

2.1

Función sistólica

A. García Lledó y V. Ponz Mir

ANATOMÍA VENTRICULAR

En el tema *Anatomía y flujos*, se describe la anatomía ecocardiográfica de ambos ventrículos. De cara al estudio de la función ventricular, hay que hacer algunas consideraciones.

- **El ventrículo izquierdo tiene una forma regular**, similar a un proyectil, que permite calcular su volumen a partir de asimilaciones geométricas (**Fig. 2.1-1**). En ventrículos muy deformados, el método de Simpson, por suma de discos, permite estimaciones fiables no dependientes de la geometría ventricular (**Fig. 2.1-1C**).
- **La forma del ventrículo izquierdo permite el estudio sistematizado de sus caras** en planos preestablecidos. En ausencia de limitaciones de ventana, permite un análisis completo de la contractilidad de cada segmento y, por tanto, de la función contráctil global (**Fig. 2.1-2**).
- **La forma del ventrículo derecho es irregular** y difícilmente asimilable a ninguna figura geométrica (**Fig. 2.1-3**). Tampoco se han sistematizado puntos de referencia para las medidas, y la trabeculación del ventrículo derecho las dificulta. Por todo esto, el estudio ecocardiográfico habitual no pretende la estimación del volumen, y la valoración funcional es más limitada.

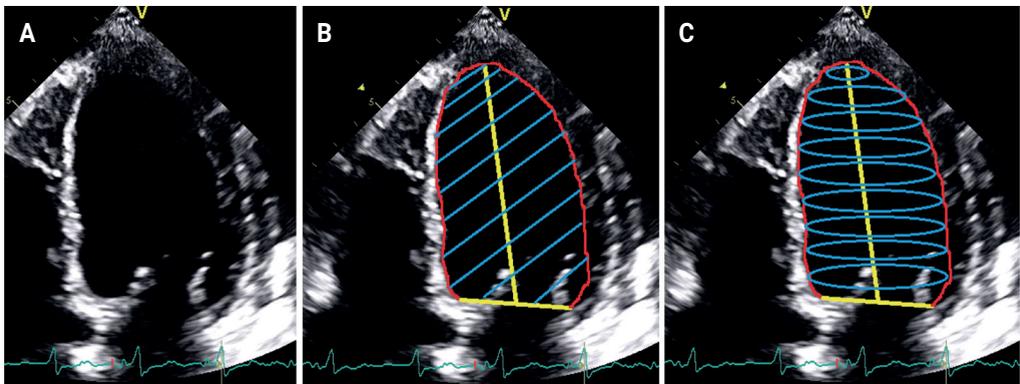


Figura 2.1-1. Métodos de cálculo del volumen ventricular.

A) Ventrículo izquierdo desde un plano apical de cuatro cámaras.

B) Estimación por método de área longitud.

C) Base teórica para la estimación por el método de discos de Simpson. Desde el punto de vista práctico, resulta indiferente: para ambos métodos, hay que trazar la línea del anillo mitral y el eje largo, y planimetrar el contorno del ventrículo izquierdo. Eso es lo que depende del profesional. Será la máquina la que aplique las fórmulas, que se pueden encontrar en los tratados de ecocardiografía.

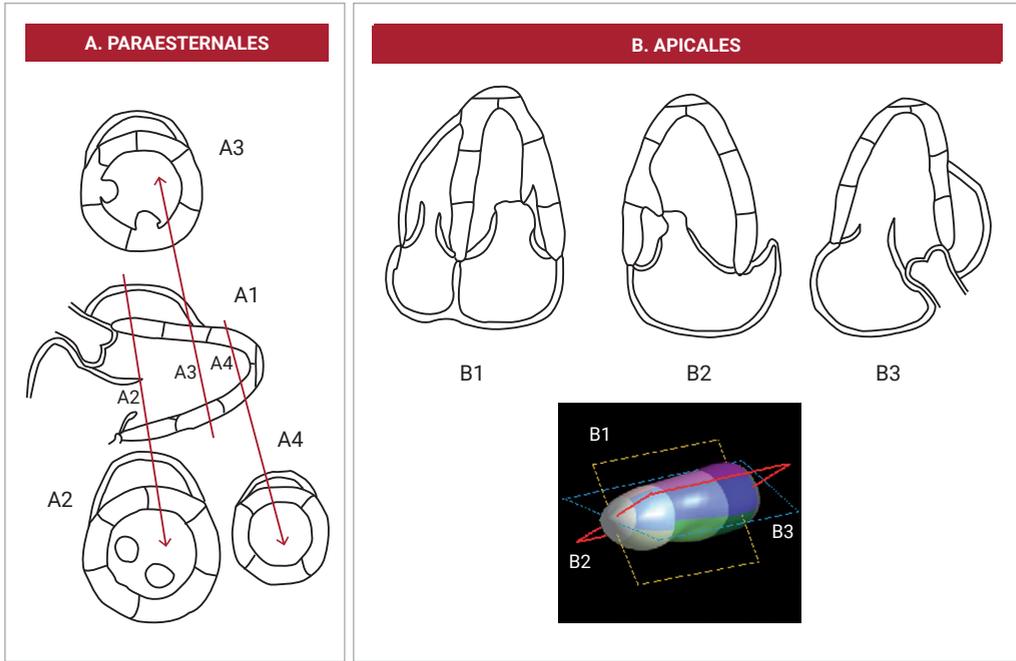


Figura 2.1-2. Planos para el análisis de la contractilidad segmentaria del ventrículo izquierdo.

Se muestran las referencias de los cortes paraesternales de eje corto (A2-A4) sobre el corte de eje largo (A1), y las de los apicales, sobre una reconstrucción tridimensional del ventrículo izquierdo.

FUNCIÓN VENTRICULAR

Los ventrículos trabajan movilizándolo volumen de eyección (o volumen/latido), que es la diferencia entre los volúmenes telediastólico y telesistólico (**Fig. 2.1-4**).

El volumen expulsado no es el único componente del trabajo ventricular, ya que se expulsa contra la resistencia de los lechos arteriales. La contractilidad es un concepto abstracto que refleja la potencia ventricular, tanto en cuanto a los cambios de volumen como a la generación de presión contra

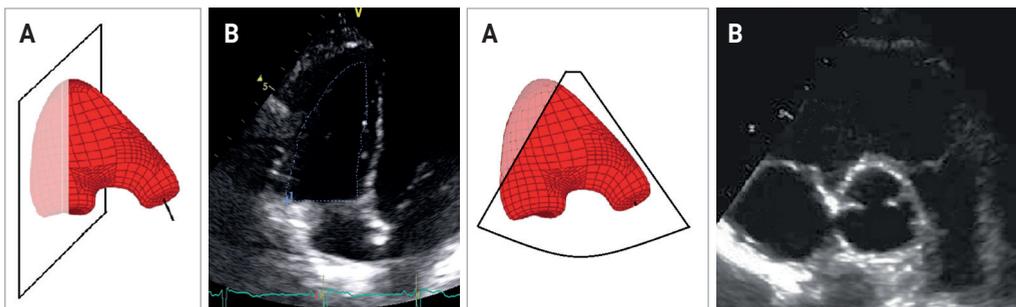


Figura 2.1-3. Reconstrucción de volumen de un ventrículo derecho normal junto con sus cortes.

A) Plano de cuatro cámaras.

B) Plano paraesternal de eje corto.

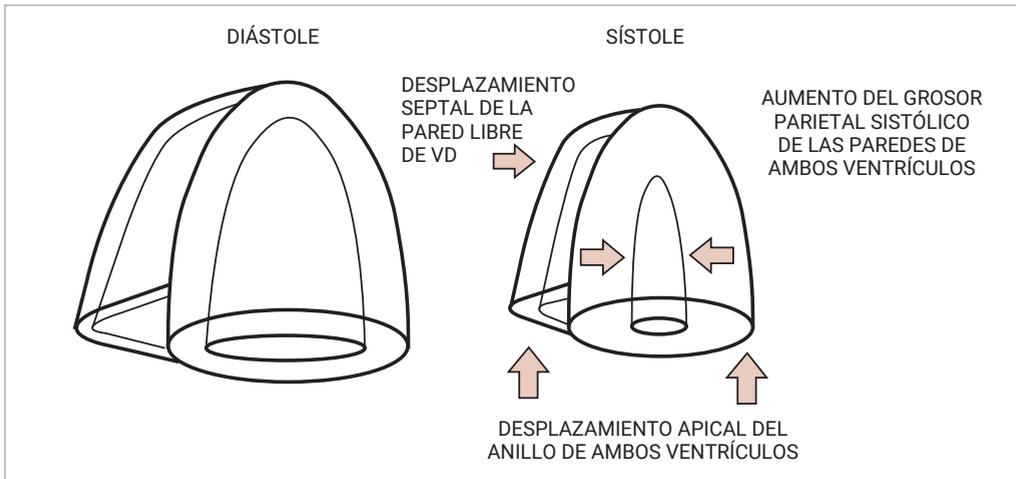


Figura 2.1-4. Esquema de la contracción de ambos ventrículos.

A) Ambos ventrículos en diástole.

B) En sístole, ambos ventrículos acortan su eje longitudinal, a la vez que su diámetro transverso. El ventrículo izquierdo lo consigue aumentando el grosor parietal y desplazando el borde endocárdico hacia el centro de la cámara, mientras que el ventrículo derecho lo hace desplazando su pared libre de forma lateral, con menor engrosamiento.

la resistencia vascular. Se puede ver el movimiento de las paredes con facilidad, pero es más difícil evaluar la contractilidad:

- Un ventrículo sano puede moverse poco si se contrae contra una carga muy elevada: a un forzado le cuesta arrastrar un camión.
- Un ventrículo enfermo puede mover sus paredes de manera normal si trabaja contra poca resistencia: un niño enfermo mueve con facilidad una pluma.

Siempre que se estime la función ventricular, se debe considerar la poscarga y la precarga, y para ello, hay que considerar otros datos clínicos (como la tensión arterial) y ecocardiográficos (como las insuficiencias valvulares). La **tabla 2.1-1** muestra las condiciones que modifican la precarga y la poscarga, que pueden hacer variar la fracción de eyección (FE) y, en general, el movimiento de las paredes ventriculares.

Tabla 2.1-1. Condiciones en las que varía la fracción de eyección

Aumenta	Disminuye
Insuficiencia valvular	Estenosis aórtica o pulmonar
Bradycardia	Taquicardia
Vasodilatación sistémica: fiebre, gestación, enfermedad de Paget	Hipertensión pulmonar o sistémica
Fístulas: diálisis, ductus, otras	Coartación de aorta
Aminas vasoactivas, hipertiroidismo	Hipotiroidismo
Vasodilatadores	Betabloqueantes

NOTA: En negrita se marcan las condiciones que modifican la contractilidad.

FISIOPATOLOGÍA DE LA DISFUNCIÓN VENTRICULAR

Desde el punto de vista de la fisiopatología de la disfunción ventricular, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **La pérdida de función contráctil puede ser global**, como en las miocardiopatías dilatadas y la miocarditis **o segmentaria**, como sucede tras los infartos (**Fig. 2.1-5**).

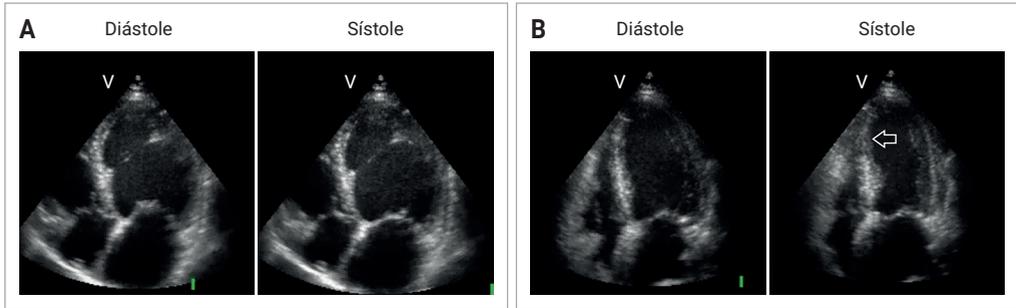


Figura 2.1-5. Disfunción global y segmentaria del ventrículo izquierdo.

- A)** Disfunción ventricular global en una miocardiopatía dilatada. Se puede observar el ventrículo izquierdo esferoide.
- B)** Disfunción sistólica segmentaria regional en un infarto anteroseptal. La flecha marca el segmento septal medio y apical hipocinético en un infarto anteroseptal.

- **Si el daño es crónico y progresivo, el ventrículo se adapta dilatándose (Fig. 2.1-6)**, de forma que con una menor fracción de eyección, se mantiene el volumen de eyección y el gasto: un ventrículo izquierdo de 200 mL con fracción de eyección del 25 % expulsa 50 mL por latido (volumen de eyección), lo mismo que un ventrículo izquierdo normal de 100 mL con una fracción de eyección del 50 %.
- **Toda dilatación ventricular debe hacer pensar en la disfunción sistólica**, salvo que exista otra causa que lo justifique: una insuficiencia valvular severa, una fístula o una comunicación inter-ventricular. En la disfunción ventricular aguda, en la que no hay tiempo para el remodelado (por ejemplo, por infarto de miocardio en fase aguda), no se aplica esta consideración.

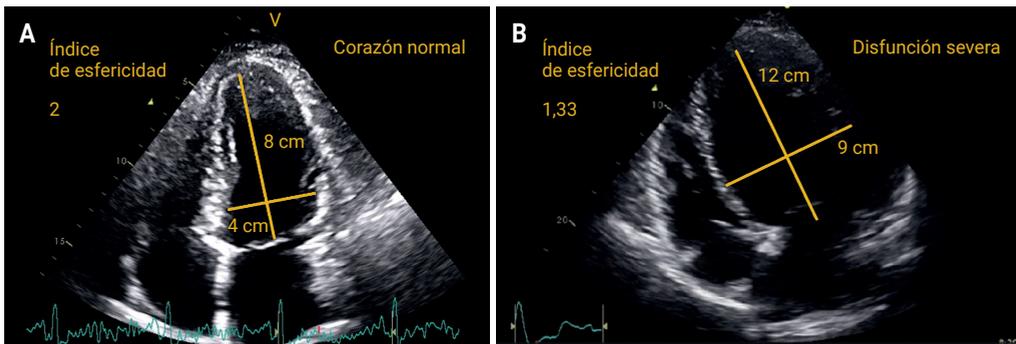


Figura 2.1-6. Estimación del índice de esfericidad ventricular.

- A)** Ventrículo normal.
- B)** Disfunción ventricular severa.

- **Un ventrículo no dilatado rara vez sufrirá una disfunción crónica.** Esto es importante cuando la fracción de eyección parece estar reducida por un déficit de precarga, como sucede en las taquicardias con frecuencia muy alta: como no se llena el ventrículo izquierdo, apenas se vacía. Durante la taquicardia extrema, se aprecian ventrículos no dilatados con fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) baja, sin que haya disfunción ventricular (**Fig. 2.1-7**).



FUNDAMENTAL: Los ventrículos que son crónicamente disfuncionantes compensan su deterioro incrementando su volumen y remodelándose con un patrón esferoidal característico. Hay datos anatómicos que se asocian a una mala función ventricular:

- El aumento de los diámetros y volúmenes telediastólico y, sobre todo, el telesistólico.
- El índice de esfericidad, entendido como el cociente entre los diámetros longitudinal y transversal del ventrículo izquierdo. Cuanto más se acerca a 1, peor es la función ventricular (v. **Fig. 2.1-6**).

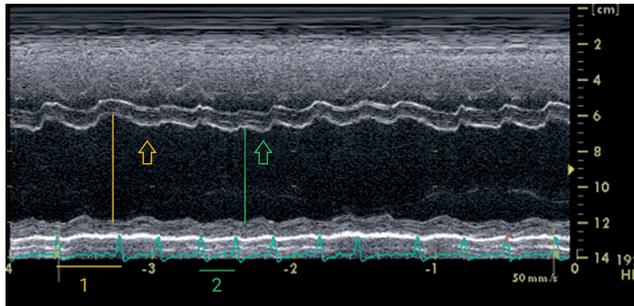


Figura 2.1-7. Ecocardiograma en modo M en un paciente con fibrilación auricular rápida.

El ciclo 1 es más largo que el ciclo 2, por lo que el ventrículo izquierdo se llena más y las paredes se mueven más (flechas). No obstante, la función sistólica es la misma. La estimación en cada ciclo dará una fracción de eyección totalmente diferente. Si el ventrículo izquierdo está dilatado, como es en este caso, hay que asumir que hay una disfunción ventricular. Si no lo está, se debe suponer que la función es normal.

ETIOLOGÍA DE LA DISFUNCIÓN VENTRICULAR

La disfunción ventricular es el punto final común de todas las formas de daño del miocardio. En un ecocardiograma, se pueden encontrar algunos rasgos que permiten sospechar la causa de la disfunción ventricular. Se muestran brevemente en la **tabla 2.1-2**.

Tabla 2.1-2. Rasgos que permiten sospechar la causa de la disfunción ventricular

Aspecto ecocardiográfico	Posibles causas de disfunción ventricular
Alteración de la contractilidad segmentaria	Cardiopatía isquémica, traumatismo cardíaco
Hipertrofia ventricular	Cardiopatía hipertensiva, miocardiopatía hipertrófica, cardiopatías infiltrativas (amiloidosis, enfermedad de Fabry...), estenosis aórtica, coartación de aorta
Dilatación ventricular con paredes finas	Miocardiopatía dilatada, miocarditis aguda, cardiopatía isquémica con lesión multivaso, insuficiencia valvular severa, fístula (ductus, comunicación interventricular, otras)

Continúa en la página siguiente

Tabla 2.1-2. Rasgos que permiten sospechar la causa de la disfunción ventricular (cont.)

Aspecto ecocardiográfico	Posibles causas de disfunción ventricular
Dilatación ventricular derecha con contractilidad homogéneamente disminuida	Hipertensión pulmonar crónica, insuficiencia tricúspide severa, miocardiopatía dilatada (asociada a la disfunción del ventrículo izquierdo).
Dilatación ventricular derecha con alteración segmentaria de la contractilidad	Hipertensión pulmonar aguda (embolismo pulmonar), infarto del ventrículo derecho [habitualmente asociado a un infarto inferior o inferoposterior], miocardiopatía arritmogénica (valorar aneurisma, hipertrabeculación).

DIAGNÓSTICO Y HALLAZGOS POR ECOCARDIOGRAFÍA

Función ventricular izquierda

Se puede **medir el ventrículo izquierdo** de varias maneras. Todas ellas permiten estimar volúmenes ventriculares y calcular la FEVI.

Ecocardiografía en modo M (unidimensional)

Técnica. Se realiza el corte en modo M en un plano paraesternal longitudinal, mientras se ve la aorta, la válvula aórtica y la mitral con su aparato subvalvular. En las **figuras 2.1-8 a 2.1-10** se explica cómo medir el ventrículo izquierdo con modo M.

- El cursor debe colocarse en perpendicular al eje largo del ventrículo izquierdo (**Fig. 2.1-8**).
- El cursor se debe colocar en la interfase proximal de cada pared (*from leading edge to leading edge*). De esta manera, la medida no depende de la ganancia que se aplique, ya que el grosor de la interfase aumenta cuando se incrementa la ganancia, de forma distal al transductor (**Fig. 2.1-9**).

Ventajas. El modo M tiene una alta resolución espacial y temporal, con referencias anatómicas fijas, y ofrece valores de diámetros ventriculares que están estrechamente relacionados con la función ventricular, y que sirven para la toma de decisiones quirúrgicas, por ejemplo, el diámetro telesistólico

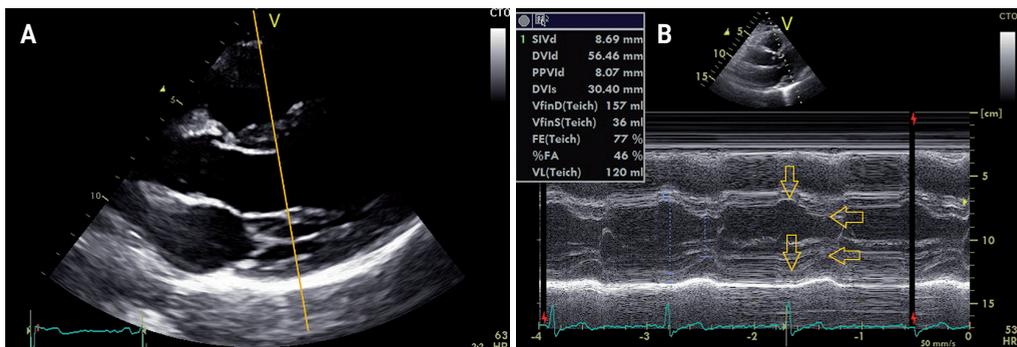


Figura 2.1-8. Medida del ventrículo izquierdo en modo M. Colocación del cursor 1.

A) Corte bidimensional en el plano paraesternal de eje largo.

B) Corte en modo M, en el que se indican los puntos de medida de los diámetros ventriculares. El pico de la onda R del ECG es la referencia para medir en telediástole. La medida sistólica se realiza en el momento de máxima aproximación de las paredes. Para medir, se debe localizar las interfases epicárdica y endocárdica del septo y la pared posterior.

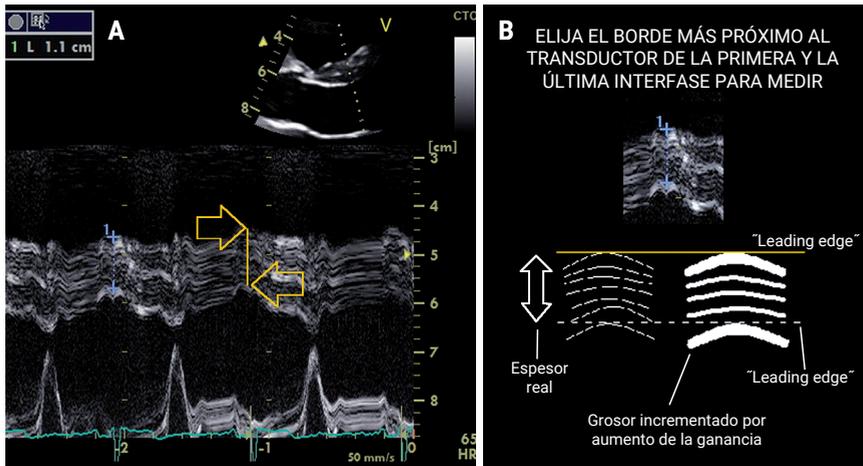


Figura 2.1-9. Medida del ventrículo izquierdo en modo M. Colocación del cursor 2.

- A)** Ecocardiograma en modo M, ampliado. Forma de colocar el cursor de medida en la parte más proximal de la interfase entre las cámaras ventriculares derechas y el septo.
- B)** Esquema del efecto que produce el aumento de ganancia sobre el grosor de las interfases. A la izquierda, con poca ganancia, las interfases (líneas) son finas. A la derecha, con mayor ganancia, la interfase (línea) es mas gruesa, y ha crecido de forma distal al transductor. Si se mide en el borde proximal, la medida no cambia.

(DTS) para la indicación de cirugía en las insuficiencias mitral y aórtica. Permite medir el espesor de las paredes con mayor fiabilidad que el modo bidimensional.

Limitaciones. Es posible magnificar la medida del grosor parietal cuando se incorporan estructuras próximas a la pared (Fig. 2.1-10). En ocasiones, es complicado conseguir un corte perpendicular al eje largo, y eso puede magnificar los diámetros. Aunque esto puede resolverse usando el **modo M**

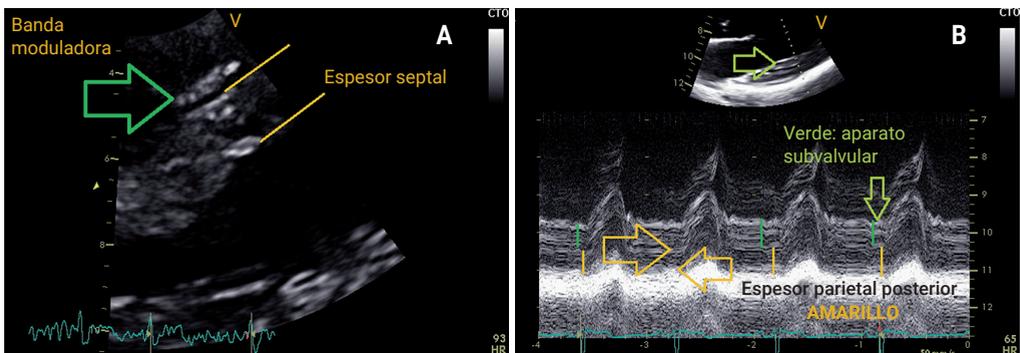


Figura 2.1-10. Medida del ventrículo izquierdo en modo M.

Se debe evitar la banda moderadora del ventrículo derecho y las cuerdas tendinosas. Ecocardiograma bidimensional desde el plano paraesternal longitudinal ampliado, que muestra dos fuentes comunes de error en la medición de las paredes y las cámaras ventriculares.

- A)** Imagen del septo interventricular, con la banda moduladora del ventrículo derecho (flecha) en su proximidad.
- B)** Imagen de la pared posterior, con las cuerdas tendinosas (flecha) en su proximidad.

anatómico, que permite un corte perpendicular al eje (**Fig. 2.1-11A**), la imagen resultante es menos definida (**Fig. 2.1-11B**). Es necesario elevar al cubo las medidas obtenidas cuando se desea estimar el volumen, de modo que los errores que se hayan cometido se magnifican. El modo M refleja sólo la movilidad de los puntos que se cortan con el cursor, que, además, cambian ligeramente por el desplazamiento del corazón. Es un método razonablemente fiable si todos los segmentos del ventrículo izquierdo tienen una contractilidad similar, y si la anatomía ventricular no presenta irregularidades marcadas. Nunca debe usarse en presencia de alteraciones de la contractilidad segmentaria o ventrículos de forma irregular, como aquellos con aneurismas. Su uso no se recomienda en algunas guías, hecho con el que no estamos de acuerdo: creemos que la medida del ventrículo izquierdo y sus paredes siguen siendo de gran utilidad clínica, si se conocen sus limitaciones y se realiza de forma rigurosa.

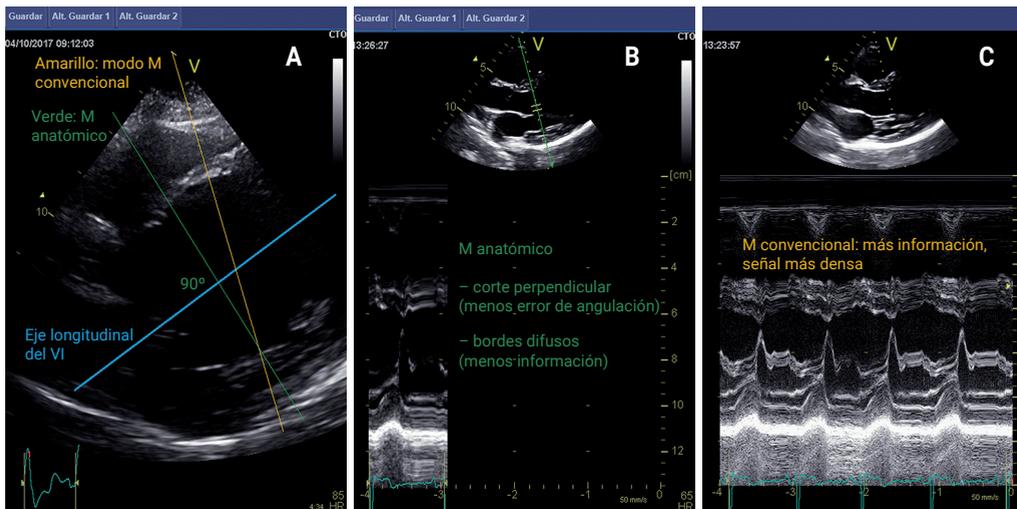


Figura 2.1-11. Método para medir con modo M anatómico.

- A)** Corte paraesternal longitudinal en eje largo. Se puede observar que el eje largo del ventrículo izquierdo sube hacia arriba y a la izquierda (del paciente), lo que dificulta el corte perpendicular en modo M normal (línea amarilla), pero no en anatómico (línea verde).
- B)** Imagen en modo M anatómico. Obsérvese que la imagen es más difusa y pixelada que el modo M normal **C)**, debido a que tiene menos resolución.

En la **fibrilación auricular**, los ciclos son irregulares, y las medidas son variables latido a latido (**Fig. 2.1-12**). Para poder dar una medida fiable, se recomienda que sea la media de varios ciclos, que deben seleccionarse en ciclos de frecuencia similar a la normal (entre 60 y 90 lpm, entre 670 y 1.000 milisegundos). Hay que despreciar los valores de ciclos muy cortos o muy largos. La **figura 2.1-12** muestra la variabilidad de medidas ventriculares, según la frecuencia en un paciente en fibrilación auricular. Esta recomendación para obtener valores medios en la fibrilación auricular sirve para cualquier medida, ya sea con modo M, bidimensional o dópler.

Ecocardiografía bidimensional

Técnica. La imagen del ventrículo izquierdo desde cortes apicales permite estimar tanto el área ventricular por planimetría como realizar estimaciones de volumen (**Fig. 2.1-13**). La forma más fiable de estimar el volumen es el método de Simpson, que lo hace segmentando el ventrículo en

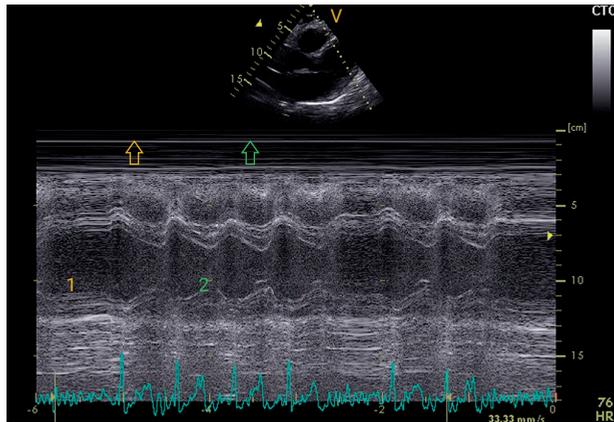


Figura 2.1-12. Corte en modo M del ventrículo izquierdo en un paciente en fibrilación auricular. Se puede apreciar la gran variabilidad del diámetro ventricular, dependiendo de la frecuencia. Debe evitarse medir en ciclos muy cortos o muy largos, y promediar ciclos de frecuencias próximas a 70 lpm.

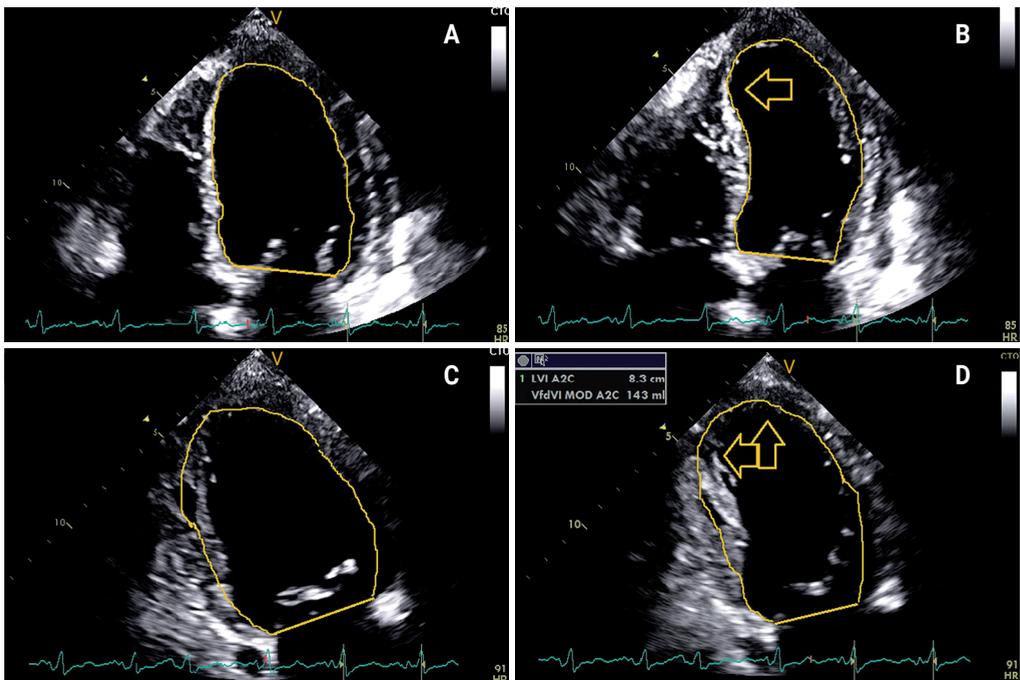


Figura 2.1-13. Estimación de volúmenes en diástole A) y C) y sistole B) y D).
A) y B) Paciente con alteraciones de la contractilidad por un infarto septal medio y apical (la flecha marca el infarto).
C) y D) Miocardiopatía dilatada, que muestra una marcada dilatación y un remodelado esferoideo. Cuando existan músculos papilares que interrumpan el contorno del endocardio, deben quedar dentro de la cámara ventricular, como en C) y D).

cilindros (v. **Fig. 2.1-1C**), y que se puede realizar en un plano apical de cuatro cámaras o, mejor, en dos planos ortogonales, que serán los de cuatro y dos cámaras.

El área por planimetría permite estimar la **fracción de acortamiento de área** (al *Área en diástole* se le resta el *Área en sístole*, dividido entre el *Área en diástole*), así como el volumen por el método de área-longitud, que el equipo hace de forma automática cuando se traza el contorno de la cámara. **La estimación del volumen** en telediástole (en el pico de la R del ECG) y sístole (punto de mayor aproximación de las paredes) permite calcular la FEVI.

Es frecuente que sea difícil ver algunos segmentos, en especial para la cara anterior en el plano apical de dos cámaras. Para evitarlo, se le puede pedir al paciente que inspire o espire profundamente, porque cuando se mueve el corazón, a veces es posible ver paredes que se ocultaban. Para delimitar bien el endocardio, suele ser útil bajar la compresión de la imagen, aumentando la ganancia, y modificar la posición del foco. Es necesario hacer las medidas en **apnea**, para que la movilidad del corazón no afecte a los valores obtenidos.

Cuando todo esto no es suficiente, puede usarse la inyección de contraste de ecocardiografía. Existen distintos **contrastes** que se inyectan por vía intravenosa, y que permiten visualizar el contorno ventricular (**Fig. 2.1-14**). El uso de contraste aproxima la fiabilidad de las medidas de volumen y la FEVI a las de la eco tridimensional y la cardiioresonancia, y reduce la variabilidad intra e interobservador.

Ventajas. La observación del ventrículo izquierdo desde los tres planos apicales permite valorar la totalidad de los segmentos, y ofrece una visión integral de la contractilidad global y segmentaria (v. **Fig. 2.1-2**). El método de Simpson biplano es independiente de la forma de la cámara, y es el más recomendable.

Limitaciones. En la **tabla 2.1-3 (Fig. 2.1-15 a 2.1-17)**, se muestran los problemas más frecuentes en la determinación de la FEVI con eco en 2D. Es de especial importancia evitar obtener falsos cortes apicales. Los cortes del ventrículo izquierdo desde espacios intercostales altos ofrecen imágenes en las que la parte que debería corresponder a la punta es en realidad la cara anterior, y el eje largo está falsamente acortado (**Fig. 2.1-17**). Es frecuente que este tipo de imagen se vea mejor que un verdadero apical, ya que la cara anterior está más pegada a la pared torácica. Para evitarlo, hay que buscar el corte desde el espacio intercostal más bajo posible, y fijarse en que el verdadero ápex es más

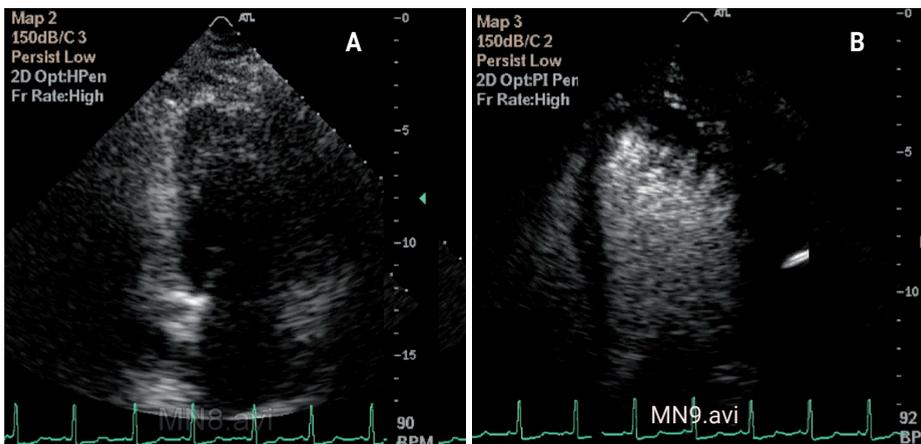
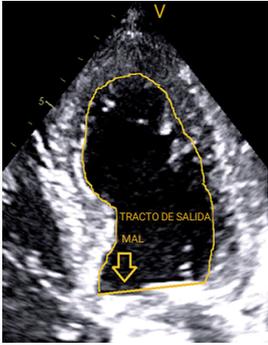
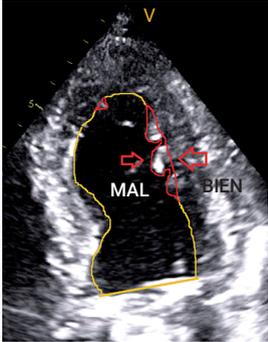
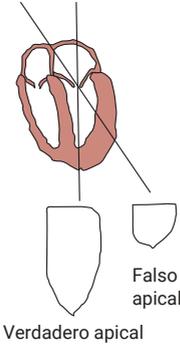


Figura 2.1-14. Estimación de los volúmenes con contraste. Plano apical de cuatro cámaras.

- A) Sin contraste.
- B) Con contraste.

Tabla 2.1-3. Problemas más frecuentes en la determinación de la fracción de eyección con eco en 2D

Imagen	Error	Cómo evitarlo
	<p>Incluir el tracto de salida del ventrículo izquierdo</p> <p>Figura 2.1-15. Plano apical tomado entre uno de cuatro cámaras y uno de cinco (cuatro cámaras y aorta). La planimetría del ventrículo izquierdo incluye una parte del tracto de salida, lo cual es incorrecto</p>	<p>Para evitarlo, hay que obtener un plano apical de cuatro cámaras, y no de cinco. No se debe bascular la sonda hacia adelante</p>
	<p>Excluir los músculos y trabéculas</p> <p>Figura 2.1-16. Plano apical de cuatro cámaras. Una forma de demarcar el contorno del endocardio en presencia de músculos papilares (flecha), que se consideran parte de la cámara ventricular y quedan dentro de ella</p>	<p>Los músculos y trabéculas son parte del volumen a medir. Deben envolverse por fuera, según la línea roja externa</p>
	<p>Tomar falsos planos apicales</p> <p>Figura 2.1-17. Esquema que muestra la obtención de los cortes bidimensionales en el tórax. El uso de espacios intercostales más altos A) ofrece imágenes similares a verdaderos apicales, más bajos B), pero con ventrículos más cortos y con menor volumen, en los que la supuesta punta es en realidad la cara anterior. Es frecuente que se vea mejor el falso plano B) que el verdadero A)</p>	<p>Hay que explorar el ápex desde los espacios intercostales más bajos en los que se pueda obtener una imagen. La punta real suele ser más delgada y menos móvil</p>

fino que el resto de las paredes. La falsa punta, que en realidad es la cara anterior, es gruesa, tiene un engrosamiento sistólico y es más redondeada.

Otras técnicas

Existen formas de estimar la función ventricular sistólica que no dependen de la anatomía ventricular. Pueden ser de gran utilidad en presencia de limitaciones de la ventana ecográfica, cuando existen alteraciones muy marcadas de la contractilidad segmentaria, para evaluar las anomalías sutiles de la

contractilidad que aún no se manifiestan, como la reducción de la movilidad de las paredes, y para controlar el efecto de las intervenciones sobre la contractilidad ventricular en un mismo paciente. En una de ellas, se indica su equivalente para la función ventricular derecha.

Gasto cardíaco por dópler

En el tema *Hemodinámica cardíaca*, se explica la forma de estimar el gasto cardíaco usando el dópler pulsado en el tracto de salida del ventrículo izquierdo (TSVI) (**Fig. 2.1-18**). Este método presenta una importante variabilidad intra e interobservador, en buena parte debida a las limitaciones para la medida del TSVI. En general, no se considera adecuado para comparar la función ventricular entre diferentes individuos. Su utilidad principal es monitorizar variaciones del gasto, en especial, para controlar las medidas terapéuticas en pacientes críticos: como el tracto de salida del paciente no varía, los cambios de la integral del flujo (VTI), medido con dópler pulsado en el TSVI, serán un reflejo directo de las variaciones del gasto cardíaco (**Fig. 2.1-18**). Puede usarse de la misma manera para estimar el gasto derecho en el tracto de salida del ventrículo derecho, y para estimar cortocircuitos cardíacos, calculando el cociente Qp/QS.

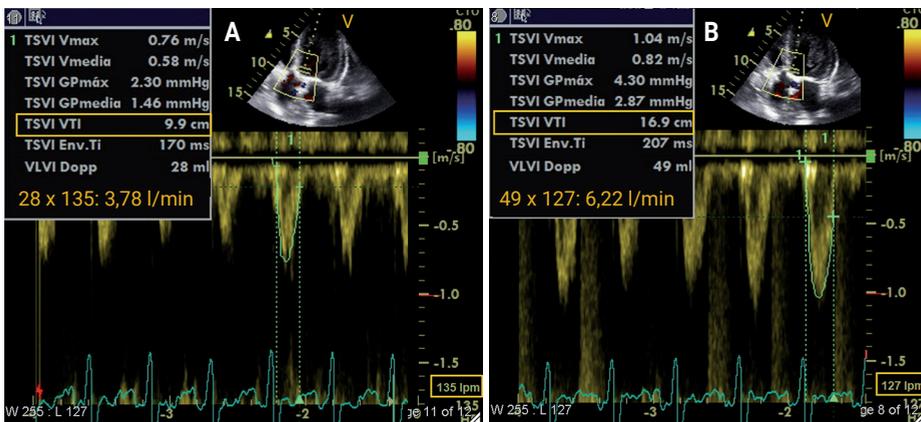


Figura 2.1-18. Estimación del gasto cardíaco. Plano apical de cuatro cámaras con aorta, con el volumen de muestra de dópler pulsado situado en el tracto de salida del ventrículo izquierdo.

- A)** Las secuencias de dópler muestran la curva de flujo basal.
- B)** Tras la dobutamina y la infusión de volumen, la variación de la curva de flujo refleja directamente el aumento del volumen de eyección y del gasto cardíaco, ya que el tracto de salida del paciente es siempre el mismo. Se puede observar que como la integral del flujo casi se duplica (de 9,9 cm a 16,9 cm), el volumen de eyección estimado (VLVI Dopp) y el gasto (abajo, en amarillo) hacen lo mismo.

Dópler tisular

El dópler tisular permite mapear la velocidad con la que se mueve una porción de tejido durante la sístole, y refleja por ello la función sistólica. Desde un punto de vista práctico, y de cara a valorar la función sistólica, se usa para valorar la velocidad de desplazamiento de los distintos segmentos del anillo mitral hacia el ápex, en un plano apical de cuatro cámaras. Esa velocidad refleja la contracción de los segmentos situados por encima del anillo (basal, medio y apical de cada cara). Para esta medida, debe conseguirse una alineación lo más paralela posible al movimiento apical del anillo (**Fig. 2.1-19**).

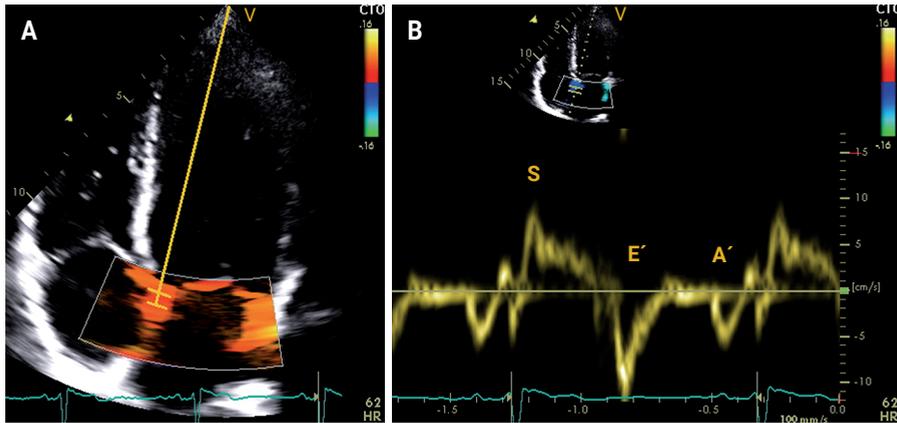


Figura 2.1-19. Función sistólica estimada por dópler tisular.

- A)** Corte apical de cuatro cámaras que muestra la forma de colocar el volumen de muestra del dópler tisular en color en el anillo septal mitral.
- B)** Mapa de velocidad del anillo mitral septal, que muestra una onda sistólica amplia (S), indicativa de una buena contractilidad de los segmentos septales implicados en el desplazamiento del anillo. La existencia de una onda E' mayor que la A' indica una buena relajación septal, que sugiere la ausencia de enfermedad del músculo cardíaco.

La valoración de la velocidad sistólica de los segmentos del anillo mitral refleja la función sistólica global si la contractilidad segmentaria es homogénea. Su reducción aparece antes de la caída de la FEVI, y es un indicador de enfermedad del músculo cardíaco, útil para identificar miocardiopatías, miocarditis y daño por quimioterapia, antes aún de que caiga la FEVI. Deja de reflejar la función global cuando existen alteraciones de la contractilidad segmentaria en la cara en la que se estudia la velocidad del anillo. Los valores normales son de 7 cm/s o más en el anillo septal; y de 10 cm/s, en el anillo lateral. La función sistólica ventricular derecha puede valorarse haciendo esta misma medida en el anillo lateral de la tricúspide. El valor normal de velocidad del anillo tricúspide con dópler tisular es de 10 cm/s o mayor.

Estimación de dP/dt mediante la tasa de ascenso de presión (RPR)

Cuando existe una insuficiencia mitral, se puede registrar la curva de la velocidad de la regurgitación con el dópler continuo, colocando el cursor en el orificio regurgitante, bien alineado con el chorro de la insuficiencia mitral (**Fig. 2.1-20**). Esa curva se debe a la generación de presión en el ventrículo izquierdo durante toda la sístole. La primera derivada de esa curva (dP/dt) refleja la máxima velocidad de generación de presión, y es un parámetro de contractilidad global relativamente independiente de la carga. La pendiente con la que se acelera el flujo (RPR, *Rate of Pressure Rise*) se asimila a la dP/dt . Se calcula midiendo el tiempo que tarda la curva en pasar de 1 a 3 m/s. El valor de RPR se calcula como 32 dividido entre el tiempo obtenido (en segundos), y se expresa en mm Hg/s. Es normal por encima de 1.200 mm Hg/s para el ventrículo izquierdo.

Su utilidad principal es la detección inmediata de cambios de la contractilidad debidos a las medidas terapéuticas. Para estimar el RPR en el ventrículo derecho (VD), debe hacerse en la insuficiencia tricúspide. En este caso, el tiempo para RPR se mide entre velocidades de 1 y 2 m/s. Como la diferencia de presión es de 12 mm Hg, se calcula como $RPR_{VD} = 12/\text{tiempo}$. Se considera anormal una cifra por debajo de 400 mm Hg/s.

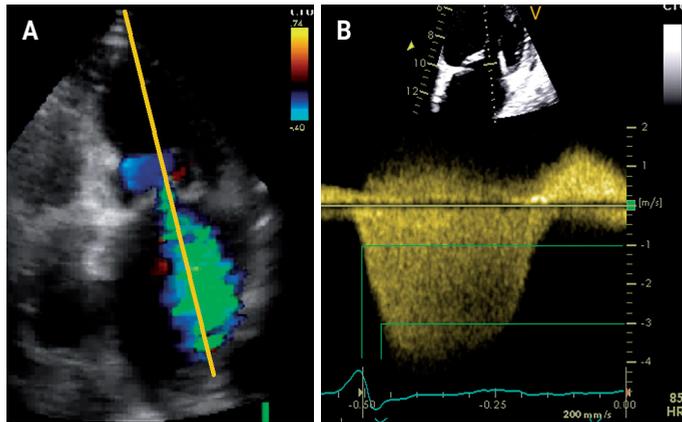


Figura 2.1-20. Función sistólica estimada por dP/dt .

- A)** Corte apical de cuatro cámaras con dópler a color en un paciente con insuficiencia mitral. Se muestra la forma de colocar el cursor del dópler continuo en la curva de la insuficiencia mitral.
- B)** La imagen dópler muestra el perfil de la curva de velocidad de la insuficiencia mitral. Cuanto más lentamente se acelera, peor es la función ventricular. Se muestra la fórmula para el cálculo de la pendiente con la que se acelera el flujo (RPR, *Rate of Pressure Rise*). Se mide un valor de RPR (dP/dT) de 533 mm Hg/s, que refleja una contractilidad global deprimida en este paciente.

Índice de funcionamiento global o de Tei

Los tiempos de contracción y relajación ventricular pueden obtenerse con facilidad mediante el dópler, y se correlacionan con otros parámetros de la función sistólica. Es común encontrar en los textos de ecocardiografía el índice de Tei, que refleja tanto la función sistólica como la diastólica, y que por ello se denomina también de rendimiento global. No obstante, es raro que aparezca en informes clínicos (Fig. 2.1-21).

Su valor será mayor cuanto peor sea la función ventricular. Puede estimarse también con el dópler tisular en cualquier segmento, donde los valores pueden variar de segmento a segmento, de modo que este autor cree preferible usar la técnica con dópler pulsado de flujo. Para el ventrículo izquierdo, el valor normal en personas sanas es de 0,39. Puede estimarse también para la función ventricular derecha, para lo que se usa el dópler tisular en el anillo para medir los tiempos. Para el ventrículo derecho, el índice de Tei es normal hasta 0,55.

Contractilidad segmentaria del ventrículo izquierdo

La contracción de cada segmento se puede valorar como normal, hipocinética (cuando el movimiento es menor del resto de los segmentos), acinética (cuando no hay desplazamiento) y discinética (cuando se desplaza el segmento hacia afuera en sístole). Se puede calcular el índice de movilidad parietal (IMP) asignando un valor numérico a cada uno de ellos (1: normal; 2: hipocinesia; 3: acinesia; y 4: discinesia). Se asigna un valor de 5 a los segmentos que constituyen un aneurisma, es decir, una dilatación sacular con pared adelgazada y movimiento discinético.

El IMP se obtiene como la suma de todos los valores, dividida entre el número de segmentos valorados. Un valor de 1 significa una contractilidad global y segmentaria normal. Cuanto mayor sea el IMP, peor es la función global. Se trata de una medida común en el ecocardiograma de estrés, ya que en esta técnica se evalúa de forma sistemática y obligada la contractilidad de cada segmento. Tiene buena correlación con la FEVI y puede aplicarse en el ecocardiograma transtorácico normal.

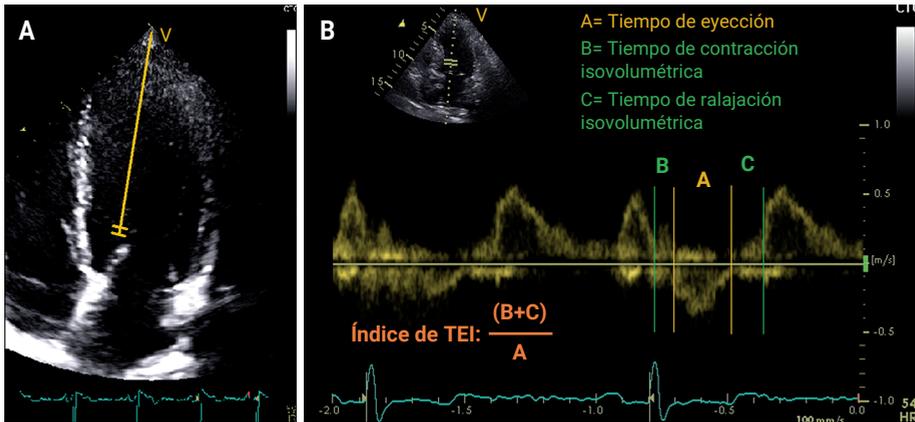


Figura 2.1-21. Estimación del índice de funcionamiento global (índice de Tei).

- A)** Se puede calcular con dópler pulsado desde un corte apical de cinco cámaras, colocando el volumen de muestra entre el tracto de salida del ventrículo izquierdo y el borde ventricular del velo septal de la mitral.
- B)** Se obtienen así, de forma simultánea, los flujos de eyección y las ondas e y a del llenado transmitral (A y e/a en la figura). El índice de Tei se obtiene como la suma de los tiempos de contracción y relajación isovolumétrica (B y C) dividida entre el tiempo de eyección (A), y carece de dimensiones. Sobre el registro dópler (derecha) se marcan los tiempos necesarios para calcular el índice de Tei y su fórmula.

Función ventricular derecha

Los pilares para el análisis de la función del ventrículo derecho son las medidas lineales y del área del ventrículo y el análisis del desplazamiento del anillo tricúspide, bien con modo M, bien con dópler tisular. Otras técnicas de valoración se han citado ya en el apartado de anatomía ventricular.

Medidas ventriculares derechas

En la **figura 2.1-22**, se puede observar la forma de **medir el área del ventrículo derecho** en un plano apical de cuatro cámaras. Es posible calcular la fracción de acortamiento del área dividiendo la diferencia entre las áreas en sístole y diástole y el área en diástole, es decir, calculando el porcentaje en el que se reduce el área. Será normal por encima del 35 %.

En la **figura 2.1-23**, puede verse la forma de **medir el diámetro basal del ventrículo derecho y la longitud base-ápex**, en el mismo plano. Con ambos puede obtenerse un valor de acortamiento fraccional, igualmente relacionado con la fracción de eyección del ventrículo derecho (FEVD). Se deben considerar las mismas limitaciones de carga y frecuencia para las medidas equivalentes de la FEVD que para las de la FEVI. Asimismo, hay que ser cuidadosos en obtener un verdadero corte apical.

La **tabla 2.1-4** muestra los valores de referencia para la medición de diámetros y áreas ventriculares derechos. Al igual que cuando se estima la FEVI, la dilatación del ventrículo derecho deberá hacer plantearse la pérdida de la función ventricular como una posibilidad, además de la existencia de una sobrecarga de volumen (insuficiencia tricúspide) o de presión (hipertensión pulmonar).

Desplazamiento apical sistólico del anillo lateral del ventrículo derecho (TAPSE)

El desplazamiento apical de los anillos mitral y tricúspide está estrechamente relacionado con la función sistólica, y se correlaciona con la fracción de eyección de cada uno de los ventrículos. Son

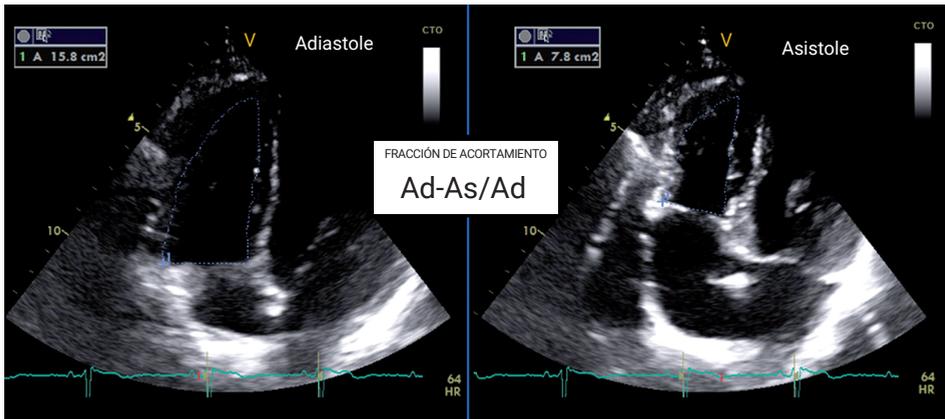


Figura 2.1-22. Estimación de áreas y cambio fraccional del área del ventrículo derecho. Planimetría del ventrículo derecho en diástole (izquierda) y sístole (derecha). El cociente de las áreas es la fracción de reducción de área, correlacionada con la fracción de eyección del ventrículo derecho.

parámetros de fácil obtención con modo M. Dada la dificultad de obtener la fracción de eyección del ventrículo derecho, el TAPSE (*Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion*) se ha convertido en la forma más habitual de estimar la función ventricular derecha. En la **figura 2.1-24**, puede verse la forma en la que ha de hacerse la medida.

TAPSE: Es importante evitar el desplazamiento del corazón por la ventilación, midiendo en apnea, y centrar el ventrículo derecho para medir el desplazamiento del anillo de la forma más paralela posible al haz de ultrasonido. Se considera anormal un TAPSE por debajo de 18 mm.

Correlaciona bien con la FEVD, y su alteración tiene una correlación con el pronóstico de los pacientes con hipertensión pulmonar y en la insuficiencia cardíaca derecha. No obstante, aparece anormalmente bajo en pacientes a los que se ha practicado una pericardiotomía para cirugía cardíaca,

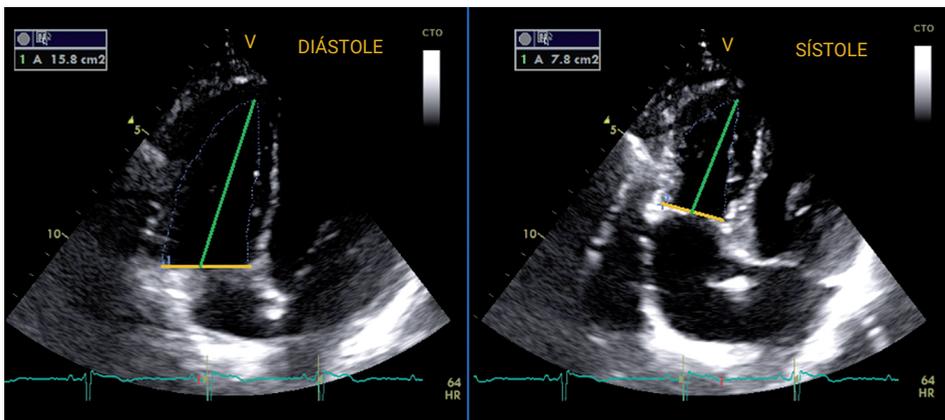
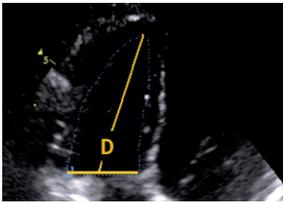
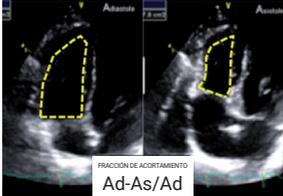
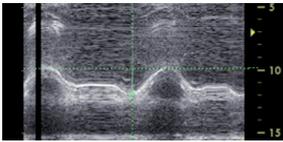
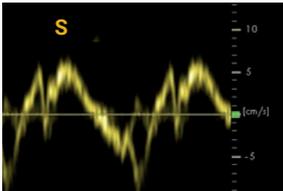


Figura 2.1-23. Estimación del diámetro del ventrículo derecho. Imágenes del ventrículo derecho desde el plano apical de cuatro cámaras en sístole y diástole. Se indica la forma de medir el diámetro transversal del ventrículo derecho en la zona del anillo tricúspide y el eje longitudinal.

Tabla 2.1-4. Valores de referencia de las medidas del ventrículo derecho

Plano y ejemplo	Medida	Límite normal
	Diámetro telediastólico basal del ventrículo derecho en un plano apical de cuatro cámaras	40 mm o menor
	Longitud base-ápex del ventrículo derecho en un plano apical de cuatro cámaras (diástole)	83 mm o menor
	Área ventricular diastólica en un apical de cuatro cámaras	Hasta 28 cm ²
	Área ventricular sistólica en un apical de cuatro cámaras	Hasta 16 cm ²
	Fracción de acortamiento del ventrículo derecho en un apical de cuatro cámaras	35% o mayor
	TAPSE (desplazamiento apical de la porción lateral del anillo tricúspide)	17 mm o mayor
	Velocidad del anillo lateral de la tricúspide, medida con dópler tisular	10 cm o más

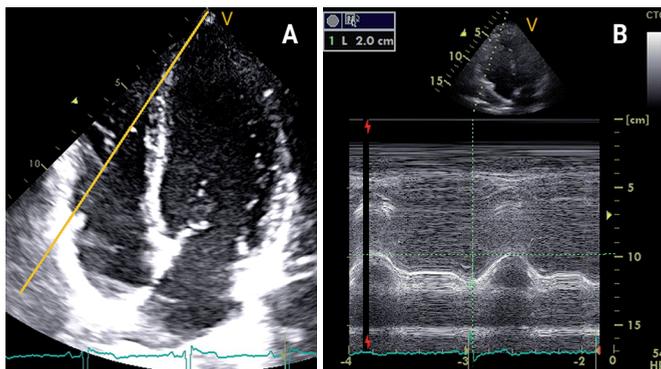


Figura 2.1-24. Estimación del TAPSE (*Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion*).

- A) Plano apical de cuatro cámaras centrado en el ventrículo derecho. Se muestra la posición del cursor en modo M para la medida del desplazamiento apical del anillo lateral de la válvula tricúspide.
 B) Registro en modo M, en el que se marca la medida de TAPSE.

Tema 1: Función sistólica

por lo que no es valorable en personas operadas. También aumenta en la insuficiencia tricúspide grave. En estos casos, es aconsejable utilizar los parámetros de acortamiento de área y del diámetro transversal.

BIBLIOGRAFÍA

- Armstrong WF, Ryan T (editores). Feigebaum's Echocardiography. 8th ed. Lippincott Williams & Wilkins; 2018.
- Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16:233-70.
- Oh JK, Seward JB, Tajik AJ. *The Echo Manual*, 3th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.