

## ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL EN EL PACIENTE PEDIÁTRICO CRÍTICO

María Victoria Ramos Casado. UCIP. Hospital Universitario 12 de Octubre

Miguel Ángel Granados Ruiz. Cardiología Pediátrica. Hospital Universitario 12 de Octubre.

Juan José Menéndez Suso. UCIP. Hospital Universitario La Paz.

### ABREVIATURAS

AD: aurícula derecha	ACFVI: área de cambio fraccional del VI
AI: aurícula izquierda	FA: Fracción de acortamiento
PVC: presión venosa central	GC: gasto cardíaco
PAI: presión aurícula izquierda	VS: volumen asistólico o latido
VD: ventrículo derecho	FE: fracción de eyección
VI: ventrículo izquierdo	HTP: hipertensión pulmonar
PTVI: presión telediastólica del VI	VCI: vena cava inferior
TRIV: tiempo de relajación isovolumétrica	VCS: vena cava superior
DSVI: diámetro telesistólico del VI	TDE: tiempo de desaceleración onda
DDVI: diámetro telediastólico del VI	

### INDICE

1. Introducción
2. Estudio Básico de la función ventricular
  - 2.1. Función ventricular sistólica izquierda
  - 2.2. Función ventricular diastólica izda.
  - 2.3. Función ventricular dcha.
3. Valoración de presiones de llenado y volemia
4. Detección y evaluación del derrame pericárdico y del taponamiento cardíaco:
5. Estudio avanzado de la función ventricular
6. Estimación ecocardiográfica de la precarga y de la respuesta a infusión de fluidos

## 1. INTRODUCCIÓN

La ecocardiografía a pie de cama es una herramienta diagnóstica y de monitorización esencial en la valoración del paciente hemodinámicamente inestable. Permite obtener información valiosa sobre la función sistólica y diastólica ventricular, el gasto cardíaco y las presiones intracavitarias o de la circulación pulmonar, optimizando el manejo clínico de pacientes críticos. Las limitaciones más frecuentes en la evaluación de enfermos críticos son la dificultad en la obtención de ventanas acústicas adecuadas por interferencias con la ventilación mecánica o por la presencia de otros dispositivos de monitorización, y la alta dependencia del operador, por lo que es imprescindible una formación adecuada del personal encargado de su realización. Con ánimo de facilitar el aprendizaje y la aplicación de esta técnica, en el presente documento, los parámetros ecocardiográficos de mayor utilidad clínica para el intensivista pediátrico se han agrupado en dos apartados: básico y avanzado.



### Características del ecógrafo y las sondas

Actualmente es posible realizar estudios ecocardiográficos funcionales suficientemente precisos con ecógrafos compactos, que disponen de sondas y software de cálculos ecocardiográficos, sin tener que recurrir a los grandes equipos de ecografía, más propios de las consultas o los laboratorios específicos de ecocardiografía.

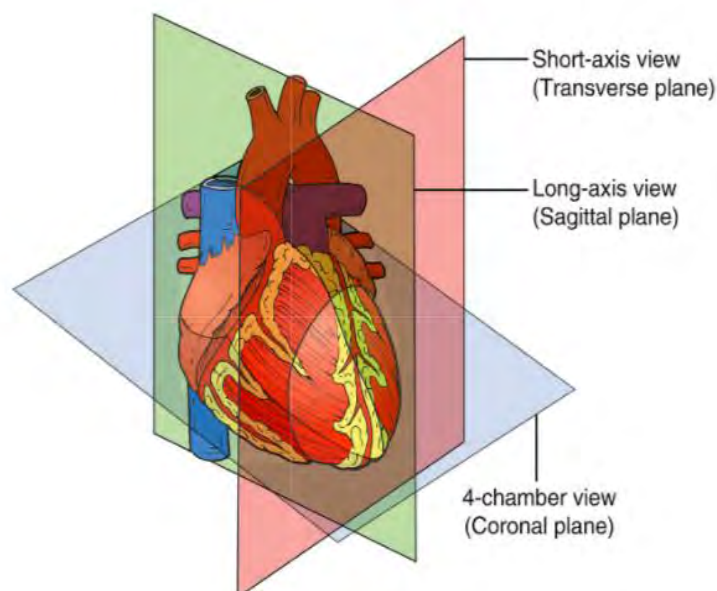
Los **modos de exploración** esenciales para realizar estudios ecocardiográficos son: modo 2D, modo M, doppler color, doppler pulsado y doppler continuo. Otras características adicionales que podrían ser también de utilidad son: doppler tisular e integración del ECG del paciente.

Las **sondas** de ecocardiografía más empleadas son las tipo micro-convexas “phased-array” y multifrecuencia. Las sondas pediátricas suelen emitir frecuencias de 4-8 MHz, la profundidad de exploración es de unos 15 cm, y su huella es pequeña. Son válidas para explorar a niños de hasta 20-25 Kg. Las de adultos emiten frecuencia de 1-5 MHz, la profundidad de exploración es de unos 30 cm, y tienen una huella mayor. Permiten explorar niños con peso superior a 25 Kg.

### Ventanas ecocardiográficas

Es esencial establecer una sistemática de exploración que permita uniformizar la disposición de las estructuras cardiacas en las diferentes ventanas de exploración. En este sentido, este texto sigue las recomendaciones de la Sociedad Americana de Ecocardiografía. Así, el icono luminoso del ecógrafo deberá localizarse siempre en la esquina superior derecha del monitor, independientemente de la ventana de exploración que se vaya a emplear.

En general, el corazón se puede explorar desde el tórax, desde el abdomen y desde el esófago. Desde cada una de estas tres localizaciones se pueden obtener diferentes ventanas para poder visualizar diferentes proyecciones (plano longitudinal - eje largo -, plano transversal - eje corto - y plano coronal - cuatro cámaras -) y estructuras del corazón. Una exploración completa implicará la combinación de varias de ellas.



Las ventanas de mayor utilidad para la exploración ecocardiográfica funcional en niños críticos son:



- **Paraesternal eje largo (PEL)**

- Procedimiento: Colocar la sonda en el 3-4 espacio intercostal, línea paraesternal izquierda. Dirigir la marca de la sonda hacia el hombro derecho. Si es posible, puede ser de utilidad colocar al paciente en decúbito lateral izquierdo.



- Estructuras visualizadas: cavidades izquierdas (AI y VI), válvulas izquierdas (VM y Ao) y tracto de salida del VD.



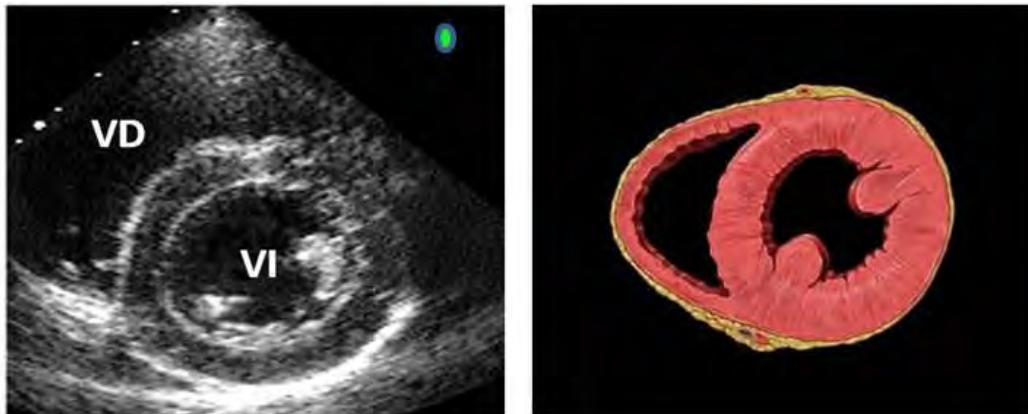
- Principales aplicaciones: función sistólica “de visu” del VI, FA y FE del VI, medida del diámetro del TSVI.

- **Paraesternal eje corto (PEC) - plano músculos papilares -**

- Procedimiento: Colocar la sonda en el 3-4 espacio intercostal, línea paraesternal izquierda. Dirigir la marca de la sonda hacia el hombro izquierdo. Si es posible, puede ser de utilidad colocar al paciente en decúbito lateral izquierdo.



- Estructuras visualizadas: cavidades ventriculares (VI y VD).



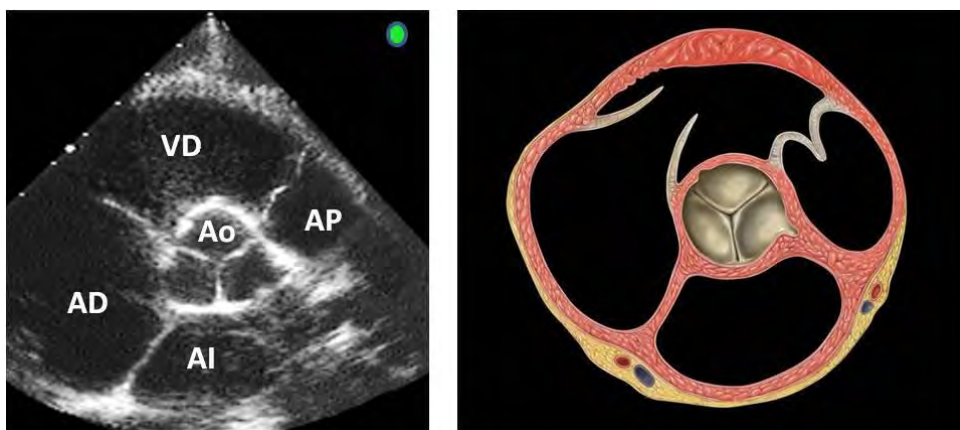
- Principales aplicaciones: función sistólica “de visu” del VI, FA y FE del VI, posición del TIV.

- **Paraesternal eje corto (PEC) - plano pedículo vascular -**

- Procedimiento: Colocando la sonda en la posición previamente explicada, bascularla ligeramente hacia los pies del niño, para dirigir los ultrasonidos más cranealmente. Si es posible, puede ser de utilidad colocar al paciente en decúbito lateral izquierdo.



- Estructuras visualizadas: AI, AD, VT, TSVD, VP, VAo.





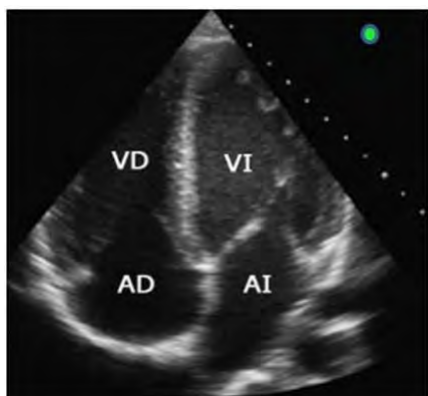
- Principales aplicaciones: gasto VD, evaluación coronarias y apertura Ao, ductus persistente.

- **Apical 4 cámaras (A4C)**

- Procedimiento: Colocar la sonda en ápex cardiaco (5º espacio intercostal, línea axilar media-lateral). Dirigir la marca de la sonda hacia la axila izquierda, en posición transversal al paciente. Asegurarse de que el ápex se sitúe en el vértice del sector y que el TIV esté verticalizado (no oblicuo).



- Estructuras visualizadas: AI, AD, VI, VD, válvulas AV y tabiques.



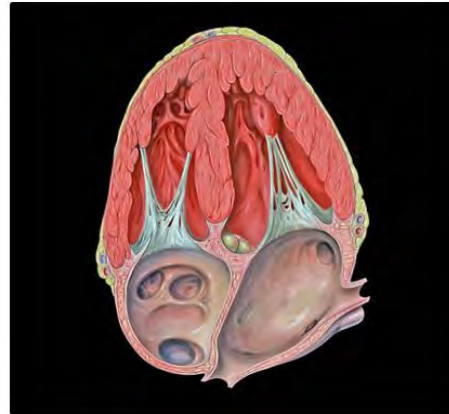
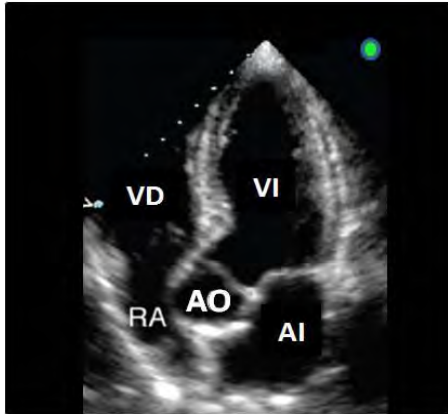
- Principales aplicaciones: función sistólica VI (Simpson), función diastólica VI (doppler transmitral), función sistólica VD (TAPSE), relación de áreas VD/VI, estudio insuficiencias valvulares (estimación presión pulmonar sistólica).

- **Apical 5 cámaras (A5C)**

- Procedimiento: Desde la posición Apical 4 cámaras, bascular ligeramente la sonda hacia el abdomen del niño, para dirigir los ultrasonidos hacia una posición más anterior. Asegurarse de que el ápex se sitúe en el vértice del sector y que el TIV esté verticalizado (no oblicuo).



- Estructuras visualizadas: AI, AD, VI, VD, válvulas AV, tabiques, TSVI y válvula Ao.



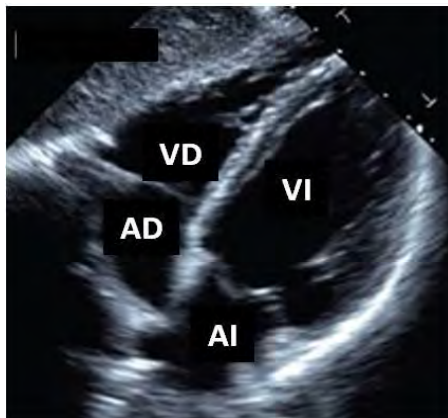
- Principales aplicaciones: gasto VI (método doppler).

- **Subcostal 4 cámaras (S4C)**

- Procedimiento: Colocar la sonda en la región subxifoidea. Dirigir la marca de la sonda hacia la axila izquierda, en posición transversal al paciente y angularla para dirigir los ultrasonidos hacia el hombro izquierdo.



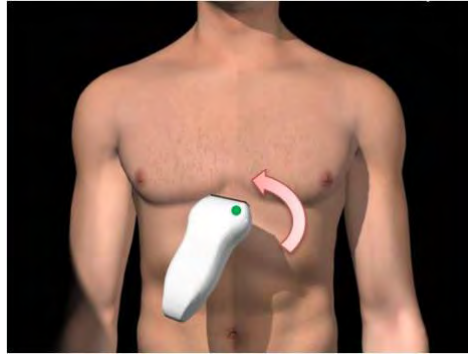
- Estructuras visualizadas: AI, AD, VI, VD, válvulas AV, tabiques.



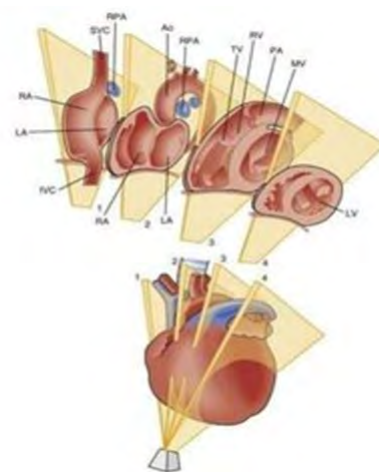
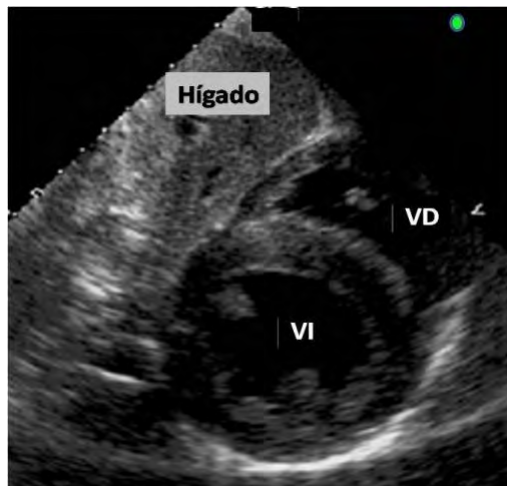
- Principales aplicaciones: función sistólica VI “de visu”, relación de áreas VD/VI, shunts intracardiacos (CIA / CIV), taponamiento.

- **Subcostal eje corto (SEC)**

- Procedimiento: Colocar la sonda en la región subxifoidea. Dirigir la marca de la sonda hacia el hombro izquierdo (rotar 45º en sentido antihorario desde la posición S4C).



- Estructuras visualizadas: AI, AD, VI, VD, válvulas AV, tabiques, TSVI y válvula Ao.



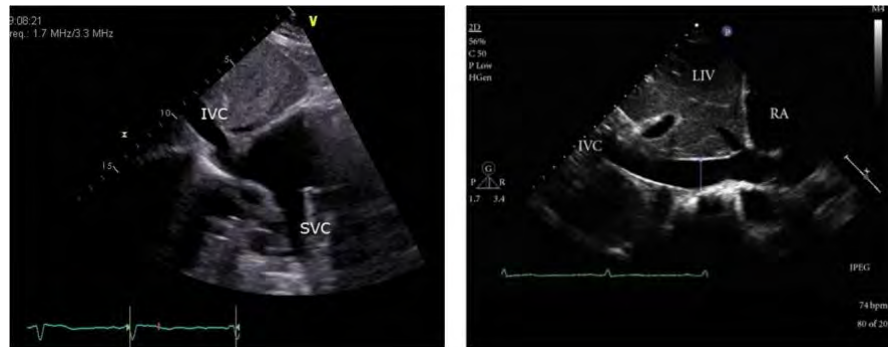
- Principales aplicaciones: función sistólica VI por segmentos “de visu”, posición del TIV. Derrame pericárdico.

- **Subcostal eje de cavas (SECv)**

- Procedimiento: Colocar la sonda en la región subxifoidea, desplazándola ligeramente a una posición paravertebral derecha. Dirigir la marca de la sonda hacia la cabeza del paciente (plano longitudinal).



- Estructuras visualizadas: VCI, hígado, vena suprahepática media, AD, VCS (basculando la sonda para dirigir los ultrasonidos hacia la cabeza del paciente).



- Principales aplicaciones: estimación de la presión en AD y de la respuesta a la infusión de fluidos (colapsabilidad de la VCI).

## 2. ESTUDIO BÁSICO DE LA FUNCIÓN VENTRICULAR

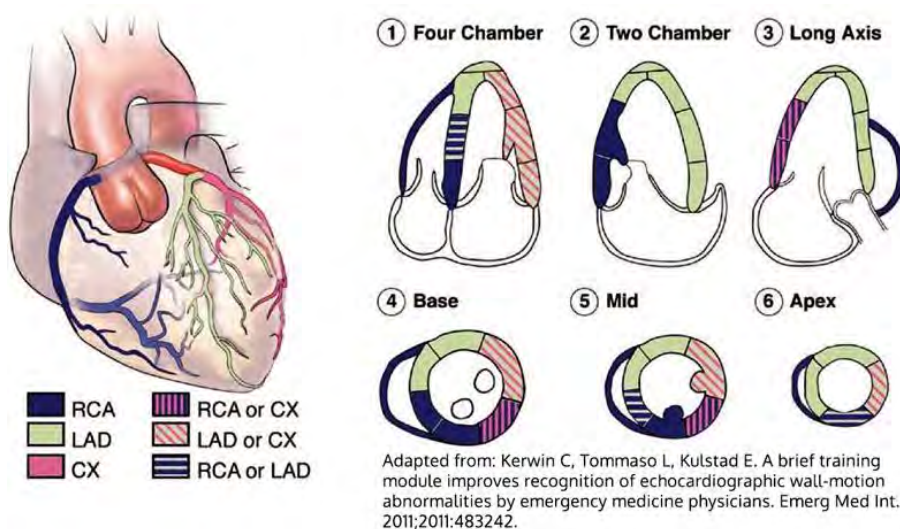
Algunos de los estudios que aquí se comentan se pueden considerar avanzados según grupos. Se indicarán.

### 2.1. Función sistólica del VI

La estimación de la función sistólica del VI mediante ecocardiografía a pie de cama puede realizarse de manera cualitativa o cuantitativa.

#### 2.1.a) Estimación cualitativa de la función sistólica del VI:

- Ventanas: PEL, PEC y/o A4C.
- Modos: 2D
- Procedimiento: mediante inspección visual rápida del tamaño y del movimiento de las paredes y las válvulas del VI, el operador estima la adecuación de la contractilidad del VI. Permite, además, confirmar la presencia de alteraciones regionales de la contractilidad (de especial interés en los síndromes coronarios agudos) y descartar situaciones que requieran actuaciones urgentes (taponamiento, cor pulmonale, hipovolemia grave, etc.). En operadores experimentados, la precisión de este método es elevada.





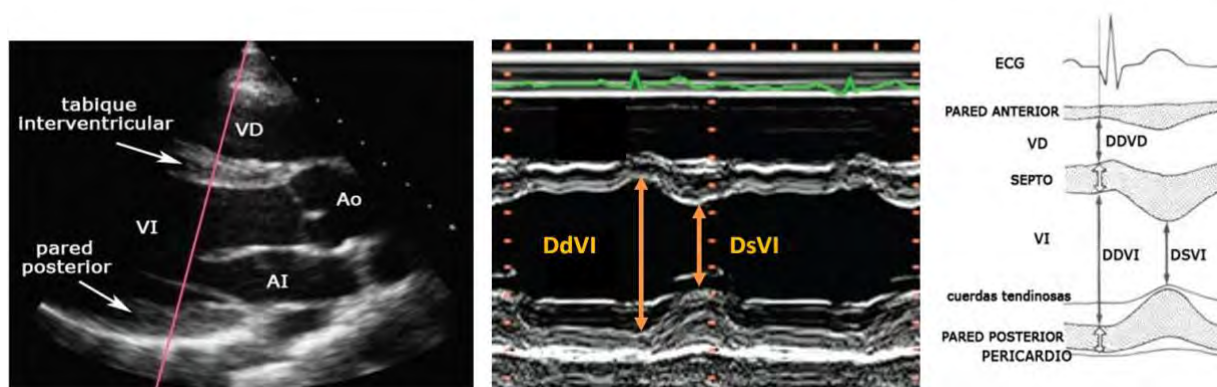
### 2.1.b) Estimación cuantitativa de la función sistólica del VI

Los parámetros de función sistólica del VI más utilizados en pediatría son la fracción de acortamiento y la fracción de eyección. Éstos pueden obtenerse mediante modo-M desde la proyección PEL o PEC, o mediante el método Simpson con la ventana A4C.

#### 2.1.b.1. Fracción de acortamiento (FA)

*Representa cuál es la reducción porcentual “del diámetro” de la cavidad del VI durante la sístole.*

- Ventanas: PEL o PEC.
- Modos: 2D+M.
- Procedimiento: congelando la imagen, se miden los diámetros del VI en telediástole (máximo diámetro de la cavidad) y en telesístole (mínimo diámetro de la cavidad). Si el ECG está integrado estas medidas suelen coincidir con el pico de la onda R y con el de la onda T, respectivamente. Es importante que el TIV esté horizontal y paralelo a la PPVI, y que el cursor del modo M corte a ambas perpendicularmente, haciéndose pasar entre los músculos papilares y las valvas de la mitral en PEL o entre ambas inserciones de los papilares en PEC.



- Cálculos:  $FA = [(DdVI - DsVI) / DdVI] \times 100$ .
- Valores:
  - Normal: 25-45%
  - Disfunción leve: 20-25%
  - Disfunción moderada: 15-20%
  - Disfunción severa: < 15 %

Los valores de la FA son independientes de la edad y de la FC, aunque se ven influidos por la precarga y la postcarga. Su aplicación está limitada si existen alteraciones regionales de la motilidad o movimiento anómalo del septo, o cuando la identificación del endocardio del VI es dificultosa.

#### 2.1.b.2. Fracción de eyección (FE)

*Representa cuál es la reducción porcentual “del volumen” de la cavidad del VI durante la sístole.*

Para estimar los volúmenes del VI se pueden emplear, a su vez, dos métodos.

##### • Método de Teicholz

- Ventanas: PEL o PEC.
- Modo: 2D+M.



- Procedimiento: Idéntico al descrito para estimar la FA. Este método calcula los volúmenes del VI en base a los diámetros telediastólico y telesistólico, aplicando una fórmula matemática que asume que su geometría es la normal (elipse elongada). Por tanto, no es fiable si la geometría del VI está distorsionada (cardiopatías congénitas, dilataciones ...).

- Cálculos:

$$\text{Volumen diastólico (VTDVI)} = [7.0 / (2.4 + DdVI)] \times (DdVI)^3$$

$$\text{Volumen sistólico (VTSVI)} = [7.0 / (2.4 + DsVI)] \times (DsVI)^3$$

$$FE = [(VTDVI - VTSVI) / VTDVI] \times 100$$

- Valores:

Normal: > 60%

Disfunción leve: 40-50%

Disfunción moderada: 30-40%

Disfunción severa: < 30 %

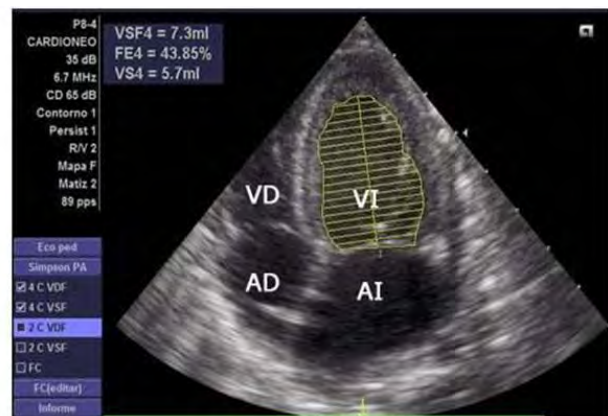
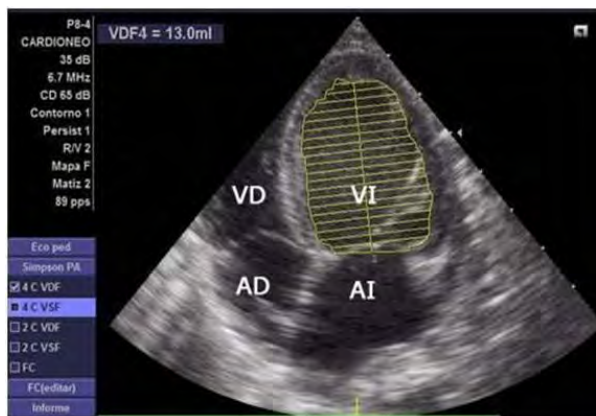
Los valores de la FE son independientes de la edad y de la FC, pero también se ven influidos por la precarga y la postcarga. Las limitaciones son las mismas que para la FA.

- **Método de Simpson (avanzado según grupos)**

- Ventanas: A4C (+A2C en Simpson biplano).

- Modo: 2D.

- Procedimiento: Desde la ventana A4C, buscando obtener la máxima longitud del VI y la mejor definición de su endocardio, se traza el área de la cavidad en telediástole y en telesístole. Es un método más preciso para la estimación del volumen del VI, ya que no asume ninguna geometría concreta. Aplicando una fórmula matemática, estima los volúmenes del VI a partir de sus áreas, sin asumir ninguna geometría concreta. La gran limitación es que exige una correcta delimitación del endocardio del VI, lo que no siempre es fácil con equipos portátiles y en enfermos críticos.



- Cálculos:

$$VTDVI = \sum L/n \times [\pi \times (DdVI/2)^2]$$

$$VTSVI = \sum L/n \times [\pi \times (DsVI/2)^2]$$

Donde L es la longitud de la cavidad ventricular y n es el número de discos de igual altura que ocupan la cavidad.

$$FE = [(VTDVI - VTSVI) / VTDVI] \times 100$$

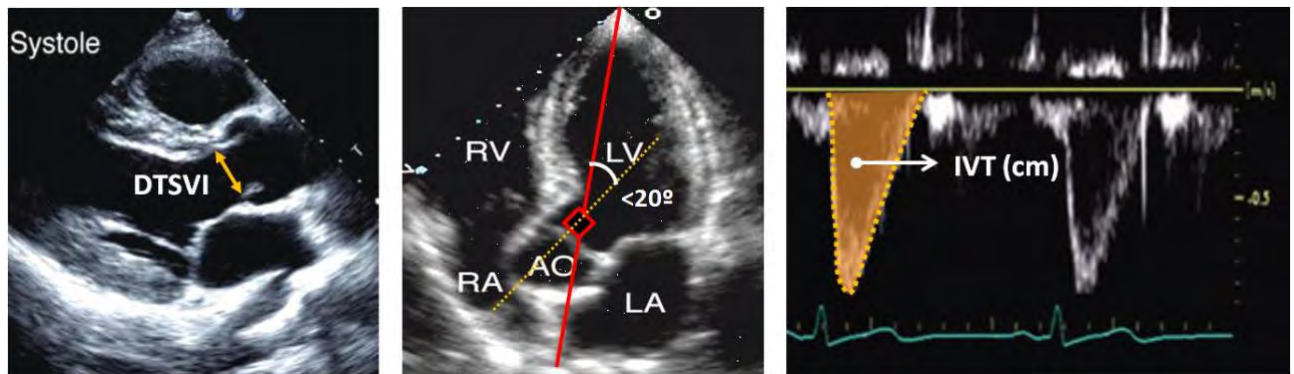
- Valores: Idénticos a los descritos en el método de Teicholz.



### 2.1.c) Estimación del gasto cardiaco del VI por método doppler (avanzado según grupos)

Es considerado un índice global de función cardíaca y el método con mejor correlación con las medidas de termodilución. El cálculo repetido sobre el mismo paciente a lo largo del tiempo permite objetivar la respuesta a las distintas medidas aplicadas.

- Ventanas: PEL (cálculo DTSVI) y A4C (cálculo IVT TSVI).
- Modo: 2D y doppler pulsado.
- Procedimiento: en primer lugar, se debe medir el diámetro del tracto de salida del VI (DTSVI) en PEL, realizando la medida en mesosístole (mitad de la onda T del ECG), colocando el cursor a nivel de la inserción de las valvas derecha y no coronaria de la válvula aórtica. A continuación, en A4C, se obtiene el espectro doppler a nivel del tracto de salida del VI (TSVI), colocándose la prueba del doppler justo por debajo (en el TSVI) de la válvula aórtica, procurando que el ángulo de insonación sea inferior a 20°. Posteriormente se obtiene la integral velocidad tiempo (IVT), trazando el contorno del espectro doppler durante la sístole ventricular.



- Cálculos:
  - Volumen sistólico (VS) = Área TSVI x IVT
  - Área TSVI =  $\pi \times (\text{Diámetro Ao}/2)^2 = 0.785 \times D \text{ Ao}^2$
  - Gasto cardiaco (GC) = Frecuencia cardiaca x VS
  - Índice cardiaco (IC) = GC / Superficie corporal
- Valores normales: IC = 3-5 L/min/m<sup>2</sup>

### 2.2. Función diastólica del VI (avanzado según grupos)

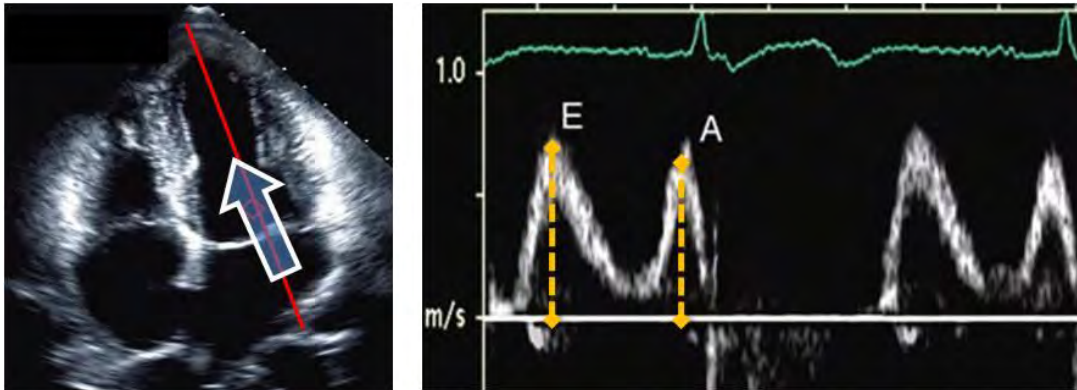
Aunque existen diferentes estimadores ecocardiográficos para estudiar la función diastólica del VI, muchos de ellos son complejos de obtener y requieren operadores con experiencia y ecógrafos con prestaciones avanzadas. El estudio del flujo de llenado transmitral es, quizás, el más empleado y reproducible por personal no cardiólogo. Otros signos ecocardiográficos indirectos, que hacen sospechar la presencia de disfunción diastólica del VI son la hipertrofia del VI, la dilatación de la AI, o el aumento de presiones en cavidades derechas.

#### • Doppler del flujo de llenado transmitral.

- Ventana: A4C.
- Modos: 2D y doppler pulsado.



- Procedimiento: en A4C, colocar la prueba del doppler pulsado a nivel del punto de apertura de las valvas de la mitral en la cavidad del VI. Obtener el espectro doppler y calcular la velocidad pico de la onda E (de llenado rápido o pasivo) y la de la onda A (de llenado lento o activo).



- Cálculos: relación E/A = Velocidad onda E / Velocidad onda A

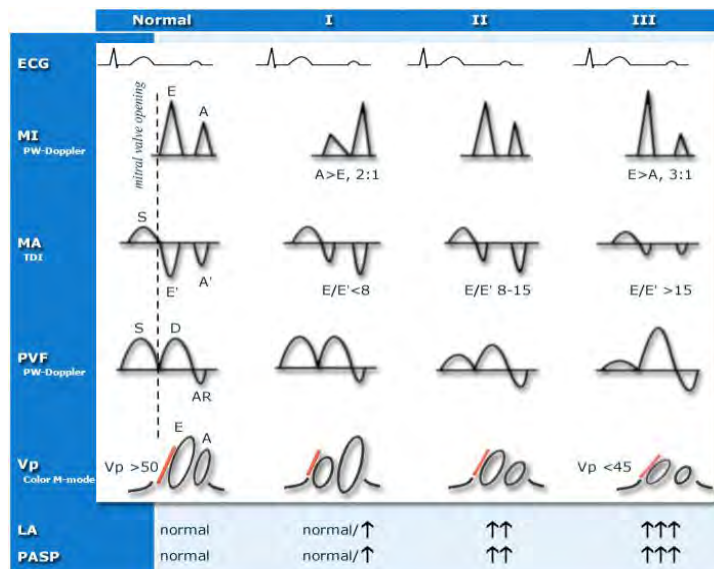
- Valores:

Onda E normal:  $0,9 \pm 0,15$  m/seg.

Onda A normal:  $0,4 \pm 0,1$  m/seg.

Relación E/A normal:  $>1$  y  $<2$  (en niños =  $2,3 \pm 0,6$ ).

En función de la severidad de la disfunción diastólica se pueden observar cambios en la relación de velocidades de las dos ondas (Ver tabla adjunta). El grado II de disfunción diastólica o de pseudonormalización, se distingue de la situación de normalidad empleando otras medidas más complejas (doppler de venas pulmonares, doppler tisular).



### 2.3. Función sistólica del VD

A diferencia de lo ocurrido con el VI, la geometría y la fisiología tan particular del VD, impiden la aplicación de los parámetros empleados en el VI para el estudio de su función sistólica. En este sentido, en vez de estudiar la contracción en su componente circunferencial (como se hace





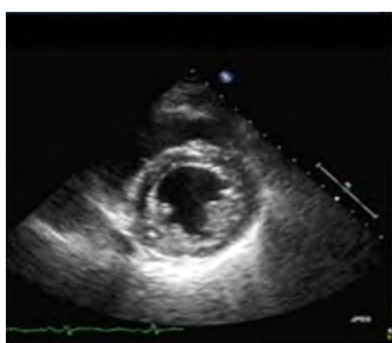
habitualmente con el VI), la función sistólica del VD se estima en base al componente longitudinal de la contracción (TAPSE).

### **2.3.a) Estimación cualitativa de la función sistólica del VD**

- Ventanas: PEL, PEC, A4C y/o S4C.

- Modos: 2D

- Procedimiento: mediante inspección visual rápida del tamaño y del movimiento de las paredes y las válvulas del VD, el operador estima la adecuación de su contracción. El análisis de la posición y el movimiento del TIV es de utilidad para la estimación de las presiones entre el VD y el VI. En condiciones normales, las presiones del VI son superiores a las del VD, tanto en diástole como en sístole, por lo que el TIV abomba continuamente hacia la derecha (TIV tipo I). De esta manera, en su eje corto, el VI tendrá una forma circular y el VD de semiluna. Sin embargo, cuando las presiones en el VD se elevan, la posición del TIV se rectifica, desplazándose hacia una posición intermedia cuando las presiones de ambos ventrículos son similares (TIV tipo II), y hacia la izquierda cuando las presiones del VD son superiores a las del VI (TIV tipo III). En este momento, el VD y el VI tendrán una forma circular y de semiluna en su eje corto, respectivamente. Se habla de movimiento paradójico del TIV cuando en diástole abomba hacia el lado derecho, como es normal, pero en sístole abomba hacia el izquierdo, lo que indica que, en ese momento, las presiones del VD superan las del VI.



**TIV tipo I**



**TIV tipo II**



**TIV tipo III**

### **2.3.b) Estimación cuantitativa de la función sistólica del VD (avanzado según grupos)**

- **TAPSE (Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion)**

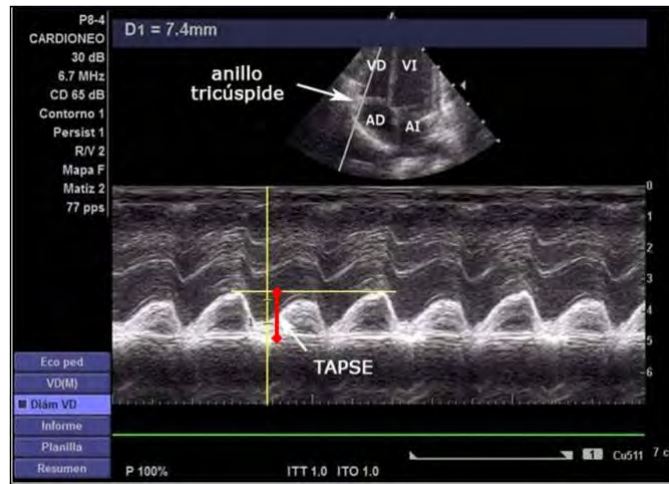
Lo que determina este parámetro es el acortamiento que sufre la longitud del VD durante la sístole (acortamiento longitudinal), en base al movimiento del borde lateral del anillo tricuspídeo.

- Ventana: A4C.

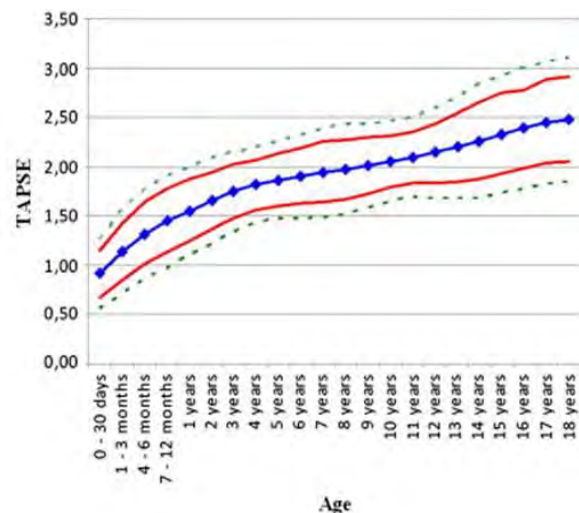
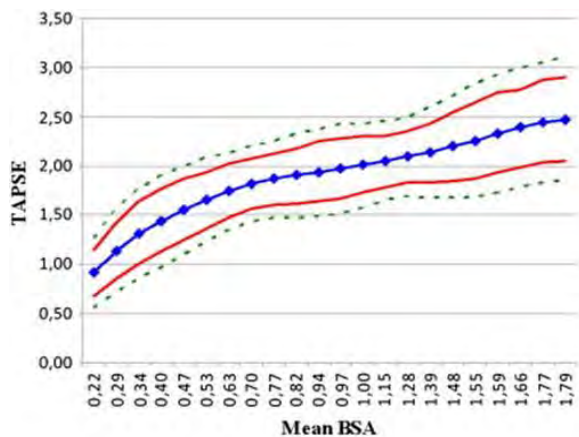
- Modos: 2D y M.



- Procedimiento: en A4C con el ápex en el vértice del sector y el TIV completamente verticalizado, colocar el cursor del modo M a nivel del borde lateral del anillo tricuspídeo. Posteriormente medir la máxima distancia recorrida por el anillo tricuspídeo durante la contracción sistólica.



- Valores normales: dependen de la edad y la superficie corporal (Ver tabla adjunta)



**Koestenberger MJ. Am Soc Echocardiogr. 2009**

- **Relación entre el área del VD y del VI:**

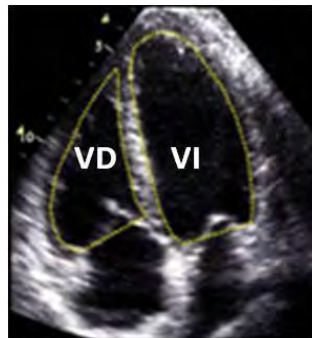
El tamaño del VD es un estimador indirecto de su función, aunque puede verse alterado por factores extracardiacos que implican cambios de precarga (hipervolemia, hipovolemia, taponamiento, etc.) o de postcarga (TEP, SDRA, Asma grave, etc.). La relación entre el área del VD y del VI, puede ser de utilidad para definir el grado de dilatación del VD y para monitorizar la respuesta al tratamiento (diuréticos, vasodilatadores pulmonares, etc.).

- Ventana: A4C.

- Modo: 2D.



- Procedimiento: en A4C, procurando obtener el plano en el que el tamaño de los ventrículos sea el mayor, y asegurándose de que el corazón se insona desde el ápex cardiaco (para que la longitud de los ventrículos no sea inferior a la real), se determina el área de ambas cavidades y se ponen en relación una con otra.



Área VD/VI <0,6



Área VD/VI >1

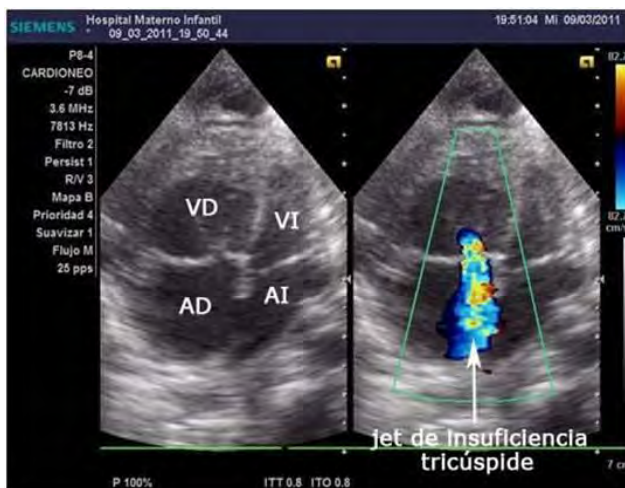
- Cálculos: Área VD/Área VI
- Valores:
  - Normal: <0,6.
  - Dilatación moderada del VD: 0,6-0,9.
  - Dilatación grave del VD: >0,9.

### 3. ESTIMACIÓN DE PRESIONES

#### 2.4.a) Presión pulmonar sistólica (PAPs)

Solo es posible calcularla si existe insuficiencia tricuspídea.

- Ventana: A4C.
- Modo: 2D y doppler continuo.
- Procedimiento: en A4C (o en paraesternales si permiten alinear bien el doppler). Con doppler continuo, medir la velocidad máxima de la regurgitación pulmonar.

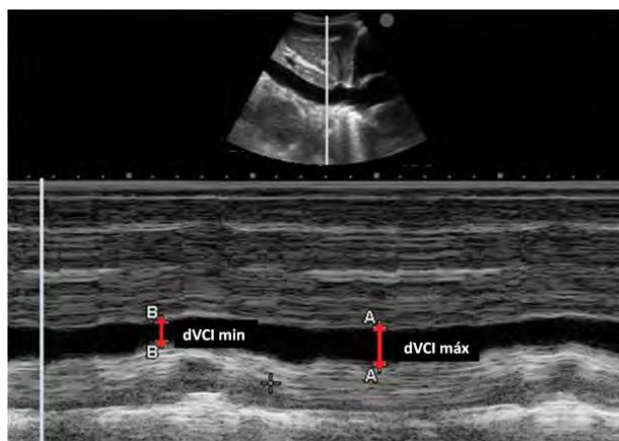


- Cálculos:  $\text{Gradiente transtricuspídeo} = 4 \times (\text{Vmáx reg})^2$   
 $\text{PAPs} = \text{Gradiente transtricuspídeo} + \text{PVC}$
- Valores: Normal: PAPs <30 mmHg.  
 Hipertensión pulmonar: PAPs > 40 mmHg.

#### 2.4.b) Presión en aurícula derecha (PAD)

Puede estimarse mediante el estudio de la variabilidad del diámetro de la VCI durante el ciclo respiratorio. En inspiración es esperable que el diámetro de la VCI se reduzca más del 50%, siempre que la PAD no esté elevada. Si el colapso en inspiración es inferior al 50% la PAD estará elevada, y si la VCI se encuentra dilatada en espiración y no existe variación de su diámetro durante la inspiración, la PAD estará más elevada aún (insuficiencia cardiaca derecha, hipervolemia, etc.). Este parámetro solo es fiable en pacientes en respiración espontánea, no tratados con ventilación mecánica (invasiva o no invasiva). En pacientes hipovolémicos el diámetro de la VCI en espiración estará disminuido y, durante la inspiración, existirá un colapso completo de la misma.

- Ventana: Subcostal eje largo (de cavas).
- Modo: 2D y M (opcional).
- Procedimiento: en subcostal eje largo, posicionar en pantalla la VCI en su eje longitudinal, y medir el máximo diámetro en espiración y el mínimo en inspiración, en la región inmediatamente distal al drenaje de la vena suprahepática media.



- Cálculos:  
 $\text{Colapsabilidad VCI (\%)} = [(D \text{ máx esp} - D \text{ mín insp}) / D \text{ máx esp}] \times 100$
- Valores:  
 Colapso >50% → PAD < 10 mmHg;  
 Colapso <50% → PAD >10 mmHg.  
 VCI dilatada sin variación inspiratoria → PAD >20 mmHg.

#### 2.4.c) Presión en AI (PAI)

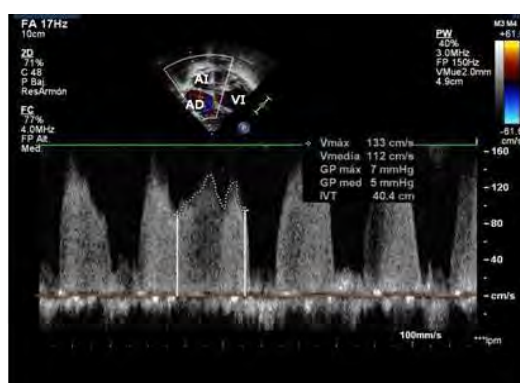
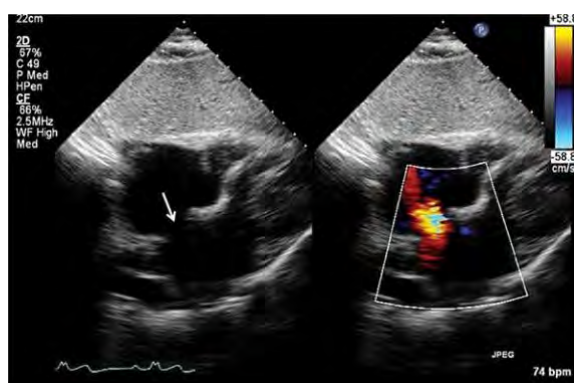
- **Signos indirectos de PAI elevada:**
  - Aurícula izquierda dilatada.
  - Ausencia de flapping del tabique interauricular durante el ciclo cardiaco (abombamiento persistente hacia la aurícula derecha).
  - Disfunción sistólica o diastólica grave del VI.





- Hipertrofia del VI
- **Otros hallazgos ecográficos sugestivos de PAI elevada:**
  - Relación E/A >2.
  - Relación E/E' >12-15. (E' se obtiene con doppler tisular; ver exploraciones avanzadas de este manual).
  - Tiempo de desaceleración de la onda E <180 ms.
  - Presión pulmonar elevada en ausencia de patología pulmonar.

Si se detecta foramen oval o CIA, se puede medir el gradiente de presión a través de la misma (en subcostal 4 cámaras) y así estimar directamente la PAI. En este caso, la PAI será el resultado de sumar al gradiente medio de presión trans-CIA calculado por ecografía, la presión en la AD (PVC).  $PAI = \text{Grad P trans-CIA} + \text{PVC}$ .



#### 4. DETECCIÓN Y EVALUACIÓN DEL DERRAME PERICÁRDICO Y DEL TAPONAMIENTO CARDIACO:

El derrame pericárdico puede detectarse en multitud de planos, siendo los más rentables en UCI S4C, A4C y PEL. El derrame se identifica como una estructura anecoica o hipoecoica que separa las dos hojas del pericardio. Empieza a acumularse en los segmentos inferiores y posteriores del saco pericárdico, cuando el paciente está en decúbito supino. La cantidad de líquido acumulada suele medirse telediástole, usando la ventana PEL y el modo M de exploración. No obstante, la ventana S4C permite hacer una evaluación rápida no solo de la presencia de líquido en el pericardio, sino de si existe compresión de cavidades derechas y dilatación de la VCI, lo que será sugestivo de taponamiento cardiaco.

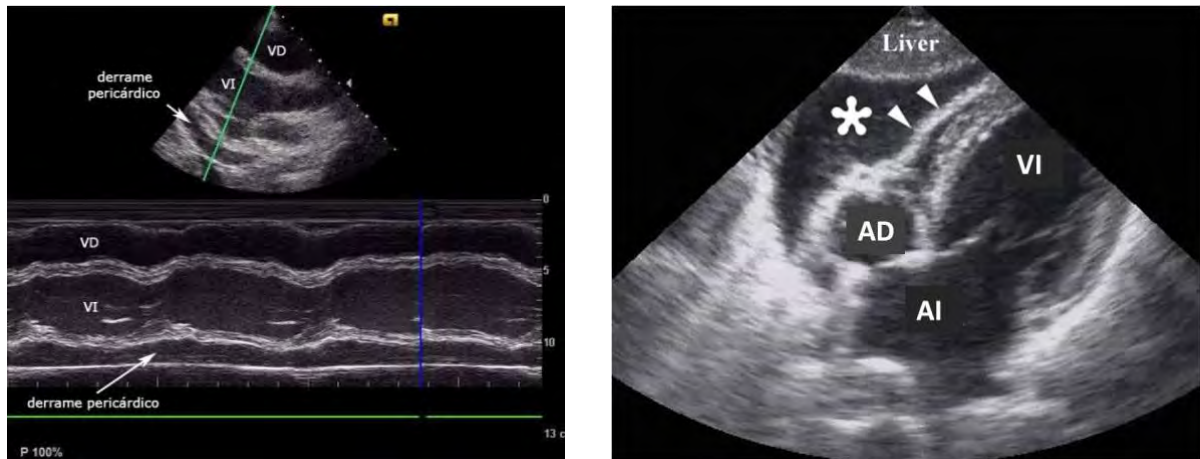
El aumento de la presión intrapericárdica no sólo depende de la cantidad de derrame, también de la velocidad con la que se acumule. Si la presión intrapericárdica es mayor o igual que las presiones de llenado derechas, se produce el colapso diastólico primero de la AD y luego del VD en espiración, pudiendo objetivarse este colapso en modo M (en ventana paraesternal eje largo o eje corto). En general, cuanto más grave es el taponamiento más se extiende el colapso en sístole. Otro de los métodos para valorar el compromiso hemodinámico del derrame, útil en niños mayores y colaboradores, no sometidos a ventilación mecánica, es la identificación de una disminución del flujo de llenado transmitral durante una inspiración profunda, en el plano A4C ("pulso paradójico ecográfico"). El colapso de las cavidades derechas es el signo más sensible y la alteración en el flujo de llenado ventricular el signo más específico.

La dilatación de la VCI es más evidente en pacientes en respiración espontánea, sin colapso inspiratorio y sin oscilaciones con los movimientos respiratorios, signo de PVC elevada. En



pacientes tratados con ventilación mecánica, este hallazgo no es diagnóstico, pues la VCI puede estar dilatada.

En presencia de derrame masivo el corazón puede tener un movimiento de bamboleo en la cavidad pericárdica, como oscilante entre sístole y diástole (“swinging heart”).



## 5. ESTUDIO AVANZADO DE LA FUNCIÓN VENTRICULAR

A continuación, se describen una serie de parámetros ecocardiográficos que, si bien pueden ser útiles para el estudio de la función cardíaca, su obtención es más compleja y su aplicación en el niño crítico más controvertida. Además, se requiere mayor experiencia del operador y equipos con prestaciones más avanzadas, no siempre disponibles en los equipos compactos.

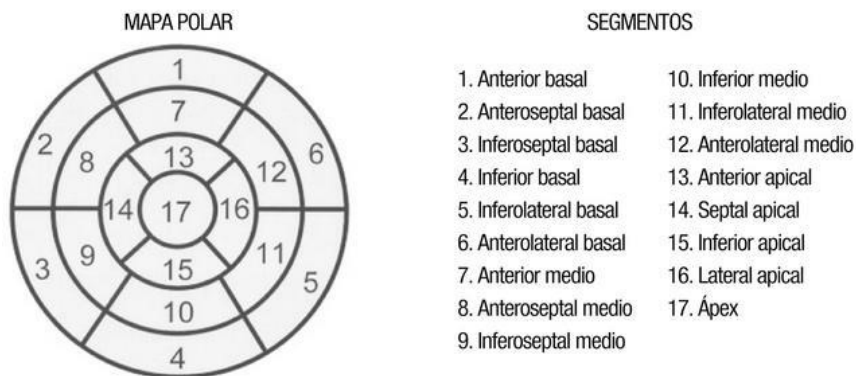
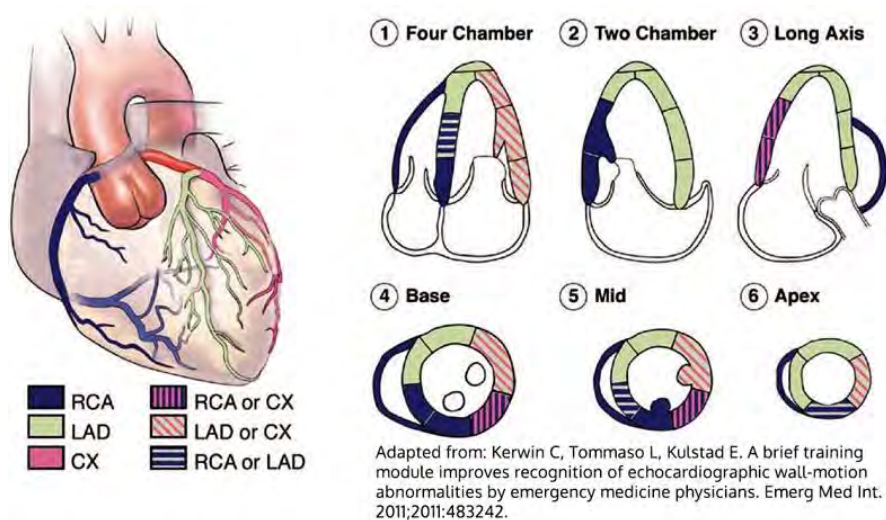
### 1. Función sistólica del VI

#### • **Contractilidad segmentaria del VI**

El estudio de la contractilidad del VI por segmentos puede tener interés especialmente en el estudio del síndrome coronario agudo y en las miocarditis agudas. Para ello se aplica una sistemática que divide el ventrículo izquierdo en un total 17 segmentos. Conociéndose qué arteria los irriga, se puede describir el patrón coronario afectado:

- segmentos basales (x6): en la proximidad de la válvula mitral.
- segmentos medios: (x6): en los músculos papilares.
- segmentos apicales (x4): entre los músculos papilares y el ápex del VI.



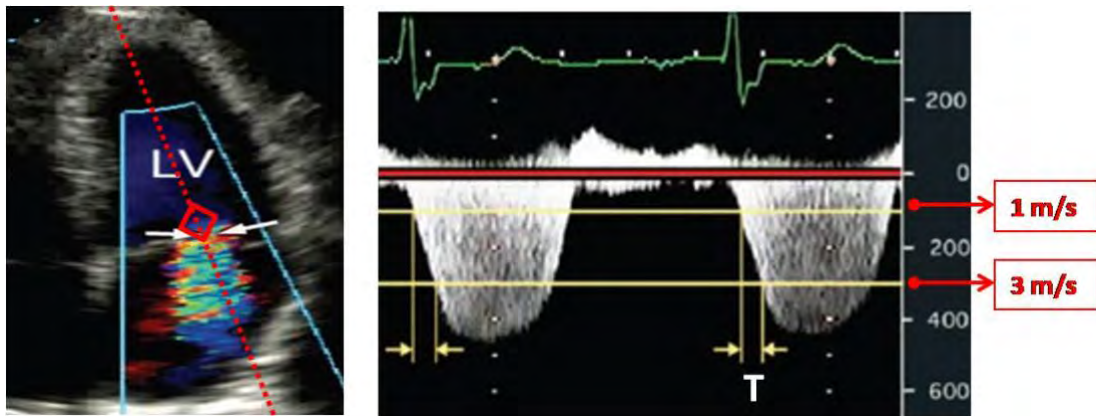


### • dP/dt

Es un parámetro que permite estimar la contractilidad el VI, pero solo puede calcularse si existe insuficiencia mitral. La contracción del VI se estima en base a la aceleración que experimenta el chorro de regurgitación durante la sístole.

- Ventana: A4C.
- Modo: 2D y doppler continuo.
- Procedimiento: colocar el volumen de muestra del doppler en el jet de regurgitación mitral y obtener el espectro de su velocidad. Posteriormente se mide el tiempo (T) que tarda en acelerar de 1 m/s a la de 3 m/s.





- Cálculo:  $dP/dt \text{ (mmHg/s)} = 32 / T \text{ (sg)}$

- Valores:

Normal:  $> 1200 \text{ mmHg/s}$ .

Disfunción moderada:  $800-1200 \text{ mmHg/s}$ .

Disfunción grave:  $< 800 \text{ mmHg/s}$ .

- **Desplazamiento anterior del anillo mitral (MAPSE)**

Parámetro equivalente al TAPSE del VD, que pretende estudiar el componente longitudinal de la contracción en el VI. Se calcula en A4C, colocando el cursor del modo M en el borde lateral del anillo mitral. Los valores normales oscilan desde 0.57 cm (z-score  $\pm 2$ : 0.38-0.76 cm) en neonatos, a 1.63 cm (z-score  $\pm 2$ : 1.31-1.95 cm) en adolescentes (Koestenberger M. Am Heart J. 2012).

## 2. Función diastólica del VI

- **Flujo de venas pulmonares**

El estudio del flujo de las venas pulmonares constituye una fuente adicional de información en el análisis de la función diastólica del VI. En condiciones normales, el flujo en las venas pulmonares es anterógrado, hacia la AI, tanto durante la sístole (onda S) como durante la diástole (onda D) del VI, existiendo un flujo retrógrado que coincide con la contracción auricular (onda Ar), de baja velocidad y corta duración (Ar dur). Normalmente la onda S es mayor que la onda D, pero si la PAI está elevada, la velocidad de la onda S disminuye, la de la onda D aumenta y la duración de la onda Ar aumenta. Si existe disfunción sistólica grave o arritmia sin sincronía este parámetro no es útil.

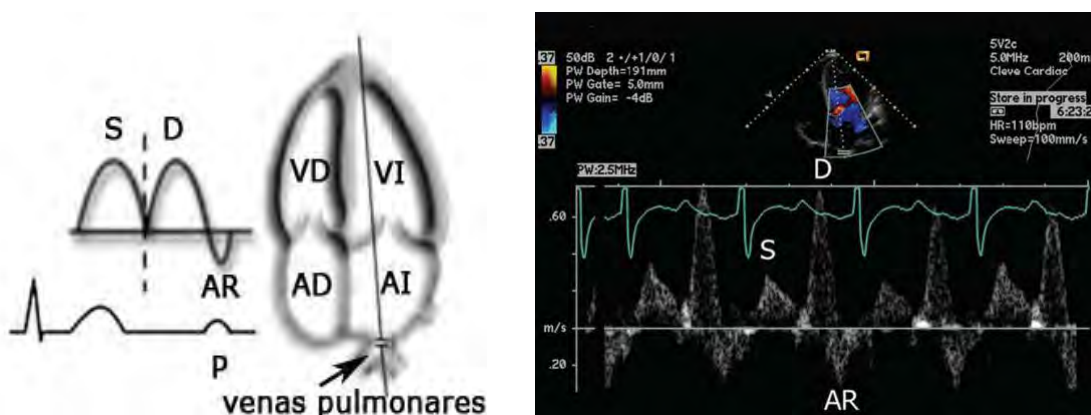
- Ventana: A4C.

- Modo: 2D y doppler pulsado.

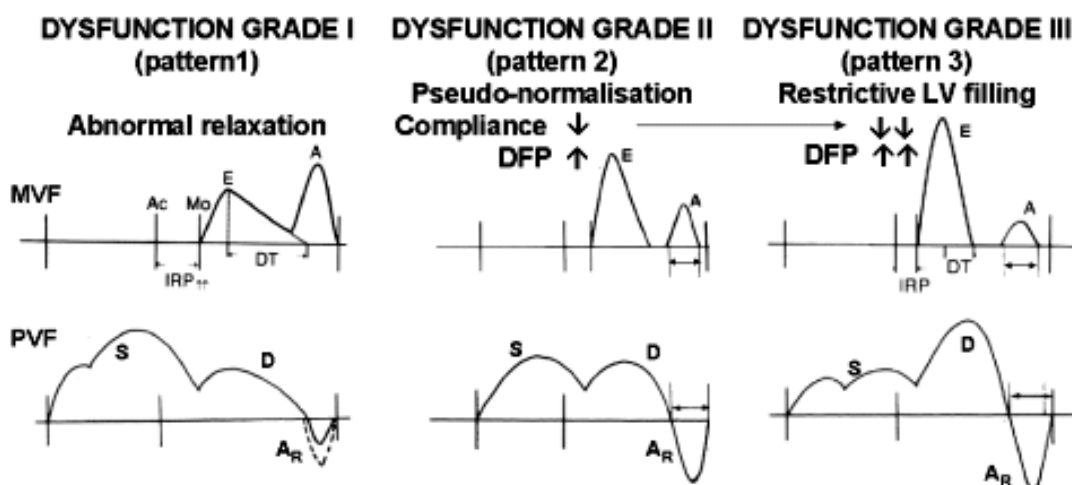




- Procedimiento: en A4C colocar el volumen de muestra del doppler en el ostium de la vena pulmonar superior derecha, y obtener el espectro de velocidades. Posteriormente se mide el tiempo (T) que tarda en acelerar de 1 m/s a la de 3 m/s.



- Cálculos: Medir la velocidad máxima y la duración del jet de regurgitación pulmonar.
- Valores normales: Indican presión en AI > 15 mm Hg:
  - AR > 35 cm/s.
  - Duración Ar – Duración A > 30 ms.
  - AR duración / onda A duración > 1,2.



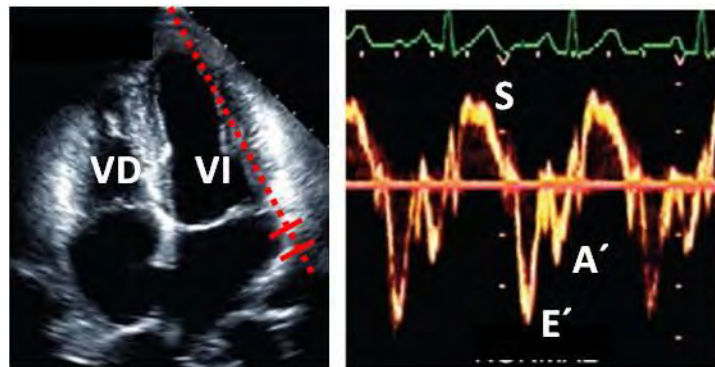
#### • Doppler tisular (DTI)

El doppler tisular es un doppler de baja velocidad, que se emplea para el estudio del movimiento de tejidos, no de sangre. En este sentido, se ha empleado para estudiar la función sistólica y diastólica del VI, analizando el movimiento de diferentes regiones. La más empleada es la región lateral del anillo mitral, en la que se analiza fundamentalmente su movimiento sistólico (onda S) y diastólico precoz (onda Ea o E'). Su principal ventaja es que es un parámetro relativamente independiente del estado de precarga y de otras condiciones hemodinámicas. El cociente E/E' (siendo E la velocidad máxima del flujo de sangre durante el llenado rápido o pasivo transmitral y E' la velocidad máxima de alejamiento del anillo mitral en la diástole precoz) se puede emplear



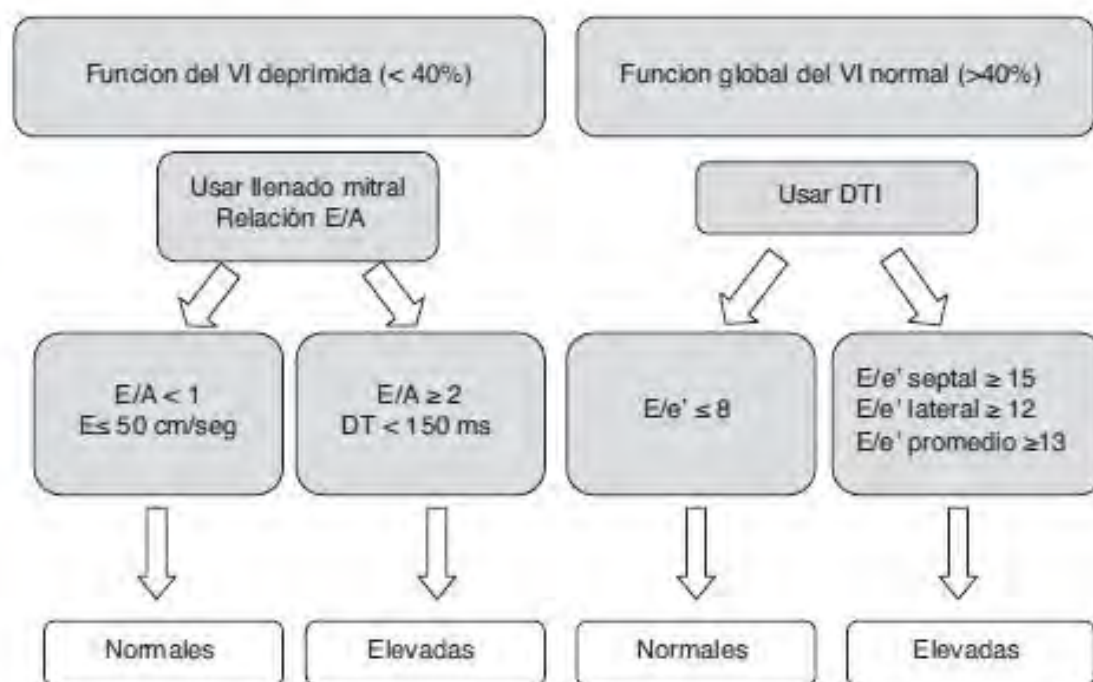
como estimador indirecto de la presión en la aurícula izquierda (PAI). También puede distinguir el patrón diastólico normal ( $E/E' < 8$ ) del pseudonormal ( $E/E' > 8$ ).

- Ventana: A4C.
- Modo: 2D y doppler tisular.
- Procedimiento: colocar el volumen de muestra del doppler tisular en el borde lateral del anillo mitral para obtener el espectro de velocidades de esta región.



- Cálculos: estimar las velocidades máximas de las ondas S y E'
- Valores normales:
  - Onda S  $> 5,4 \text{ cm/seg}$  predice una FE  $> 50\%$  con una S 88% y E 97% (adultos).
  - Cociente  $E/E' < 8$ : PAI normal
  - Cociente  $E/E' > 12$ : PAI elevada ( $> 15 \text{ mmHg}$ ).

Estimación de la PAI mediante ecocardiografía (Nagueh SF. Eur J Echocardiogr 2009)



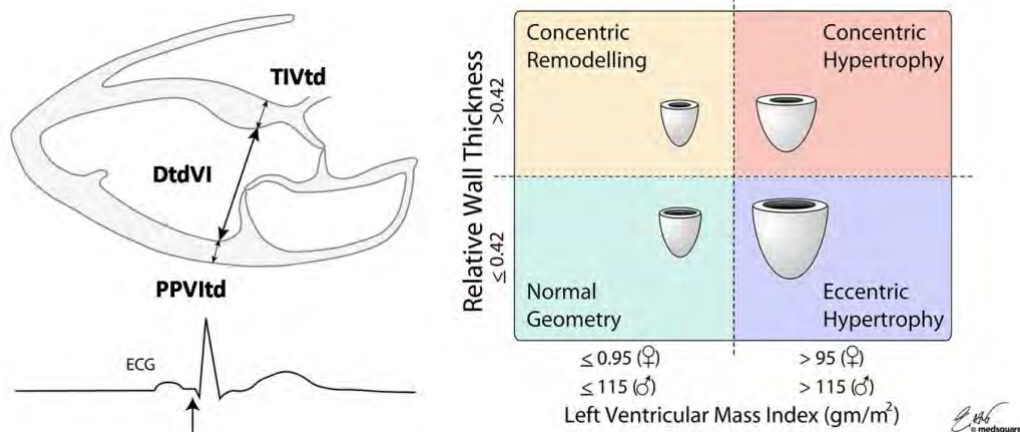
- **Masa y grosor relativo de las paredes del VI (RWT)**

En base al cálculo del espesor de las paredes del VI y del diámetro de su cavidad en telediástole, estos parámetros se emplean para estimar la hipertrofia del VI (cálculo de masa) y para clasificar las hipertrofias en concéntricas (RWT >0,42) o excéntricas (RWT ≤0,42).

- Ventana: PEL.

- Modo: 2D y M.

- Procedimiento: en PEL, usando el modo M, se mide el grosor del TIV y de la PPVI, así como el diámetro de la cavidad ventricular del VI en telediástole.



- Cálculos:

$$\text{Índice de Masa del VI} = [0.8 \times (1.04 \times ((\text{DtdVI} + \text{TIVtd} + \text{PPVItD})^3 - \text{DtdVI}^3)) + 0.6] / \text{SC}$$

$$\text{RWT} = (\text{TIVtd} + \text{PPVItD}) / \text{DtdVI}$$

### 3. Función sistólica del VD

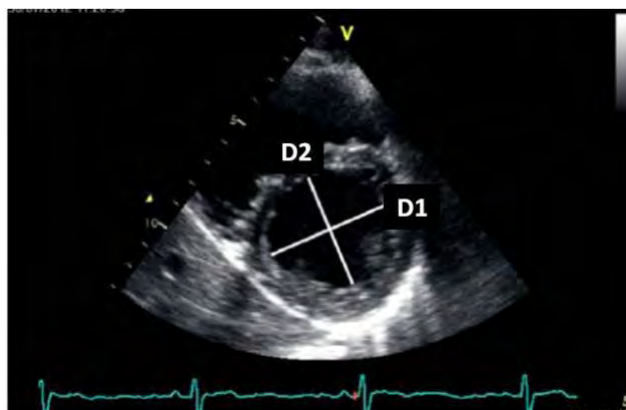
- **Índice de excentricidad**

El índice de excentricidad es una medida del grado de desviación septal, reflejando la relación de presiones entre ambos ventrículos.

- Ventana: PEC a nivel de músculos papilares.

- Modo: 2D.

- Procedimiento: en telediástole, se miden los diámetros de la cavidad del VI entre su pared anterior e inferior (D1), y entre el TIV y la pared libre (D2).



- Cálculos:  $IE = D1 / D2$

- Valores normales: cercano a 1. Cuanto mayor sea su valor, mayor es la desviación del TIV hacia la izquierda.

- **TAPSV: Tricuspid Anular Plane Systolic Velocity.**

Velocidad sistólica máxima de la pared del VD medido por doppler tisular. Medido en proyección apical 4C, con doppler tisular, con el volumen de muestra en la pared lateral del VD en el anillo tricúspide. Se mide la onda sistólica, considerándose normal  $> 10$  cm/s.

### 3. Medición global de función ventricular

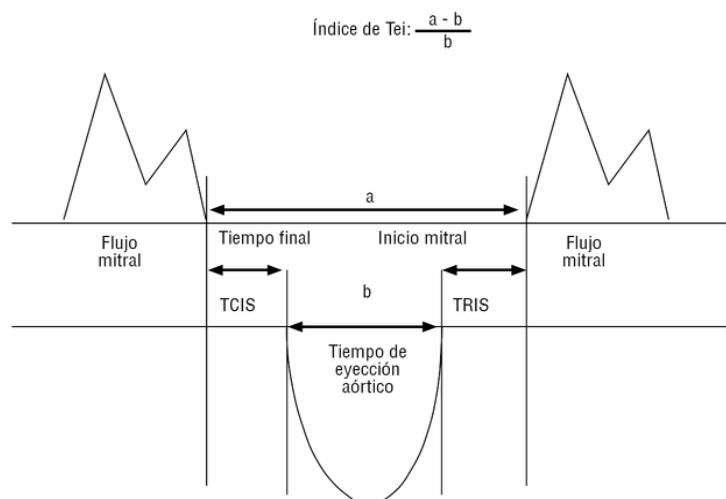
#### - Índice de Tei o Myocardial Performance Index (MPI).

Este índice relaciona los tiempos de contracción y relajación isovolumétrica, con el tiempo de eyección ventricular. Informa sobre la función global del ventrículo, alterándose tanto en casos de disfunción sistólica como diastólica. Se puede calcular tanto para el VI como para el VD. Tiene las ventajas de ser independiente de la precarga y de poder calcularse en condiciones de mala ventana acústica.

- Ventana: A5C (VI) o PEC plano valvular (VD).

- Modo: 2D y doppler pulsado.

- Procedimiento: lo más práctico es medir por separado el tiempo total de sístole (a) colocando el volumen de muestra del doppler en la apertura mitral (A5C) o tricuspídea (PEC) y, posteriormente, el tiempo de eyección sistólico, colocando el volumen de muestra en el TSVI (A5C) o en el TSVD (PEC).



TCIS: Tiempo de contracción isovolumétrica (desde el final del flujo de llenado diastólico hasta el inicio del flujo de vaciado sistólico).

TRIV: Tiempo de relajación isovolumétrica (desde el final del flujo de vaciado sistólico hasta el inicio del flujo de llenado diastólico).

TEy: Tiempo de eyección (desde el inicio hasta el final del flujo de vaciado sistólico).





- Cálculos: Índice de Tei =  $(TCIV + TRIV) / TEy = T^o \text{ de sístole (a)} - TEy (b) / TEy (b)$
- Valores normales:
  - Adultos:  $0,39 \pm 0,05$
  - Niños:  $0,36 \pm 0,07$

Cuanto peor es la función del ventrículo, mayores son los tiempos sistólicos “no efectivos”, y mayor es el valor del Índice de Tei. En caso de disfunción sistólica, el TCIV se prolonga y el TEy se acorta. Si existe disfunción diastólica, el TRIV se prolonga. Un ventrículo con disfunción sistólica y diastólica presentará alargamiento de los dos tiempos y por tanto un índice mayor.

#### 4. ESTIMACIÓN ECOGRÁFICA DE LA PRECARGA Y LA RESPUESTA A LA INFUSIÓN DE FLUIDOS:

En muchas ocasiones, en pacientes hemodinámicamente inestables, una de las informaciones más relevantes a nivel clínico es si la infusión rápida de fluidos producirá una mejora del gasto cardiaco o si esta actuación no mejorará o empeorará la situación hemodinámica del paciente. En este sentido, la ecocardiografía a pie de cama es una herramienta muy útil para estimar el estado de precarga cardiaca y la respuesta a la infusión de fluidos. Los parámetros ecocardiográficos más empleados con esta finalidad son los siguientes.

##### a) Parámetros estáticos

- **Área telediastólica del VI (AtdVI)**

Se calcula en A4C, trazando el reborde endocárdico de la cavidad del VI en telediástole (no incluir en la medida los músculos papilares). Un AtdVI  $< 5,5 \text{ cm}^2$  predice respuesta a la infusión de fluidos.

##### b) Parámetros dinámicos

- **Variación de la velocidad pico sistólica aórtica (VVPs)**

Un reciente metaanálisis ha concluido que el único parámetro consistente para predecir la respuesta a la infusión de fluidos en niños es la variación respiratoria de la velocidad pico sistólica en la aorta (Gan H. Anesth Analg 2013).

$$VVPs = [(VPs \text{ máx} - VPs \text{ mín}) / ((VPs \text{ máx} + VPs \text{ mín}) / 2)] \times 100$$

Puede medirse tanto en pacientes en ventilación mecánica, sin esfuerzo respiratorio, como en pacientes en respiración espontánea. Una VVPs  $> 12\%$  es predictora de respuesta a la infusión de fluidos.

- **Variación del volumen sistólico (VVS)**

Algunos estudios en adultos han estudiado este parámetro como estimador de respuesta a fluidos. Se calcula por método doppler en el TSVI, como se describe más arriba.

En pacientes que respiran espontáneamente, la VVS se estudia en respuesta a la maniobra de elevación pasiva de piernas, durante la cual el paciente se hace pasar rápidamente de posición semi-incorporada (cabeza a  $45^\circ$ ), a posición de decúbito supino con una elevación de piernas de unos  $45^\circ$ . Esta maniobra genera una autotransfusión y un incremento rápido de la precarga cardiaca. Un incremento del VS mayor al  $12\%$  durante la misma, detecta a pacientes respondedores a fluidos. La utilidad de esta maniobra en niños está en entredicho. Estudios



recientes demuestran una sensibilidad baja en el paciente pediátrico (Lukito V. *Pediatr Crit Care Med*. 2012).

- **Acortamiento fraccional del área del VI**

Se calcular en PEC a nivel de músculos papilares, trazando el reborde endocárdico de la cavidad del VI en telediástole y en telesístole. El colapso sistólico de la cavidad del VI (Kissing-walls) se asocia a un área telediastólica reducida y se considera un signo de hipovolemia grave y predice un aumento del gasto cardíaco en respuesta a cambios en los fluidos administrados. Es menos valorable en pacientes con soporte inotrópico elevado, hipertrofia VI e insuficiencia mitral grave.

- **Colapsabilidad de la VCS**

Sólo estudiado y validado como parámetro predictor de respuesta a fluidos en adultos con ventilación mecánica y relajados. Cuando aumenta la presión intratorácica durante la fase inspiratoria del ciclado del respirador, la VCS se colapsará tanto más cuanto menos sea la presión en su interior. De esta manera, una colapsabilidad de la VCS > 36% predice respuesta positiva a la administración de volumen (Vieillard-Baron A. *Intensive Care Med*. 2004). Pueden existir falsos positivos en pacientes con fallo VD o con volumen tidal elevados y falsos negativos si el volumen tidal es reducido.

**Índice de colapsabilidad de la VCS** =  $[(VCS\ esp - VCS\ insp)/VCS\ esp] \times 100$

- **Distensibilidad de la VCI**

Sólo estudiado y validado como parámetro predictor de respuesta a fluidos en adultos con ventilación mecánica y relajados. Cuando aumenta la presión intratorácica durante la fase inspiratoria del ciclado del respirador, la VCI se distenderá tanto más cuanto menos sea la presión en la AD. De esta manera, una distensión de la VCI > 18% durante el ciclado del respirador predice una respuesta positiva a la administración de volumen (Barbier C. *Intensive Care Med*. 2004). Pueden existir falsos positivos en pacientes con fallo VD o con volumen tidal elevados y falsos negativos si el volumen tidal es reducido.

**Índice de distensibilidad de la VCS** =  $[(VCI\ insp - VCI\ esp)/VCI\ insp] \times 100$



## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Kutty S, Attebery JE, Yeager EM, Natarajan S, Li L, Peng Q, Truemper E, Hammel JM, Danford DA. Transthoracic echocardiography in pediatric intensive care: impact on medical and surgical management. *Pediatr Crit Care Med*. 2014;15(4):329-35.
- Gan H, Cannesson M, Chandler JR, Ansermino JM. Predicting fluid responsiveness in children: a systematic review. *Anesth Analg*. 2013;117(6):1380-92.
- Lukito V, Djer MM, Pudjiadi AH, Munasir Z. The role of passive leg raising to predict fluid responsiveness in pediatric intensive care unit patients. *Pediatr Crit Care Med*. 2012;13(3):e155-60.
- Vieillard-Baron A, Chergui K, Rabiller A, Peyrouset O, Page B, Beauchet A, Jardin F. Superior vena caval collapsibility as a gauge of volume status in ventilated septic patients. *Intensive Care Med*. 2004;30(9):1734-9.
- Barbier C, Loubières Y, Schmit C, Hayon J, Ricôme JL, Jardin F, Vieillard-Baron A. 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.
- Border WL, Michelfelder EC, Kan Hor, Meredith DS. Echocardiography in the Pediatric Critical Care Setting. *Cardiovascular Pediatric Critical Illness and Injury* 2009;4:55-61.
- Do Pico José Luis, Parra Guillermo, Puppo Corina. Ultrasonografía en el paciente crítico. Ediciones Journal.
- De Baker Daniel, Cholley Bernard P, Slama Michel, Vieillard-Baron A, Vignon P. Haemodynamic monitoring using Echocardiography in the critically ill. Ed Springer.
- A. Ochagavía, F. Baigorri, J. Mesquida, J.M. Ayuela, A. Ferrándiz, X. García, M.I. Monge, L. Mateu, C. Sabatier, F. Clau-Terré, R. Vicho, L. Zapata, J. Maynar, A. Gily Grupo de Trabajo de Cuidados Intensivos Cardiológicos y RCP de la SEMICYUC. Monitorización hemodinámica en el paciente crítico. Recomendaciones del Grupo de Trabajo de Cuidados Intensivos Cardiológicos y RCP de la Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias *Medicina Intensiva* 2014, 38(3), 154-169.
- Ayuela Azcarate JM, Clau Terré F, Ochagavía A, Vicho Pereira R. Papel de la ecocardiografía en la monitorización hemodinámica de los pacientes críticos. *Medicina Intensiva* 2012; 36(3): 220-232.
- Melamed R MD; Sprenkle M MD; Ulstad Valerie M MD; Herzog Charles A MD; Leatherman James W MD, FCCP. Assessment of Left Ventricular Function by Intensivists Using Hand-Held Echocardiography. *Chest* 2009, 135, 1416-1420.



- Guillorya Robin K, Gunter Oliver L. Ultrasound in the surgical intensive care unit. *Current Opinion in critical care* 2008; 14:415-422.
- Lichtensten Daniel A et al. *Lung Ultrasound in the critically ill*. Ed Springer.
- Platz E et al. Utility of lung ultrasound in predicting pulmonary and cardiac pressures. *European Journal of Heart Failure* 2012, 14; 1276-84.
- MA Granados Ruiz. Ecocardiografía en el paciente crítico. Presentación del “Curso Teórico-Práctico de Ecografía en el paciente crítico”. UCIP/ IPC. Hospital 12 Octubre. Madrid.
- Deiros Bronte L, Rubio Vidal D, Bret M. Métodos diagnósticos por imagen en Cardiología infantil. Capítulo 5. Protocolos Sociedad de Cardiología Pediátrica y cardiopatías congénitas.

