

VALORACIÓN POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (EcoF) NEONATAL.

*Documento de Consenso del Grupo de Trabajo de Ecografía de la Sociedad
Española de Neonatología*

v. 01/02/2022

Próxima revisión:
Febrero 2024

VALORACIÓN POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (EcoF) NEONATAL:

FLUJO SISTÉMICO, HIPERTENSIÓN PULMONAR Y DUCTUS ARTERIOSO PERSISTENTE

AUTORES:

María Carmen Bravo Laguna (Vocal). Hospital Universitario La Paz. Madrid.

Carmen Bustamante Hervás. Hospital Universitario de Burgos.

Paula Méndez Abad. Hospital Universitario Puerta del Mar. Cádiz.

Ignacio Oulego Erroz. Complejo Asistencial Universitario de León.

Adelina Pellicer Martínez. Hospital Universitario La Paz. Madrid.

Lorena Rodeño Fernández. Hospital Universitario Basurto. Bilbao.

Javier Rodríguez Fanjul. Hospital Germans Trias i Pujol. Badalona.

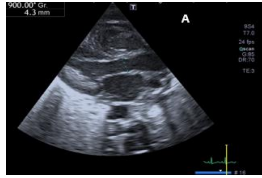
Sandra Terroba Seara. Complejo Asistencial Universitario de León.

Cristina Vega del Val. Hospital Universitario de Burgos.

Pamela Zafra Rodríguez. Hospital Universitario Puerta del Mar. Cádiz.

SECCIÓN DE ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL NEONATAL DEL GRUPO DE TRABAJO DE ECOGRAFÍA DE LA SENEÓ

En representación del Grupo de Trabajo de Ecografía Neonatal de la Sociedad Española de
Neonatología



VALORACIÓN POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (EcoF) NEONATAL.

Documento de Consenso del Grupo de Trabajo de Ecografía de la Sociedad
Española de Neonatología

v. 01/02/2022

Próxima revisión:
Febrero 2024

CAPÍTULO I: VALORACIÓN DEL FLUJO SISTÉMICO POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (ECOF) NEONATAL.

I. JUSTIFICACIÓN

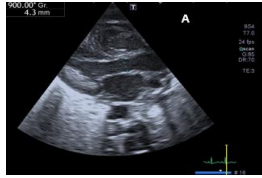
El recién nacido prematuro es especialmente vulnerable a presentar insuficiencia circulatoria durante el período de circulación transicional, caracterizada por un síndrome bajo flujo sistémico (BFS) (1); aunque también puede aparecer en otros momentos durante la etapa neonatal o en recién nacidos a término. Los cambios circulatorios que acontecen durante la circulación transicional con la presencia de cortocircuitos sistémico-pulmonares a nivel auricular y ductal, pueden favorecer la desviación del flujo sistémico hacia el territorio vascular pulmonar (2). Durante este período puede existir además una pérdida de la autorregulación cerebral en el que el flujo cerebral es presión arterial dependiente (3). Esta situación circulatoria hace que el cerebro sea especialmente vulnerable en este período de la vida a la lesión secundaria a fenómenos de hipoperfusión- reperfusión (hemorragias cerebrales y/o lesión en la sustancia blanca cerebral) lo que condicionará el pronóstico neurológico a largo plazo (1).

La definición de insuficiencia circulatoria en el período neonatal es controvertido (4). La monitorización hemodinámica habitual (frecuencia cardiaca, diuresis, presión arterial, niveles de ácido láctico) no es suficientemente sensible para detectar el BFS (5). El parámetro hemodinámico más habitualmente utilizado para guiar el tratamiento vasoactivo, la presión arterial, es una variable dependiente del flujo sistémico y de las resistencias vasculares sistémicas siguiendo la siguiente ecuación:

Presión Arterial=Flujo sanguíneo x Resistencias vasculares.

Así, nos podemos encontrar con las siguientes situaciones:

Flujo sanguíneo	PRESIÓN ARTERIAL	RESULTADO
Normal/alto	Normal/alto	Suficiencia circulatoria
Bajo	Normal/alto	Shock compensado
Normal/alto	Bajo	Circulación hiperdinámica
Bajo	Bajo	Shock descompensado



VALORACIÓN POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (EcoF) NEONATAL.

Documento de Consenso del Grupo de Trabajo de Ecografía de la Sociedad
Española de Neonatología

v. 01/02/2022

Próxima revisión:
Febrero 2024

II. MEDIDAS ECOCARDIOGRÁFICAS PARA ESTIMAR EL FLUJO SISTÉMICO (6)

La EcoF permite obtener medidas de función sistólica y diastólica de ambos ventrículos, así como estimar las presiones cardiacas y el flujo sanguíneo. Otros monitores de medición del flujo sanguíneo invasivos no se recomiendan en esta población.

La medición del flujo sanguíneo se basa en la ley de la dinámica de fluidos:

Flujo = velocidad de la sangre x área seccional del vaso

Flujo=IVT (integral de la velocidad en el tiempo) x πr^2

Donde $\pi= 3,1416$ y $r^2=$ diámetro del vaso

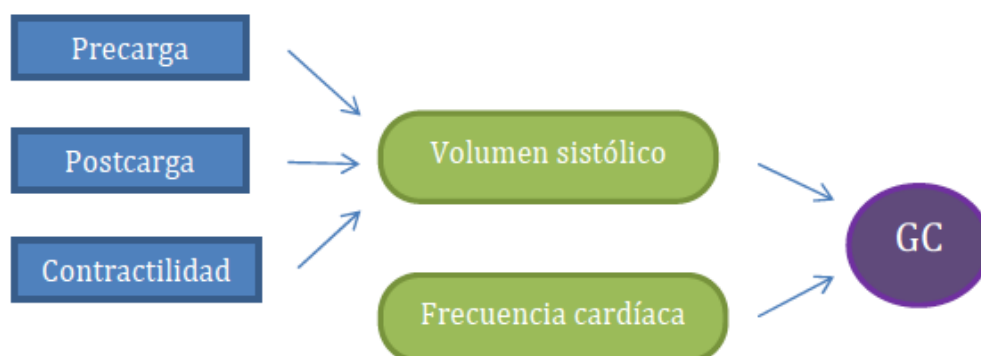
Volumen sistólico izquierdo = Flujo en aorta ascendente en la salida del ventrículo izquierdo

Volumen sistólico derecho=Flujo en la arteria pulmonar en la salida del ventrículo derecho

Volumen sistólico x frecuencia cardíaca (FC) = Gasto Cardíaco (mL/min) e indexado por el peso (ml/kg/min)

Para la medida de la velocidad se utiliza la técnica del Doppler pulsado. Es necesario que el haz de ultrasonidos se sitúe lo más paralelo posible a la dirección del flujo (ángulo de insonación $< 20^\circ$). Se calcula entonces la integral de la velocidad en el tiempo (IVT) como el área bajo la curva Doppler en cada ciclo cardíaco.

Para el cálculo del área de la sección transversal del vaso, asumiendo que el vaso es cilíndrico, se mide el diámetro transversal del vaso (en 2D o modo M, según el caso) asegurándonos que el haz de ultrasonidos corta el vaso de forma perpendicular

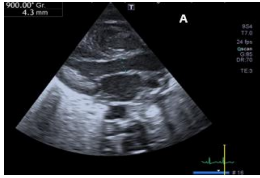


VALORACIÓN POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (EcoF) NEONATAL.

v. 01/02/2022

Documento de Consenso del Grupo de Trabajo de Ecografía de la Sociedad
Española de Neonatología

Próxima revisión:
Febrero 2024



El flujo sanguíneo en la salida del ventrículo izquierdo, (gasto cardíaco izquierdo, GCI) es equivalente al flujo sistémico en un paciente en el que el ductus arterioso esté cerrado. Para el **cálculo del GCI** se debe medir en un plano paraesternal largo en sístole media-telesístole el diámetro del anillo de la aorta (Ao). Este diámetro multiplicado por π nos proporciona el valor del área transversal de la sección del vaso. Para medir la velocidad media **IVT** (integral de la velocidad en el tiempo o en inglés, VTI) se utiliza un plano apical 5 cámaras.

$$\text{GCI} = (\text{diámetro Ao}^2 / 4) * \pi * \text{IVT} * \text{FC} / \text{Peso}$$

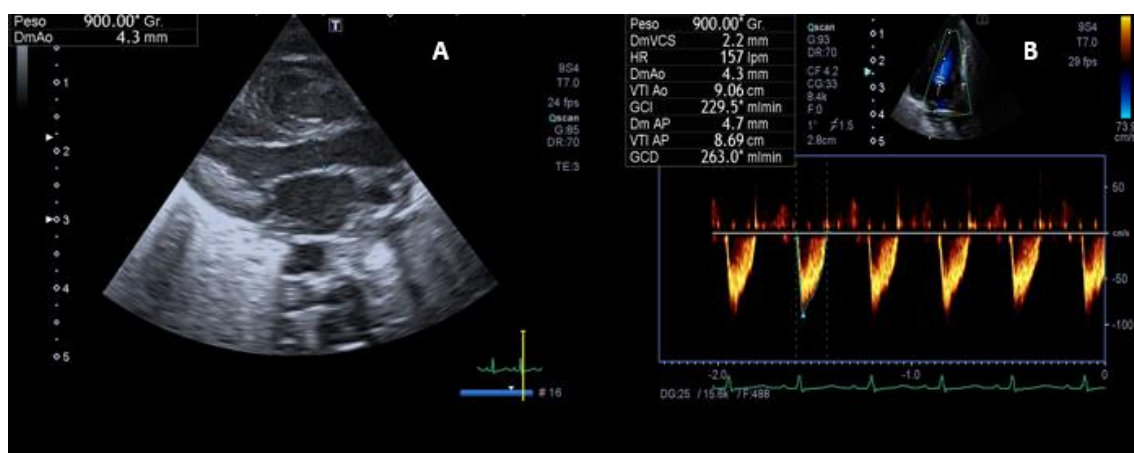


Figura 1. Cálculo del GCI. A. Plano paraesternal eje largo, imagen 2D para medir el diámetro de la aorta en sístole media-telesístole, cuando las valvas aórticas están alineadas, en su inserción en la pared miocárdica justo debajo del seno coronario (importante registro simultáneo de ECG, medida después de QRS). B. Plano apical 5 cámaras, Doppler pulsado. Se ha trazado la curva de velocidad de flujo sistólico y se obtiene el valor IVT, o VTI en inglés.

El flujo sanguíneo en la salida del ventrículo derecho, (gasto cardíaco derecho, GCD) es equivalente al flujo sistémico en un paciente en el que el foramen oval no contribuya de forma significativa. Para el **cálculo del GCD** se debe medir en un plano paraesternal largo modificado en sístole media-telesístole el diámetro de la arteria pulmonar (AP). Este diámetro multiplicado por π y dividido por 4 proporciona el valor del área transversal de la sección del vaso. Para medir la velocidad media **IVT** (integral de la velocidad en el tiempo o en inglés, VTI) se utiliza un plano paraesternal sagital alto.

$$\text{GCD} = (\text{diámetro AP}^2 / 4) * \pi * \text{IVT} * \text{FC} / \text{Peso}$$

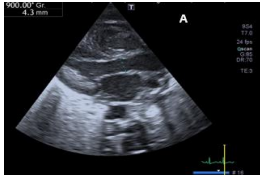
Si se asume que el diámetro del vaso se mantiene relativamente constante, la IVT sería el mayor determinante de las variaciones en las medidas del flujo. Existe una relación matemática entre la velocidad máxima Doppler y la velocidad media utilizada para el cálculo del flujo, por lo que algunos autores proponen la medición de la velocidad máxima Doppler como estimador del flujo sistémico en pacientes en que el foramen oval no contribuya de

VALORACIÓN POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (EcoF) NEONATAL.

v. 01/02/2022

Documento de Consenso del Grupo de Trabajo de Ecografía de la Sociedad
Española de Neonatología

Próxima revisión:
Febrero 2024



forma significativa y no exista hipertensión pulmonar, proponiendo una velocidad inferior a 0,35 m/s como una situación de bajo flujo en la mayoría de los pacientes, y por debajo de 0,45 m/s en más de la mitad de los pacientes (7).

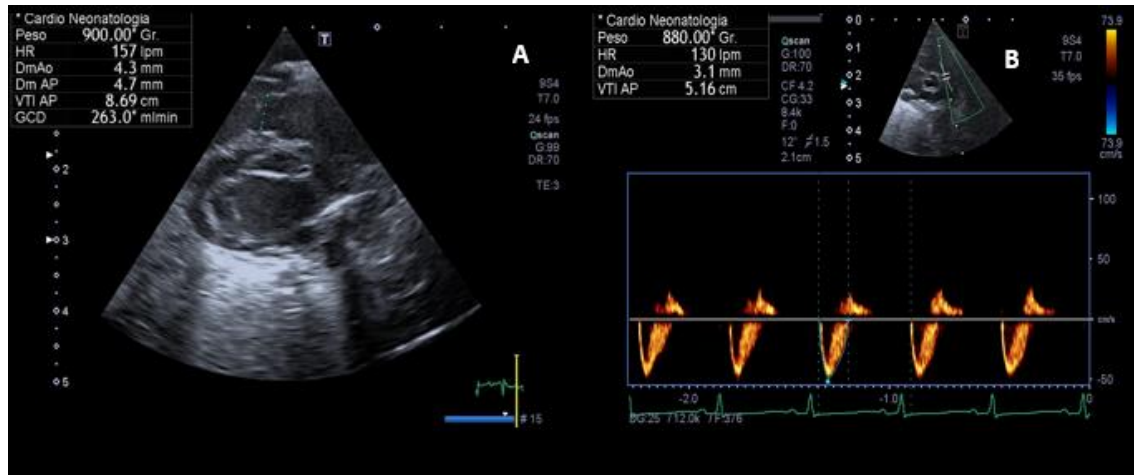


Figura 2. Cálculo del GCD. A. Plano paraesternal alto, imagen 2D para medir el diámetro de la AP en sístole media-telesístole, cuando las valvas pulmonares están alineadas, en su inserción en la pared miocárdica (importante registro simultáneo de ECG, medida después de QRS). B. Plano paraesternal bajo modificado para obtener un ángulo de insonación próximo a 0° con la AP, Doppler pulsado. Se ha trazado la curva de velocidad de flujo sistólico y se obtiene el valor IVT, o VTI en inglés.

Sin embargo, el GCI sobrestima el flujo sistémico en presencia de cortocircuito a través del ductus arterioso persistente y el GCD sobrestima el flujo sistémico en presencia de foramen oval permeable.

Como alternativa, se propone la medición del Flujo en Vena Cava Superior (VCS) que representa el flujo sistémico del hemicuerpo superior, independientemente de la presencia de cortocircuitos fetales (8).

La VCS está formada por la confluencia de las venas braquiocéfálicas izquierda y derecha, que drenan la sangre de los brazos, la cabeza y el cerebro. Se calcula que aproximadamente el 80% de esta sangre regresa del cerebro del recién nacido. Por lo tanto, la medición del flujo sanguíneo de la VCS es potencialmente un marcador del flujo sanguíneo cerebral que puede realizarse de forma rápida y no invasiva a pie de incubadora de los neonatos enfermos.

Por ello, la medición del flujo en la VCS se considera el método de elección para el diagnóstico de bajo flujo sistémico en el recién nacido prematuro durante la circulación transicional.

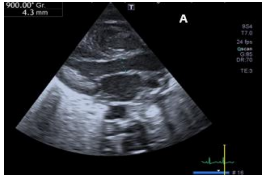
Para medir el diámetro de la VCS se obtendrá en modo M y en la zona de inicio del ensanchamiento de la VCS (altura de la arteria pulmonar derecha) a su entrada en la AD desde

VALORACIÓN POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (EcoF) NEONATAL.

v. 01/02/2022

Documento de Consenso del Grupo de Trabajo de Ecografía de la Sociedad
Española de Neonatología

Próxima revisión:
Febrero 2024



un plano paraesternal medio angulando hacia la derecha. Dada su variación de tamaño durante el ciclo cardíaco, se realizará la media de los diámetros máximo y mínimo. Para una óptima reproducibilidad inter e intraobservador, la línea del modo M debe cruzar completamente perpendicular la pared anterior y posterior del vaso.

Para la medición del VTI de la VCS se obtendrá desde un plano subcostal. Para las mediciones se tendrá en cuenta la onda reversa final de la contracción auricular en el caso en que ésta esté presente (8).

$$\text{Flujo en VCS} = (\text{diámetro VCS}^2 / 4) * \pi * \text{IVT} * \text{FC} / \text{Peso}$$

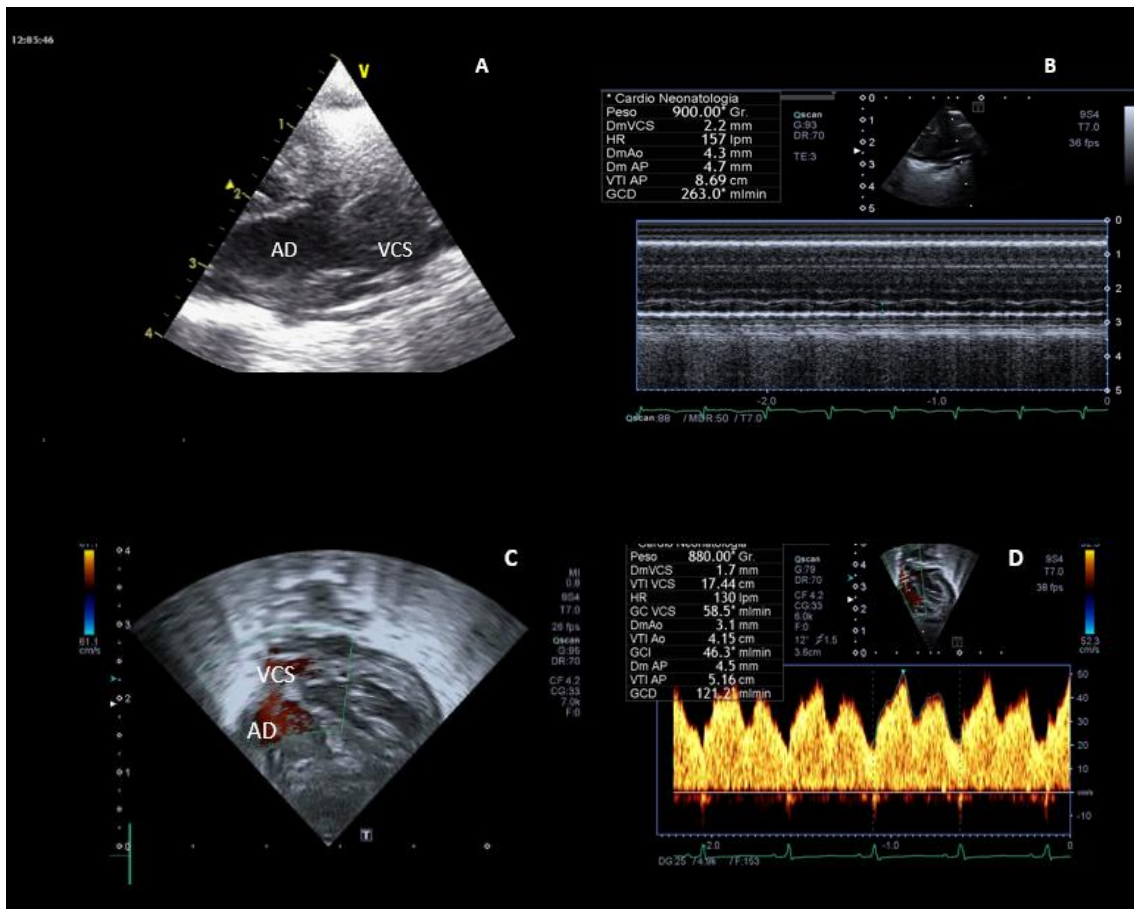
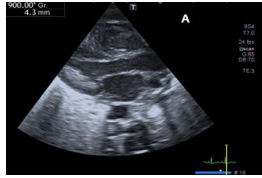


Figura 3. Cálculo del Flujo en VCS. A. Plano paraesternal medio angulando hacia la derecha, imagen 2D para medir el diámetro de la VCS. B. Modo M con la línea del modo M que corta completamente perpendicular la pared anterior y posterior del vaso. Se deben promediar al menos 3-5 ciclos cardíacos incluyendo en cada ciclo la sístole (diámetro menor) y la diástole (diámetro mayor). C. Plano subcostal en el que se observa la VCS entrando en la AD, Doppler color. D. Doppler pulsado sobre la VCS. Se traza por planimetría la curva de eyección incluyendo la sístole, la diástole y, en ocasiones, una curva con velocidad negativa que corresponde a la contracción auricular. Así, se obtiene el valor IVT, o VTI en inglés.



VALORACIÓN POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (EcoF) NEONATAL.

Documento de Consenso del Grupo de Trabajo de Ecografía de la Sociedad Española de Neonatología

v. 01/02/2022

Próxima revisión:
Febrero 2024

Existen valores de referencia para el GCD, GCI y Flujo en VCS. Existiendo un aumento de la morbimortalidad (muerte, hemorragia intraventricular [HIV] grave tardía y retraso en el neurodesarrollo) cuando el FVCS <40ml/kg/min durante los primeros días de vida en recién nacidos prematuros (1)(8)(9), e incluso con valores de FVCS <51 ml/kg/min según datos propios (5).

Table 1. Reference values blood flow measurements in mean (SD) mL/kg/min ^{12,28,36,38-50}

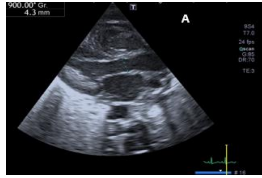
	Postnatal age			
	3-9 h	24 h	Day 2	Days 7-14
RVO				
Preterm		260 (90)	270 (90)	430 (100)
Term		255 (60)		
LVO				
Preterm		240 (60)	260 (60)	400 (75)
Term		220 (60)		
SVC flow				
Preterm	60 (25)	80 (20)	90 (25)	90 (30)
Term	75 (25)	95 (30)	100 (30)	

RVO right ventricular output, LVO left ventricular output, SVC superior vena cava

Recientemente se ha propuesto un método alternativo de medida del flujo de VCS utilizando un plano supraesternal y el área de la sección transversal a partir de la imagen de la VCS en eje corto, que ha mostrado mejor reproducibilidad que el método previo cuando se comparó con estudios de resonancia magnética en niños a término (10). Sin embargo, no se han publicado hasta la fecha valores de normalidad siguiendo este nuevo método ni su correlación con pronóstico.

Pese a la evidencia acumulada de que el BFS se asocia con daño neurológico y mortalidad, su prevención y tratamiento con soporte cardiovascular son controvertidos. Esta falta de evidencia científica, puede ser debida a la heterogeneidad de los factores que condicionan dicha insuficiencia circulatoria y por tanto, la enfermedad debe abordarse guiada desde un punto de vista fisiopatológico.

Son necesarios estudios prospectivos multicéntricos, idealmente ensayos clínicos con suficiente potencia para determinar si intervenciones sobre el BFS como la administración de inotrópicos tienen un impacto positivo en la prevención de la HIV y en la evolución neurológica a largo plazo.



VALORACIÓN POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (EcoF) NEONATAL.

Documento de Consenso del Grupo de Trabajo de Ecografía de la Sociedad Española de Neonatología

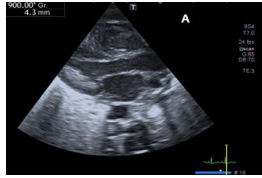
v. 01/02/2022

Próxima revisión:
Febrero 2024

Grupo pacientes	Problemas clínicos	Parámetros CV
Prematuro extremo período transición (causa materna)	TA inicial sistémica baja Miocardio inmaduro	Resistencias vasculares sistémicas altas Pobre contractibilidad cardíaca
Prematuro extremo con sospecha asfíxia (prolapso cordón)	Daño miocárdico Flujo sanguíneo sistémico bajo	TA baja o normal Pobre contractibilidad cardíaca
Prematuro con sospecha de corio (caliente)	Alto gasto cardíaco secundario a sepsis	TA baja o normal Resistencias vasculares bajas/pérdida capilar
Prematuro con sospecha de corio (frío)	Sepsis y pobre función miocárdica	TA baja o normal Resistencias vasculares altas
Prematuro con pérdida aguda de líquido (desprendimiento placenta/HIV/hemorragia pulmonar)	Hipovolemia aguda	TA normal o baja Presiones pobres de relleno

III. BIBLIOGRAFÍA

- Osborn DA, Evans N, Kluckow M. Hemodynamic and antecedent risk factors of early and late periventricular/intraventricular hemorrhage in premature infants. *Pediatrics*. 2003;
- Evans N. Preterm patent ductus arteriosus: A continuing conundrum for the neonatologist? *Semin Fetal Neonatal Med* [Internet]. 2015;20(4):272–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.siny.2015.03.004>
- Riera J, Cabañas F, Serrano JJ, Bravo MC, López-Ortego P, Sánchez L, et al. New time-frequency method for cerebral autoregulation in newborns: Predictive capacity for clinical outcomes. *J Pediatr*. 2014;
- Vrancken SL, van Heijst AF, de Boode WP. Neonatal Hemodynamics: From developmental physiology to comprehensive monitoring. *Front Pediatr*. 2018;6(April):1–15.
- Bravo MC, López-Ortego P, Sánchez L, Madero R, Cabañas F, Koch A, et al. Validity of biomarkers of early circulatory impairment to predict outcome: A retrospective analysis. *Front Pediatr*. 2019;7(MAY).
- Singh Y. Echocardiographic evaluation of hemodynamics in neonates and children. Vol. 5, *Frontiers in Pediatrics*. 2017.
- Oulego Erroz I, Alonso Quintela P, Jiménez Gonzalez A, Terroba Seara S, Rodríguez Blanco S, Rosón Varas M, et al. Impacto del cribado y tratamiento del bajo flujo sistémico en la prevención de hemorragia intraventricular grave y/o muerte en el prematuro. *An Pediatr*. 2018 Dec 1;89(6):369–77.



VALORACIÓN POR ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL (EcoF) NEONATAL.

*Documento de Consenso del Grupo de Trabajo de Ecografía de la Sociedad
Española de Neonatología*

v. 01/02/2022

Próxima revisión:
Febrero 2024

8. Kluckow M, Evans N. Superior vena cava flow in newborn infants: a novel marker of systemic blood flow. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. 2000;82(September 1999):182–7.
9. Bravo MC, López-Ortego P, Sánchez L, Riera J, Madero R, Cabañas F, et al. Randomized, Placebo-Controlled Trial of Dobutamine for Low Superior Vena Cava Flow in Infants. J Pediatr. 2015;
10. Ficial B, Bonafiglia E, Padovani EM, Prioli MA, Finnemore AE, Cox DJ, et al. A modified echocardiographic approach improves reliability of superior vena caval flow quantification. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. 2017;102(1):F7–11.