 2-dimensional, and 3-dimensional echocardiography in children? *Am Heart J.* 2008;155(5):946-53.
26. Jone PN, Le L, Pan Z, Colen T, Shigemitsu S, Khoo NS, et al. A multicenter study of three-dimensional echocardiographic evaluation of normal pediatric left ventricular volumes and function. *Echocardiography.* 2021;38(4):641-5.
27. Campbell RM, Douglas PS, Eidem BW, Lai WW, Lopez L, Sachdeva R. ACC/AAP/AHA/ASE/HRS/SCAI/SCCT/SCMR/SOPE 2014 appropriate use criteria for initial transthoracic echocardiography in outpatient pediatric cardiology: a report of the American College of Cardiology Appropriate Use Criteria Task Force, American Academy

- of Pediatrics, American Heart Association, American Society of Echocardiography, Heart Rhythm Society, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and Society of Pediatric Echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 2014;64(19):2039-60.
28. Kutty S, Li L, Hasan R, Peng Q, Rangamani S, Danford DA. Systemic venous diameters, collapsibility indices, and right atrial measurements in normal pediatric subjects. *J Am Soc Echocardiogr.* 2014;27(2):155-62.
29. Stenson EK, Punn R, Ramsi M, Kache S. A Retrospective Evaluation of Echocardiograms to Establish Normative Inferior Vena Cava and Aortic Measurements for Children Younger Than 6 Years. *J Ultrasound Med.* 2018;37(9):2225-33.
30. Kerkhof PLM, van de Ven PM, Yoo B, Peace RA, Heyndrickx GR, Handly N. Ejection fraction as related to basic components in the left and right ventricular volume domains. *Int J Cardiol.* 2018;255:105-10.
31. Carsetti A, Cecconi M, Rhodes A. Fluid bolus therapy: monitoring and predicting fluid responsiveness. *Curr Opin Crit Care.* 2015;21(5):388-94.
32. Barbier C, Loubières Y, Schmit C, Hayon J, Ricôme JL, Jardin F, et al. Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients. *Intensive Care Med.* 2004;30(9):1740-6.
33. Mahjoub Y, Lejeune V, Muller L, Perbet S, Zieleskiewicz L, Bart F, et al. Evaluation of pulse pressure variation validity criteria in critically ill patients: a prospective observational multicentre point-prevalence study. *Br J Anaesth.* 2014;112(4):681-5.
34. Miller A, Mandeville J. Predicting and measuring fluid responsiveness with echocardiography. *Echo Res Pract.* 2016;3(2):G1-G12.
35. Bentzer P, Griesdale DE, Boyd J, MacLean K, Sirounis D, Ayas NT. Will This Hemodynamically Unstable Patient Respond to a Bolus of Intravenous Fluids? *JAMA.* 2016;316(12):1298-309.
36. Roger C, Zieleskiewicz L, Demattei C, Lakhal K, Piton G, Louart B, et al. Time course of fluid responsiveness in sepsis: the fluid challenge revisiting (FCREV) study. *Crit Care.* 2019;23(1):179.
37. Schnell D, Darmon M. Renal Doppler to assess renal perfusion in the critically ill: a reappraisal. *Intensive Care Med.* 2012;38(11):1751-60.
38. Rola P, Miralles-Aguilar F, Argaz E, Beaubien-Souligny W, Haycock K, Karimov T, et al. Clinical applications of the venous excess ultrasound (VExUS) score: conceptual review and case series. *Ultrasound J.* 2021;13(1):32.
39. Monnet X, Rienzo M, Osman D, Anguel N, Richard C, Pinsky MR, et al. Esophageal Doppler monitoring predicts fluid responsiveness in critically ill ventilated patients. *Intensive Care Med.* 2005;31(9):1195-201.
40. Agarwal HS, Wolfram KB, Saville BR, Donahue BS, Bichell DP. Postoperative complications and association with outcomes in pediatric cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014;148(2):609-16.e1.

41. Carrillo-Esper R, De la Torre-León T, Rosales-Gutiérrez AO, Carrillo-Córdova LD. Índice resistivo renal. Fundamentos e implementación en el enfermo grave. *Médica Sur*. 2018;21(2):68-72.
42. Basu S, Sharron M, Herrera N, Mize M, Cohen J. Point-of-Care Ultrasound Assessment of the Inferior Vena Cava in Mechanically Ventilated Critically Ill Children. *J Ultrasound Med*. 2020;39(8):1573-9.
43. Taşkın Ö, Demir U. Extracorporeal Circulation and Optic Nerve Ultrasound: A Pilot Study. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(3).
44. Reeves WC, Leaman DM, Buonocore E, Babb JD, Dash H, Schwiter EJ, et al. Detection of tricuspid regurgitation and estimation of central venous pressure by two-dimensional contrast echocardiography of the right superior hepatic vein. *Am Heart J*. 1981;102(3 Pt 1):374-7.
45. 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;42(1):211-20.

XVIII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

1. Los resultados del ultrasonido son operador dependiente.
2. Fallas técnicas con aparato de ultrasonido.
3. Mala ventana acústica que impida realizar ultrasonido.