





www.scielo.cl

Andes pediatr. 2021;92(1):122-130 DOI: 10.32641/andespediatr.v92i1.2493

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Ecocardiografía Funcional y sus aplicaciones clínicas en Neonatología

Functional echocardiography and its clinical applications in neonatology

Irene Montoya Claramunt^{a,c}, Claudia Sánchez Ramírez^{b,d}, Raúl Nachar Hidalgo^{a,b}, Jorge Torres Torretti^{a,b,d}

^aServicio de Neonatología Clínica Alemana de Santiago. Santiago, Chile.

Recibido: 12 de mayo de 2020; Aceptado: 7 de septiembre de 2020

¿Qué se sabe del tema que trata este estudio?

En el último tiempo ha surgido mayor interés por parte de los neonatólogos en el uso de la Ecocardiografía funcional dado que permite al clínico comprender mejor el estado hemodinámico del paciente, lo que ayuda a reducir la morbimortalidad neonatal.

¿Qué aporta este estudio a lo ya conocido?

Esta revisión actualiza sobre la utilidad de la ecocardiografía funcional en la unidad de cuidados intensivos neonatales y los escenarios clínicos en donde se recomienda su uso, junto a las mediciones recomendadas para cada uno de ellos.

Resumen

La Ecocardiografía funcional surge como una herramienta clínica para la valoración del estado hemodinámico del paciente, luego de demostrarse que los métodos clínicos usados tradicionalmente en la unidad de cuidados intensivos neonatales son limitados y muchas veces tardíos. Esto nos permite establecer un diagnóstico hemodinámico más certero y así mejorar la morbimortalidad neonatal ya que permite formular una recomendación basada en la fisiología, que resulta en un plan de tratamiento racional e individualizado. Los escenarios en los cuales se ha visto su utilidad son: transición inadecuada del recién nacido prematuro de muy bajo peso de nacimiento, inestabilidad hemodinámica, valoración del ductus arterioso persitente y su repercusión hemodinámica e hipertensión pulmonar. La presente revisión actualiza la información sobre la utilidad de la ecocardiografía funcional en la unidad de cuidados intensivos neonatales y los escenarios clínicos en donde se recomienda su uso.

Palabras clave:

Ecocardiografía
Funcional;
Hemodinamia
Neonatal;
Ductus arterioso
Persistente;
Hipotensión;
Hipertensión pulmonar

Correspondencia: Irene Montoya Claramunt irenemontoyac@gmail.com

Cómo citar este artículo: Andes pediatr. 2021;92(1):122-130. DOI: 10.32641/andespediatr.v92i1.2493

^bServicio de Neonatología Hospital Luis Tisné B. Santiago, Chile.

^cFacultad de Medicina, Universidad del Desarrollo. Santiago, Chile.

^dFacultad de Medicina, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Abstract

Functional echocardiography emerges as a clinical tool for the comprehensive clinical evaluation to assess the patient's hemodynamic status, after demonstrating that the clinical methods traditionally used in the Neonatal Intensive Care Unit are limited and often applied late. This allows us to establish a more accurate hemodynamic diagnosis and thus improve neonatal morbidity and mortality, since it allows making recommendations based on physiology, resulting in a rational and individualized treatment plan. There are scenarios where its usefulness has been seen, such as the inadequate transition of the very low birth weight newborn, hemodynamic instability, assessment of Patent Ductus Arteriosus and its hemodynamic repercussion, and pulmonary hypertension. This review updates information on the usefulness of functional echocardiography in the neonatal intensive care unit and the clinical settings where its use is recommended.

Keywords:

Functional
Echocardiography;
Neonatal
Hemodynamics;
Persistent Ductus
Arteriosus;
Hypotension;
Pulmonary
Hypertension

Introducción

En las Unidades de Neonatología la ecocardiografía clásicamente se ha usado para el diagnóstico de cardiopatías congénitas y para la evaluación del ductus arterioso persistente en el recién nacido prematuro. Con el tiempo, se han desarrollado nuevas técnicas y objetivos en el uso de la ecocardiografía, como es la monitorización hemodinámica del recién nacido (RN), luego de demostrarse que los métodos clínicos usados tradicionalmente en la Unidad de cuidados intensivos neonatales (UCIN), como la presión arterial, frecuencia cardiaca, saturación arterial, llene capilar y diuresis entre otros, son limitados y muchas veces tardíos^{1,2}.

Es por esto, que surge la ecocardiografía funcional neonatal como parte de la evaluación del recién nacido críticamente enfermo, en conjunto con las otras herramientas diagnósticas, con el objetivo de establecer un diagnóstico hemodinámico más certero y así mejorar la morbimortalidad neonatal.

En Chile, el uso de la ecocardiografía por parte de los neonatólogos se inició aproximadamente en el año 2000 y se ha ido perfeccionando con el transcurso del tiempo, dado la necesidad de adquirir nuevas habilidades y así comprender mejor la situación hemodinámica del paciente. Además, la implementación de programas validados de entrenamiento ha extendido su uso en las distintas Unidades de Neonatología. El objetivo de la presente revisión es actualizar la utilidad de la ecocardiografía funcional en la unidad de cuidados intensivos neonatales y los escenarios clínicos en donde se recomienda su uso.

Antecedentes

La ecocardiografía es un método no invasivo que permite, al lado de la cama del paciente, evaluar la morfología y el funcionamiento del corazón, y de esta manera obtener información en tiempo real, de manera rápida, seriada y no invasiva, de la condición he-

modinámica del RN permitiendo así, individualizar el tratamiento en función de la fisiopatología particular de cada paciente junto con su monitorización¹⁻³.

La Ecocardiografía Funcional (EcoFn) está centrada en el manejo hemodinámico del paciente y se encuentra inserta dentro de las utilidades de la ecografía "Point of care", cuyo uso se ha extendido en los últimos años en las unidades de cuidados intensivos, y tiene por objetivo responder preguntas específicas del clínico, lo que le permite realizar un diagnóstico en forma rápida y una intervención acorde a éste. Además, tiene por objetivo aumentar la seguridad y eficacia de procedimientos invasivos rutinarios en UCI. Dentro de sus aplicaciones en el RN se encuentran: diagnóstico diferencial de patología pulmonar, diagnóstico de hemorragia cerebral, perfusión cerebral, diagnóstico de enterocolitis necrotizante, doppler renal, punción lumbar, instalación de drenajes, canalización y comprobación de ubicación de tubo endotraqueal y catéteres centrales entre otras4.

La realización de la EcoFn en la UCIN no intenta reemplazar la evaluación por parte del cardiólogo pediátrico, sino que ser una herramienta clínica más para el neonatólogo en su práctica diaria para obtener un diagnóstico más acertado y así entregar un mejor tratamiento a nuestros pacientes^{2,3}.

Literatura médica reciente ha demostrado la utilidad de la EcoFn en generar cambios en el manejo clínico, con la consecuente mejoría en la morbimortalidad neonatal⁵⁻⁸. O'Rourke y colaboradores, compararon el impacto de la EcoFn realizada por neonatólogos en el tratamiento y seguimiento del Ductus arterioso persistente (DAP) en prematuros < 1.500 g durante los tres primeros días de vida, con una cohorte comparativa con control histórico, en donde el diagnóstico de DAP hemodinámicamente significativo se realizaba mediante interconsulta a un cardiólogo pediátrico una vez que el paciente presentaba sintomatología compatible. Sus resultados demostraron una disminución significativa de la hemorragia intracraneana (HIC) y en los días de ventilación mecánica en el grupo en donde se introdujo

la EcoFn9. Rozé y colaboradores realizaron un estudio prospectivo de tipo cohorte en donde compararon a pacientes prematuros extremos a los cuales se les realizó ecocardiografía antes de los 3 días de vida (expuestos), con pacientes que recibieron cuidados rutinarios que implica la realización de ecocardiografía según clínica de DAP. Concluyeron que el grupo expuesto al cual se les realizó ecocardiografía antes de los 3 días de vida presentó mayor sobrevida y menor incidencia de hemorragia pulmonar¹⁰. En un estudio descriptivo realizado por Sánchez y colaboradores se analizaron las EcoFn realizadas a todos los RN menores de 28 semanas y/o menores de 1.000 g, ingresados a la UCIN y se compararon dos períodos, uno previo a la implementación de un programa de entrenamiento en EcoFn, realizado por los neonatólogos residentes del servicio (2012-2013) y el otro posterior a éste (2016-2017). Se observó un mayor número y precocidad de las EcoFn realizadas en el segundo periodo, lo cual se asoció a una mejor sobrevida de RN prematuros menores de 750 g. Esta asociación podría deberse a una mejor integración de los hallazgos hemodinámicos y funcionales11.

Si bien su uso no tiene contraindicaciones, es importante conocer ciertas desventajas de la ecocardiografía neonatal como la mala tolerancia al examen, sobre todo en pacientes prematuros extremos y en pacientes que cursan con hipertensión pulmonar, dado por la manipulación, la compresión del tórax y la inestabilidad térmica que genera. Todo lo anterior puede prevenirse extremando los cuidados durante su realización. Además, en ocasiones, es difícil lograr imágenes adecuadas en pacientes con hiperinsuflación pulmonar, a lo cual se suma la falta de valores normales por edad gestacional. Otras de las limitaciones de la EcoFn, y que se debe tener en cuenta, es que es operador dependiente y que presenta ciertas discrepancias al ser comparadas con otras técnicas diagnósticas, como la resonancia nuclear magnética o el cateterismo cardíaco, aún realizada en manos expertas^{2,3,12,13}.

Los equipos de ultrasonido deben contar con aplicación neonatal y se deben utilizar transductores sectoriales de alta frecuencia entre 6-12 Mhz, ya que presentan mejor resolución y menor penetración 14-16. Además, el ecocardiografo debe permitir la realización de las siguientes técnicas: Modo bidimensional, modo M, y Doppler (continuo, pulsado, color y tisular) (tabla 1).

Una valoración completa del corazón debe incluir imágenes desde múltiples ventanas (subcostal, apical, paraesternal, paraesternal alto y supraesternal) y cortes (eje corto, eje largo, 4 cámaras y 5 cámaras), las que están determinadas por la posición del transductor y la orientación de éste¹⁴⁻¹⁷ (figura 1).

Tabla 1. Modos ecocardiográficos y sus utilidades				
Bidimensional (2D)	Modo M	Doppler	Doppler tisular	
Anatomía Movimiento de estructuras	MovimientoDimensionesFunción miocárdica	Flujo sanguíneoVelocidad y dirección	VelocidadFunción miocárdica	



Figura 1. Ventanas ecocardiográficas.

Las aplicaciones clínicas de la EcoFn son variadas y su utilización tiene lugar en distintos escenarios del recién nacido.

Transición inadecuada del prematuro de muy bajo peso nacimiento (RNMBPN)

Se observa durante las primeras 24 h de vida, manifestándose en ocasiones como hipotensión. La transición normal del feto al recién nacido es pasar de un sistema de baja resistencia (circulación placentaria) a uno de alta resistencia (circulación sistémica), combinado con una disminución de la resistencia vascular pulmonar y el cierre de los shunt que comunican ambas circulaciones.

Para entender la situación hemodinámica del RN-MBPN, se debe conocer la función miocárdica, la volemia y el estado del flujo sanguíneo para así estimar la resistencia vascular. Ante estados de bajo flujo se estima una mayor resistencia vascular sistémica y estados de flujo normal se asocian a baja resistencia sistémica¹⁸.

Para estimar el flujo sanguíneo se puede utilizar la EcoFn realizando la medición del flujo de la vena cava superior19, cuya medición es difícil de obtener y ha mostrado ser poco reproducible con variaciones interobservador del orden del 29%13, por lo que surgió el método modificado de medición, el cual utiliza el corte transversal del diámetro de la vena cava superior (VCS) en el eje corto y ha mostrado ser más preciso y con menor variación interobservador²⁰. Valores normales durante los primeros 3 días de vida van de 99 a 77 ml/kg/min, y valores menores a 30 ml/kg/min en las primeras 5 h y menores a 45 ml/kg/min posterior a esto se asocia a mayor morbimortalidad^{18,19}. Otro método es la medición del gasto cardíaco (GC) dentro de los cuales el GC derecho es más representativo que el izquierdo ya que, si bien se ve afectado por el shunt interauricular, la significancia de éste es menor en comparación con el DAP, el cual afecta en mayor proporción el GC izquierdo. GC refleja la resistencia vascular sistémica. Los valores normales son 150-300 ml/kg/min. Se ha estimado que valores menores al límite inferior se asocian a mayor morbimortalidad²¹. También puede medirse el Flujo de la aorta descendente el cual equivale al flujo sanguíneo de la parte baja del cuerpo, pero este método es menos usado que la medición del GC13.

La valoración de la función miocárdica y la volemia se explicarán en apartado de inestabilidad hemodinámica.

Inestabilidad hemodinámica

Esta condición clínica es bastante común, y tanto los signos y síntomas, así como el monitoreo invasivo de rutina y los parámetros de laboratorio tienen baja sensibilidad y especificidad para la evaluación de la función cardíaca. Es por esto, que la EcoFn en tiempo

real es una valiosa herramienta validada para la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas.

La EcoFn permite evaluar la función cardíaca, mediante la medición del tamaño de las cavidades cardíacas usando el modo M, la función sistólica cuantitativa y cualitativa del ventrículo izquierdo (VI), la función diastólica del ventrículo izquierdo, la función sistólica y diastólica del ventrículo derecho y las estimaciones del gasto cardíaco²².

La función sistólica del VI es evaluada con la fracción de acortamiento (FA) y la fracción de eyección (FE). La FA es la más usada y reproducible siendo su valor normal 25%-40%, pero varios estudios han demostrado su baja sensibilidad ya que se ve afectada por la precarga, postcarga y deformidades del tabique²³⁻²⁵. La FE es una evaluación volumétrica del acortamiento de la fibra ventricular, el mejor método de medición es la planimetría usando el método de Simpson modificado. Valores normales van desde 56% al 78%, pero también tiene limitaciones como es suponer la forma cilíndrica del VI, variabilidad intra e interobservador y la dificultad de obtener un trazado endocárdico preciso. Dadas estas limitaciones, el desarrollo de nuevas técnicas como el Doppler tisular (DT), tensión (strain) y tasa de deformación (strain rate) y la ecocardiografía 3D han permitido optimizar las mediciones.

La técnica de DT proporciona un análisis cuantitativo de las velocidades del movimiento del miocardio, se afecta en menor medida por la precarga y la postcarga, pero tiene el inconveniente de la variabilidad interobservador. El peak de la velocidad sistólica medido a nivel del anillo mitral con DT (onda S') refleja la contractilidad del VI. Existen valores normales definidos según edad gestacional y días de vida⁵. El índice Tei o de performance miocárdica permite evaluar la función sistólica y diastólica en forma simultánea, medido con DT a nivel del anillo lateral de la mitral, entrega información de la contractilidad del VI (valores normales = $0,35 \pm 0,03)^{18,24,25}$. Diferentes estudios en recién nacidos que cursan condiciones patológicas han mostrado alteraciones en las mediciones del DT más precoces que las mediciones tradicionales de función miocárdica²⁵.

La función diastólica del VI es compleja y requiere una combinación de diferentes marcadores ecocardiográficos, que incluyen el patrón del doppler del flujo de la mitral y de las venas pulmonares y el DT a nivel del anillo lateral de la mitral. La disfunción diastólica leve se caracteriza por una inversión de la relación onda E/ on

La evaluación ecocardiográfica del ventrículo derecho (VD) es más difícil por su posición anterior detrás del esternón y su forma geométrica compleja. La evaluación cualitativa de la función sistólica es imprecisa y operador dependiente. La evaluación cuantitativa tam-

bién es difícil, tanto las mediciones volumétricas como la FA mediante el modo M resultan subóptimas. Por estas razones, se recomiendan otros parámetros, éstos son el TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion) o desplazamiento sistólico del anillo tricuspídeo, la FAC (fracción de cambio de área) e índice Tei calculado por doppler pulsado a nivel de la válvula tricúspide y de la válvula pulmonar o por DT a nivel del anillo lateral de la válvula tricúspide (valores normales 0,24 ± 0,04)²³. El primero es el más usado y se refiere a la excursión del anillo tricuspídeo durante el sístole, por lo que representa el acortamiento longitudinal de la fibra miocárdica. Es una medición simple de obtener y reproducible. Ha demostrado buena correlación clínica con otros métodos diagnósticos para estimar la función sistólica del ventrículo derecho. Valores menores de 4 mm se relacionan con mayor necesidad de ECMO y muerte en RN que cursan con hipertensión pulmonar^{26,27}. La FAC se obtiene midiendo el área de fin de diástole del VD menos el área de fin de sístole partido por el área de fin de diástole por 100, valores bajo 35% es indicador de disfunción sistólica del VD^{27,28}.

La función diastólica del VD es evaluada mediante Doppler pulsado del flujo de la válvula tricúspide o con DT a nivel del anillo lateral de dicha válvula y el patrón del flujo venoso hepático.

La medición de la volemia es importante para la valoración del paciente con compromiso hemodinámico. Se puede estimar midiendo la relación Ai/Ao (relación entre la aurícula izquierda y aorta en donde valores mayores a 1,4 se correlacionan con sobrecarga de volumen), diámetro del ventrículo izquierdo y el diámetro y colapsibilidad de la vena cava inferior (VCI) durante el ciclo respiratorio. En presencia de hipovolemia se observa el colapso de ésta durante la inspiración²¹. Mediante la medición del área de los tractos de salida del VI y del VD y la velocidad integral (VTI) obteni-

da por doppler pulsado a nivel de la válvula aórtica y pulmonar, respectivamente, es posible calcular el gasto cardíaco (GC) de cada lado. El GC puede estar disminuido en caso de disfunción ventricular y su evaluación ayudará en la elección de los tratamientos adecuados²¹. Los parámetros antes descritos se resumen en la tabla 2.

Ductus arterioso persistente (DAP)

Aproximadamente el 30% de los RNMPN tienen el diagnóstico de DAP en UCIN, siendo más frecuente a menor edad gestacional: 70% de los menores de 28 semanas y 80% de los prematuros entre 24-25 semanas²⁹. Hasta el día de hoy sigue siendo un tema controversial ya que no hay consenso tanto en los criterios diagnósticos de DAP con significancia patológica, así como en cuál es la mejor estrategia de tratamiento en el periodo neonatal^{30,31}.

La clínica del DAP es tardía y tiene baja sensibilidad, por lo que la ecocardiografía se ha transformado en el método de elección, pudiendo adelantarse en 2 días a la clínica en el diagnóstico del DAP hemodinámicamente significativo^{29,32,33}. Para la valoración del DAP se debe tener un enfoque global, en donde se deben tener en consideración: edad gestacional, peso al nacer, necesidad de ventilación mecánica, corticoides antenatales, uso de surfactante, exámenes de laboratorio y marcadores ecocardiográficos que nos permitan evaluar el impacto hemodinámico del DAP en la circulación del prematuro. Con la EcoFn podemos determinar la presencia de marcadores que nos permiten evaluar tanto las características del DAP (tamaño, dirección, velocidad del shunt y el patrón de éste en el doppler), como también marcadores que nos permiten valorar su repercusión en la hemodinamia del prematuro, lo cual se ve reflejado en hipoperfusión sistémica, sobrecirculación e hiperflujo pulmonar y

Marcadores EcoFn	Función sistólica	Función diastólica
Ventrículo izquierdo	Evaluación cualitativa FA FE (Simpson) DT mitral : onda S´ Tei	Eval. cualitativa DP mitral: E/A, velocidad E, tiempo desaceleración E DP venas pulmonares DT mitral: velocidad E´, relación E/E´
Ventrículo derecho	Evaluación cualitativa TAPSE FAC DT tricúspide: onda S´, Tei tricúspide	DP anillo lateral VT: E/A, tiempo desaceleración E DT anillo lateral VT: E/E Flujo venoso hepático Área AD/volumen AD
GLOBAL	DT índice Tei septal	

disfunción miocárdica^{30,31,34,35}. Si bien hay acuerdo en lo anterior, no existe un consenso internacional sobre cuáles son los marcadores específicos a determinar, ni tampoco en los valores de corte a usar para ser considerados significativos^{30,31,34,35}. Dentro de éstos, los más estudiados en la literatura y que se han relacionado con un mayor volumen del shunt ductal son: Presencia de flujo diastólico retrógrado en aorta abdominal, Relación aurícula izquierda/aorta ≥ 1,4, diámetro ductal ≥ a 1,4 mm/kg y velocidad media > a 0,40 m/s o de fin de diástole del flujo de la arteria pulmonar izquierda > a 0,2 m/s.^{36,37}. También se ha correlacionado algunos marcadores con la presencia de síntomas y signos, y complicaciones asociados a DAP, tales como displasia broncopulmonar (DBP), hemorragia intracraneana, enterocolitis necrotizante y muerte. Dentro éstos se encuentran: Diámetro > a 1,5 mm³⁸, velocidad máxima de flujo del shunt ductal, GC izquierdo > a 300 ml/ kg/min, flujo diastólico retrógrado en aorta descendente y tronco celíaco, y presencia de un patrón de flujo anormal del shunt ductal en el Doppler (creciente o pulsátil)39,40. Los marcadores específicos más usados en Neonatología se resumen en la tabla 3.

Ante la ausencia de un *gold standard* para el diagnóstico de DAP hemodinámicamente significativo, han surgido los Scores o puntajes de severidad, que permitirían reconocer aquellos RN que se podrían beneficiar del tratamiento precoz. El-Khuffash publicó su score de severidad que predice la ocurrencia de DBP o muerte antes del alta con una sensibilidad del 92% y especificidad del 87%⁴⁰. Fink también diseñó un score de severidad que se correlacionó con el de El-Khuffash y también fue capaz de predecir DBP o muerte⁴¹.

Hipertensión pulmonar (HTP)

Es una compleja entidad clínica que se caracteriza por la presencia de un aumento en la resistencia vascular pulmonar (RVP) asociada a un shunt de sangre desoxigenada desde la circulación pulmonar a la sistémica lo cual causa hipoxemia. Ocurre en 1 a 2 por 1.000 RN. Considerando la fisiología para la identificación etiológica y los métodos ecocardiográficos, es posible detectar más precozmente el compromiso cardiovascular, guiar las intervenciones terapéuticas, controlar su efectividad y mejorar el pronóstico. El aumento de la RVP puede ocurrir secundario a una mala adaptación de la vasculatura pulmonar (vasoconstricción reactiva), a un mal desarrollo con fenómenos de remodelación y/o a una falta de desarrollo como puede verse en casos de hipoplasia pulmonar⁴². La EcoFn puede diagnosticar y clasificar la HTP, lo que ha sido validado mediante cateterismo cardíaco¹⁸. Durante la valoración de un RN con diagnóstico de sospecha de HTP, se debe descartar en primer lugar la existencia de cardiopatías congénitas lo que hace necesaria la participación del cardiólogo pediátrico en una primera evaluación.

La EcoFn entrega información indirecta de la postcarga elevada del VD, mediante algunas mediciones como la evaluación cualitativa del septum interventricular, el índice de excentricidad, el cual corresponde a la relación entre las dimensiones anteroposterior y septolateral del VI, cuyo valor normal es de 1 (figura 2) y el tiempo de aceleración de la pulmonar, que es el tiempo entre el inicio y el *peak* de eyección que se correlaciona fuertemente con la presión sistólica de la arteria pulmonar. Valores < 90 ms se asocian a HTP y la relación de este tiempo con el tiempo de eyección del

Marcadores EcoFn	DAP sin repercusión HD	DAP con repercusión HD	
Características DAP			
 Diámetro (mm) 	< 1,5	≥ 1,5	
 Dirección shunt 	Izquierda-derecha	Izquierda-derecha	
 Velocidad (m/s) 	≥ 2,0	< 2,0	
 Patrón shunt ductal 	Cierre o bidireccional	Creciente o pulsátil	
Sobrecirculación pulmonar			
• API (m/s)	≤ 0,2	> 0,2	
 Ai/Ao 	< 1,4	≥ 1,4	
• LVEEd	≤ Z-score +2	> Z-score +2	
• E/A	< 1,0	≥ 1,0	
 GC izq (ml/kg/min) 	≤ 300	> 300	
Hipoperfusión sistémica			
Doppler Ao	Anterógrado	Ausente/retrógrado	
Doppler AMS/TC	Anterógrado	Ausente/reverso	
Doppler ACM	Anterógrado	Ausente/reverso	

Velocidad: velocidad sistólica peak del shunt ductal; API: velocidad fin de diástole arteria pulmonar izquierda; Ai/Ao: Relación diámetro de aurícula izquierda y aorta; LVEED diámetro fin de diástole ventrículo izquierdo; E/A: relación velocidad onda E y onda A en válvula mitral; GC izq: gasto cardíaco izquierdo; Doppler Ao: flujo diastólico aorta descendente; Doppler AMS/TC: flujo diastólico arteria mesentérica superior/troco celíaco; Doppler ACM: flujo diastólico arteria cerebral media.

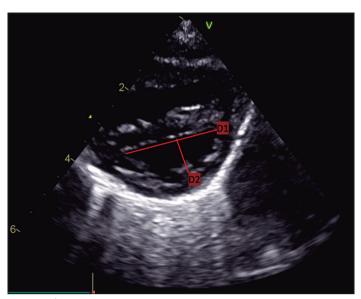


Figura 2. Índice de excentricidad.

VD (< 0,3), también se asocia a aumento de la resistencia vascular pulmonar²⁷.

Variables hemodinámicas pulmonares se pueden estimar al medir las velocidades de flujo a nivel tricuspídeo, pulmonar y en presencia de un DAP y/o de un defecto septal. La presión sistólica de la arteria pulmonar se puede estimar midiendo el *peak* de la velocidad del jet tricuspídeo (JT) usando la ecuación de Bernoulli modificada. Tiene el inconveniente que sólo 2/3 de los pacientes con HTP presenta jet tricuspídeo²⁷. El *peak*

de velocidad de insuficiencia pulmonar estima la presión media de la arteria pulmonar. El doppler del shunt ductal permite estimar la presión de la arteria pulmonar (PAP). Si la dirección del DAP es bidireccional, la diferencia de la presión sistémica y pulmonar puede ser estimada midiendo el porcentaje del tiempo del ciclo cardíaco en que la sangre tiene dirección de derecha a izquierda. Si este tiempo es mayor al 30% del ciclo cardíaco, el peak de la PAP está probablemente suprasistémico. También se puede estimar la PAP sistólica midiendo el peak de la velocidad del flujo del DAP en el doppler con el cual, mediante la ecuación de Bernoulli, se puede estimar la diferencia de presión entre la aorta y la arteria pulmonar. Cuando el flujo del DAP es de derecha a izquierda, la diferencia de presión obtenida se suma a la presión sistólica sanguínea del paciente obteniendo así, la PAP sistólica²⁷.

Además de lo señalado anteriormente, se debe valorar la función miocárdica del VD²⁷. Parámetros como el TAPSE y FAC han sido validados como indicadores de función sistólica del VD y la relación del tiempo sistólico y diastólico del VD junto con el Tei del VD entregan información de la función global, reflejando el llenado ventricular y la contractilidad. La función diastólica del VI también incide en una posible causa de HTP al afectar la postcarga del VD mediante el aumento de la congestión venosa pulmonar repercutiendo en la vasculatura pulmonar, la cual también ha sido validada en mediciones ecocardiográficas en RN prematuros⁴³. Lo anteriormente descrito se resume en la tabla 4.

Mediciones EcoFn	Parámetros	HTP
Evaluación indirecta postcarga VD	Forma del TIV	Aplastamiento al final del sístole o abombamiento
	Índice excentricidad	> 1
	RVET	Inversamente relacionada a la compliance de la AP
	PAAT	Correlación inversa con mPAP y RVP
HD pulmonar	VRTmáx	Estimación de la PSVD y PSAP
	RP	Estimación de la mPAP y PDAP
	CIV/DAP	Estimación de la PSVD y PSAP desde la presión sistémica
	VTI VD	Estimación del GC VD
	Compliance dinámica	Estimación de la compliance de la pared vascular pulmonar
Performance VD	FAC	FE sistólica VD
	TAPSE	Contractilidad VD
	Tamaño e hipertrofia VD	Evaluación cualitativa
	Tei	Función sisto-diastólica
	SD/DD	Alteración función diastólica VD
	DT VD	Función diastólica VD

VD: ventrículo derecho; TIV: tabique interventricular; RVET: tiempo eyección del VD; AP: arteria pulmonar; PAAT: tiempo aceleración AP; mPAP: presión media AP; RVP: resistencia vascular pulmonar; HD: hemodinamia; VRT: velocidad regurgitación tricuspídea; PSVD: presión sistólica VD; PSAP: presión sistólica AP; RP: regurgitación pulmonar; PDAP: presión diastólica AP; CIV: defectos septales; DAP: ductus arterioso persistente; GC: gasto cardíaco; FAC: fracción de cambio de área; FE: fracción eyección; TAPSE: desplazamiento sistólico del anillo tricuspídeo; SD/DD: tiempo sistólico/tiempo diastólico.

En nuestra experiencia, el manejo del RN con compromiso cardiovascular requiere actualmente de la integración de información de diversas fuentes, que van desde la evaluación clínica y la monitorización hemodinamica clásica (presión arterial, frecuencia cardiaca, gasometría, etc.), a la determinación de la entrega de oxígeno en el tejido final utilizando NIRS (espectrometría cercana al infrarojo), pasando por la ecografía cerebral funcional y ecocardiografia funcional la cual tiene el rol fundamental de permitir comprender el mecanismo fisiopatológico del compromiso cardiovascular, lo que permite formular una recomendación basada en la fisiología, que resulta en un plan de tratamiento racional e individualizado. Algunos autores ya han mostrado que esta evaluación integrada permite una mayor precisión diagnóstica, optimización de la entrega de oxígeno al órgano final, individualización de la atención y la evaluación longitudinal del impacto terapéutico. Este enfoque ha comenzado a mostrar beneficios como el destete temprano de medicamentos cardiovasculares potencialmente dañinos y la reducción del tiempo de recuperación clínica⁴⁴.

Conclusión

El uso de la ecocardiografía se ha ampliado hacia el estudio funcional del recién nacido críticamente enfermo, constituyendo una herramienta diagnóstica de uso cada vez más frecuente en UCIN. La evidencia actual sugiere sus beneficios en disminuir la morbimortalidad neonatal ya que permite mejorar el diagnóstico hemodinámico y a su vez ajustar los tratamientos en forma individual. Se debe recordar que la primera ecocardiografía debe incluir siempre una evaluación estructural detallada que permita descartar una car-

diopatía congénita, lo cual debe ser corroborado por el cardiólogo pediátrico, y que la valoración del paciente debe incluir la clínica y los otros elementos de monitorización hemodinámica en su conjunto.

Los escenarios en los cuales se ha visto su utilidad son: transición inadecuada del RNMBPN, inestabilidad hemodinámica, valoración del DAP y su repercusión hemodinámica e hipertensión pulmonar. Para cada uno de los escenarios se han establecidos mediciones y valores normales para la correcta evaluación del paciente.

Con el tiempo y a medida que ha surgido el interés por parte de los neonatólogos en el desarrollo de la EcoFn, se han publicado libros, manuales junto al desarrollo de sitios web y Aplicaciones móviles (App), que permiten al clínico familiarizarse con la EcoFn y aprender herramientas básicas sobre la técnica y sus aplicaciones en la práctica clínica diaria. Dentro de los primeros destacan: Neonatal Echocardiography Teaching Manual y Practical Neonatal Echocardiography, ambos son manuales que además del contenido cuentan con imágenes y videos que permiten profundizar el aprendizaje. En cuanto a las páginas web y Apps cabe destacar TnEcho que permite en forma práctica y autodidacta conocer las ventanas ecocardiográficas normales y de algunas de las patologías más frecuentes en neonatología⁴⁵.

Es importante destacar que para implementar esta técnica en UCIN, se deben adquirir las habilidades bajo un programa de entrenamiento específicamente desarrollado para neonatólogos, con una estrecha colaboración con los cardiólogos infantiles.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Wyllie J. Neonatal echocardiography. Semin Fetal Neonatal Med. 2015;20:173-80
- Poon W, Wong K. Neonatologistperformed point-of-care functional echocardiography in the neonatal intensive care unit. Singapore Med J. 2017:58:230-3.
- Arruza L, Corredera A. Ecocardiografía funcional en neonatología. 2014;12: 78-84.
- Miller L, Stoller J, Fraga M. Point-of-care ultrasound in the neonatal ICU. Curr Opin Pediatr.2020:32:216-27.
- Moss S, Kitchiner D, Yoxall C, Subhedar N. Evaluation of echocardiography on

- the neonatal unit. Arch Dis Child Fetal and Neonatal Ed. 2003;88:287-91.
- Desandes R, Jellimann J, Rouabah M, et al. Echocardiography as a guide for patent ductus arteriosus ibuprofen treatment and efficacy prediction. Pediatr Crit Care Med. 2012;13:324-7.
- Chew M. Haemodynamic monitoring using echocardiography in the critically ill: A review. Cardiol Pres Pract. 2012;2012:139537.
- Sehgal A, McNamara Pj. Does point-ofcare functional ecocardiography enhance cardiovascular care in the NICU? J Perinatol. 2008;28:729-35.
- Rourke DJ, Khuffash A, Moody C, Walsh K, Molloy EJ. Patent ductus arteriosus evaluation by serial echocardiography

- in preterm infants. Acta Paediatr 2008:97:574-8.
- Rozé J-C, Cambonie G, Marchand-Martin L, et al. Association between early screening for patent ductus arteriosus and in-Hospital mortality among extremely preterm infants. JAMA 2015;313:2441-8.
- Sánchez C, Enríquez G, Montoya I, et al. Evaluación de la implementación de un programa de ecocardiografía funcional en recién nacidos menores de 28 semanas y/o menores de 1000 g. Rev Chil Ped. 2018; 89:supl 1:S49.
- Hoffman J. Uses and limitations of echocardiography in neonatal intensive care units. J Intensive Care Med. 1993;8:103-4.

- Groves A, Kuschel C, Knight D.
 Echocardiographic assessment of blood flow volume in the superior vena cava and descending aorta in the newborn infant.
 Arch Dis Child Fetal and Neonatal Ed. 2008;93:24-8.
- 14. Mohamed A, Arifi A, Omran A. The basic of echocardiography. J Saudi Heart Assoc. 2010;22:71-6.
- Tissot C, Muehlethaler V, Sekarski N. Basic of functional echocardiography in children and neoates. Front Pediatr. 2017;5;235:1-13.
- Mertens L, Seri I, Marek J, et al. Targeted neonatal echocardiography in the neonatal intensive care unit: Practice guidelines and recommendatios for training. Eur J Echocardiogr. 2011:12:715-36.
- 17. Boode W, Sing Y, Gupta S, et al.
 Recommendations for neonatologist
 performed echocardiography in Europe:
 Consensus statement endorsed by
 European Society for Paediatric Research
 and European Society for Neonatology.
 Pediatr Res. 2016;80:465-71.
- Waal K, Kluckow M. Functional echocardiography; from physiology to treatment. Early Hum Dev. 2010;86:149-54
- Kluckow M, Evans N. Superior vena cava in newborn infants: a novel marker for systemic blood flow. Arch Dis Child Fetal and Neonatal Ed. 2000;82:182-7.
- Ficial B, Bonafiglia E, Padovani E, et al.
 A modified echocardiographic aproach improves reliability of superior vena cava flow quantification. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. 2017;102:7-11.
- 21. Boode W, Van der Lee R, Horsberg B, et al. The role of neonatologist performed echocardiography in the assessment and management of neonatal shock. Pediatr Res. 2018;84:57-67.
- Tissot C, Singh Y, Sekarski N.
 Echocardiographic evaluation of ventricular function-for the neonatologist and pediatric intensivist. Front Pediatr. 2018;6:79
- Breatnach C, Levy P, James A, Franklin O. Novel echocardiography methods in the functional assessment of the newborn heart. Neonatology. 2016;110:248-60.
- 24. Bokiniec R, Wlasienko P, Borszewska-Kornacka M, Madajczak D, Szymkiewicz-

- Dangel J. Myocardial performance index (Tei index) in term and preterm neonates during the neonatal period. Kardiol Pol. 2016;74:1002-9.
- Nestaas E, Schubert U, Boode W, et al.
 Tissue Doppler velocity imaging and event timings in the neonates: a guide to image acquisition, measurement, interpretation and reference values.

 Pediatr Res. 2018;84:18-29.
- Koestenberger M, Nagel B, Ravekes W, et al. Systolic right ventricular function in preterm and term neonates: reference values of the tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) in 258 patients and calculation of Z-Score Values. Neonatology. 2011;100;1:85-92.
- Boode W, Singh Y, Molnar Z, et al.
 Application of neonatologist performed echocardiography in the assessment and management of persistent pulmonary hypertension of the newborn. Pediatr Res. 2018;84:68-77.
- Levy P, Diodena B, Holland M, et al. Right ventricular function in preterm and term neonates: reference values for right ventricle areas and fractional area of change. J Am Soc Echocardiogr. 2015;28:559-69.
- Evans N. Preterm patent ductus arteriosus: A continuing conundrum for the neonatologist? Semin Fetal Neonatal Med. 2015;20:272-7.
- 30. Smith A, El-Khuffash A. Defining "Haemodynamic significance" of the patent ductus arteriosus: Do we have all the answers? Neonatology. 2020;25:1-8.
- 31. Sehgal A, McNamara P. The ductus arteriosus: A refined approach! Semin perinatol. 2012;36:105-13.
- Sallmon H, Koehne P, Hansmann G. Recent advances in the treatment of preterm newborn infants with patent ductus arteriosus. Clin Perinatol. 2016;43:113-29.
- Kluckow M, Jeffery M, Gill A, Evans N. A randomised pacebo-controlled trial of early treatment of the patent ductus arteriosus. Arch Dis Child Fetal and Neonatal Ed. 2014;99:99-104.
- Van Laere D, van Overmeire B, Gupta S. Application of NPE in the assessment of a patent ductus arteriosus. Pediatr Res. 2018;84:46-56.
- 35. Shepherd J, Noori S. What is

- hemodynamically significant PDA in preterm infants? Congenital Heart Dis. 2019:14:21-26.
- Broadhouse K, Price A, Durighel G, et al. Assessment of PDA shunt and systemic blood flow in newborns using cardiac MRI. NMR Biomed. 2013.26;9:1135-41.
- El Hajjar M, Vaksmann G, Rakza T, Kongolo G, Storme L. Severity of the ductal shunt: a comparison of different markers. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. 2005:90:419-22.
- 38. Kluckow M, Evans N. Early echocardiographic prediction of symptomatic patent ductus arteriosus in preterm infants undergoing mechanical ventilation. J Pediatr. 1995;127:774-9.
- Sardar S, Saha A, Majhi B, Chatterjee
 Prediction of ductus closure and development of adverse clinical outcome by functional echocardiography in very low birth weight newborn. J Neonatal Perinatal Med. 2020;13;1:31-37.
- El-Khuffash A, James A, Corcoran J, et al. A patent ductus arteriosus severity score predicts chronic lung disease or death before discharge. J Pediatr. 2015;167:1354-61.
- 41. Fink D, El-Khuffash A, McNamara P, Nitzan I, Hammerman C. Tale of two patent ductus arteriosus severity score: similarities and Difference. Am J Perinatol. 2018: 35:55-8.
- 42. Bhattacharya S, Sen S, Levy P, Rios D. Comprehensive evaluation of right heart performance and pulmonary hemodynamics in neonatal pulmonary hypertension. Curr Treat Options Cardiovasc Med. 2019;21;2:10.
- 43. Bussmann N, El-Khuffash A, Breatnach C, et al. Left ventricular diastolic function influences right ventricular-pulmonary vascular coupling in premature infants. Early Human Dev. 2019;128:35-40.
- 44. Elsayed Y, Louis D, Ali Y, Amer R, Seshia M, McNamara P. Integrated evaluation of hemodynamics: a novel approach for the assessment and management of preterm infants with compromised systemic circulation. J Perinatol. 2018;38;10:1337-
- Siassi B, Noori S, Acherman R, Wong P. Practical Neonatal echocardiography. Ed Mc Graw Hill Education, New York. 2019. ISBM978-1-260-12313-5.