

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

# Geometría ventricular e insuficiencia cardíaca

Juan José Gómez Doblas\*, Eduardo de Teresa\* y Gervasio A. Lamas\*\*

\*Servicio de Cardiología. Hospital Universitario Virgen de la Victoria. Málaga.

\*\*Division of Cardiology. Mount Sinai Medical Center. Miami Beach. Florida. EE.UU.

*análisis multivariante / anatomía / Captopril / consumo de oxígeno / disfunción ventricular derecha / disfunción ventricular izquierda / estudio de casos y controles / estudios de seguimiento / evolución / factores pronósticos / función ventricular*

El estudio de la geometría ventricular ha despertado cierto interés en los últimos años. Tras una etapa en la década de los 60 y 70 en la que el interés se centró en la fisiología cardíaca y el papel de la geometría ventricular sobre ésta, disponemos de nuevos estudios sobre el valor clínico de la morfología normal o distorsionada del ventrículo izquierdo.

Por otro lado, se describen nuevos métodos de valoración de la geometría ventricular. El uso de técnicas sencillas para evaluar la geometría ventricular permite conocer el valor clínico de la distorsión geométrica en pacientes con insuficiencia cardíaca. La sospecha de que la transformación en la forma del ventrículo izquierdo hacia la esfericidad tiene valor pronóstico ha aumentado el interés sobre este tema. Si la geometría ventricular alterada es un mejor parámetro que los índices de la función ventricular habitualmente utilizados es objeto de análisis. Asimismo nuevas terapéuticas quirúrgicas que intentan mejorar esta geometría alterada y por tanto favorecer el pronóstico clínico de los pacientes con insuficiencia cardíaca están en desarrollo.

**Palabras clave:** *Insuficiencia cardíaca. Geometría ventricular. Disfunción ventricular.*

## VENTRICULAR GEOMETRY AND HEART FAILURE

In the last years there has been an appreciation of the importance of left ventricular geometry. After a period, in the sixties and seventies, that the interest was focused on cardiac physiology and the left ventricular geometry role about this subject, new studies are available on clinical significance of normal or distorted left ventricular shape.

New assessment methods of ventricular geometry have been described. The use of simple measurements to assess ventricular geometry has allowed to know the clinical value of the shape distortion in patients with heart failure. The suspicion that left ventricular shape change to sphericity has prognosis value, has raised the interest about this subject. Whether distortion of left ventricular shape is an even better parameter than cardiac function indices normally used is under consideration. Moreover, new surgical therapies have been developed in an attempt to improve the ventricular geometry and to get better clinical prognosis in patients with heart failure.

**Key words:** *Heart failure. Ventricular dysfunction. Ventricular geometry.*

(*Rev Esp Cardiol* 1999; 52: 47-52)

## INTRODUCCIÓN

El estudio de la geometría ventricular ha despertado cierto interés en los últimos años. Tras una etapa en la década de los 60 y 70 en la que el interés se centró en la fisiología cardíaca y el papel de la geometría ventricular sobre ésta, han aparecido estudios sobre el valor clínico de la morfología normal o distorsionada del ventrículo izquierdo. Asimismo, nuevas terapéuticas quirúrgicas que intentan mejorar esta geometría alterada están en desarrollo. En esta revisión pretendemos repasar qué se conoce actualmente sobre este tema.

Correspondencia: Dr. J.J. Gómez Doblas.  
Servicio de Cardiología. Hospital Universitario Virgen de la Victoria.  
Campus Teatinos, s/n. 29010 Málaga.  
Correo electrónico: jgomez@inforvip.es

## GEOMETRÍA VENTRICULAR. PAPEL EN LA FISIOLÓGÍA CARDÍACA

Los cambios dinámicos de la geometría del corazón humano a lo largo del ciclo cardíaco reflejan una adaptación a dos estados fisiológicos diferentes (sístole y diástole) en los cuales el grosor y la curvatura del ventrículo varían drásticamente<sup>1</sup>.

El interés sobre la geometría ventricular se remonta a los estudios de Woods en 1892. Este autor intuye la relación entre la forma y el tamaño del corazón con la mecánica simple cardíaca<sup>2</sup>. Es en la década de los 50 cuando Burton refiere que el aumento de los volúmenes cardíacos junto con un aumento en el radio interno del ventrículo lleva a una mayor tensión o estrés de pared<sup>3</sup>. Estos datos son posteriormente verificados de forma experimental por Burns y Hefner<sup>4,5</sup>.

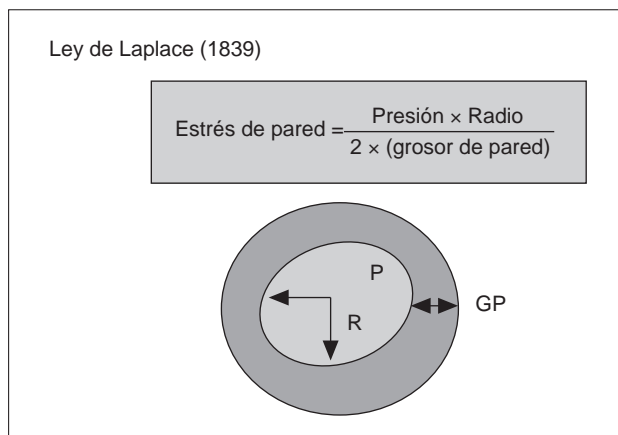


Fig. 1. Ley de Laplace para un ventrículo esférico. La ley de Laplace es una función que predice la tensión de pared a partir de la presión de distensión ventricular, el radio de la curvatura y el grosor de la pared. Un incremento en el tamaño del ventrículo y, por tanto, del radio o de la presión desarrollada por el ventrículo izquierdo aumenta la tensión de pared. Un aumento de la tensión de pared por cualquiera de estos mecanismos incrementa el consumo miocárdico de oxígeno.

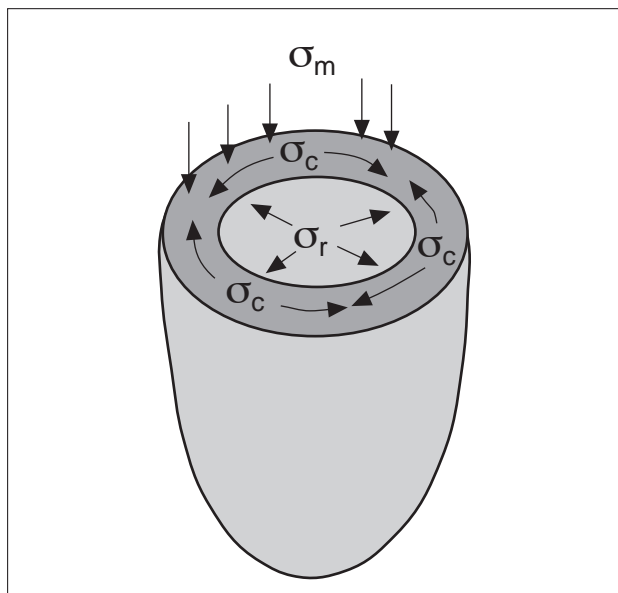


Fig. 2. El estrés o tensión de pared se considera que actúa en tres direcciones: circunferencial, meridional o longitudinal y radial. En condiciones normales la tensión circunferencial es la mayor fuerza generada contra la pared ventricular;  $\sigma_m$ : estrés meridional;  $\sigma_r$ : estrés radial;  $\sigma_c$ : estrés circunferencial.

Esta relación es entendida por la aplicación de la ley de Laplace, que predice que el estrés de pared es una función de la presión de distensión, el radio de la curvatura y el grosor de la pared (fig. 1).

Según este principio, a mayor presión desarrollada por el ventrículo izquierdo mayor tensión de pared y, asimismo, ante mayor dilatación ventricular, y por tanto mayor radio, es superior la tensión a la que es sometida la pared ventricular<sup>6</sup>. Por otro lado, la tensión de pared

es inversamente proporcional a la curvatura de la pared. Así, aumentos en la esfericidad ventricular llevan a la redistribución regional de la tensión de pared.

El estrés sistólico y el diastólico son importantes determinantes de la función miocárdica y tienen una influencia significativa sobre el consumo de oxígeno<sup>7</sup>. Por tanto, es posible que alteraciones de la geometría ventricular puedan afectar de forma adversa a la función global cardíaca, independientemente de la capacidad funcional intrínseca del miocardio. Un mejor conocimiento de las características morfológicas del ventrículo izquierdo puede ayudarnos a valorar mejor la función miocárdica y a predecir el pronóstico de nuestros pacientes.

Los primeros estudios no experimentales fueron realizados por Gould en sujetos normales y con disfunción miocárdica de distinta etiología. Este autor demuestra cómo pacientes con mala función ventricular presentan ventrículos geoméricamente más esféricos y con mayor estrés de pared que aquellos con ventrículos de morfología normal<sup>8</sup>. Laskey en 9 pacientes con miocardiopatía dilatada idiopática y en 7 sujetos con función ventricular normal encontró datos similares. Los pacientes con miocardiopatía dilatada se caracterizaban por una morfología más esférica del ventrículo izquierdo y por aumento del estrés de pared<sup>9</sup>. Borow, también en pacientes con miocardiopatía dilatada idiopática, encontraba ventrículos más esféricos que en condiciones normales y con mayor tensión telesistólica de pared. Además, los ventrículos más esféricos reflejaban una contractilidad más severamente deprimida medida como la relación estrés de pared-velocidad de acortamiento y que se reflejaba además por una respuesta atenuada a la infusión de inotropos como dobutamina<sup>10</sup>.

Estos estudios y los de otros autores demuestran que los ventrículos más esféricos tienen un mayor estrés de pared pero también que tienen una distribución anormal de éste<sup>8-13</sup>. Esta distribución anormal del estrés se refleja como una tasa estrés circunferencial/estrés longitudinal disminuida. Para comprender esto debemos recordar que el estrés o tensión de pared actúa en tres direcciones que son mutuamente perpendiculares: estrés meridional o longitudinal, estrés circunferencial y estrés radial (fig. 2). En condiciones normales el estrés circunferencial es la mayor fuerza generada contra la pared ventricular y el estrés radial puede considerarse despreciable<sup>14</sup>. En pacientes con disfunción ventricular se produce una elevación del estrés circunferencial y longitudinal pero sobre todo existe un aumento del estrés longitudinal. Esta distribución de la carga hacia el plano longitudinal viene expresada por esta disminución de la tasa de estrés circunferencial/longitudinal en pacientes con miocardiopatía y ventrículos esféricos con respecto a sujetos normales y ventrículos de forma elipsoide.

La mayoría de los datos referidos se han obtenido de pacientes con miocardiopatía dilatada idiopática

pero distintos grupos han encontrado una tendencia a la esfericidad ventricular en pacientes con estenosis aórtica y función ventricular deprimida<sup>15</sup>, insuficiencia mitral con o sin función ventricular deprimida<sup>16,17</sup>, en regurgitación aórtica<sup>17</sup>, defectos del septo interventricular con alto flujo<sup>18</sup> y en cardiopatía isquémica con función ventricular deprimida<sup>19</sup>.

La distorsión morfológica del ventrículo izquierdo aumenta el consumo miocárdico de oxígeno a través del aumento de tensión parietal descrito previamente. Es probablemente por este mecanismo por el que se produce el efecto deletéreo del cambio geométrico ventricular<sup>6,7</sup>.

Existen datos actuales que implican a las alteraciones en la geometría ventricular izquierda como el determinante principal de la aparición de regurgitación mitral funcional en cardiopatía isquémica y miocardiopatía dilatada. Sabbah y Kono han realizado una serie de interesantes estudios sobre este tema<sup>20-22</sup>. Estos autores han demostrado una relación temporal entre el inicio de la regurgitación mitral funcional y el desarrollo de cambios geométricos en el ventrículo, mientras que no fue asociado con aumentos del volumen telediastólico, aumento del diámetro del anillo mitral o alteraciones en la contractilidad de segmentos sobre los que asientan los músculos papilares<sup>22</sup>. En un reciente estudio holandés el aumento de la esfericidad ventricular, antecedentes de infartos recurrentes y asinergia inferoposterolateral fueron los únicos factores independientemente asociados con la presencia de regurgitación mitral funcional en pacientes postinfarto<sup>23</sup>.

## GEOMETRÍA VENTRICULAR Y EVOLUCIÓN CLÍNICA

Lamas en 1989 demostró, por primera vez, la relación entre geometría ventricular y evolución clínica. Se estudió a 40 pacientes tratados con placebo o captopril con infarto agudo de miocardio (IAM) anterior y fracción de eyección inferior al 45% apreciando en el grupo placebo una menor capacidad de ejercicio en los pacientes con mayor esfericidad ventricular<sup>19</sup>. En un estudio similar se encuentra una fuerte correlación entre geometría ventricular y capacidad de ejercicio<sup>24</sup>.

Recientemente, Lamas analizando a un subgrupo de 727 pacientes del estudio SAVE que se sometieron a ventriculografía observa que la presencia de regurgitación mitral es un predictor independiente de mortalidad postinfarto. Es importante recalcar que en este estudio en el 98,6% de los pacientes con regurgitación mitral ésta era de carácter leve (grado I o II). Así, el autor discute que el aumento de la mortalidad no está, por tanto, en la sobrecarga hemodinámica que supone esta regurgitación mitral leve como el reflejo de la distorsión geométrica del ventrículo como se demuestra por los estudios citados de Kono y Sabbah<sup>25</sup> (figs. 3 y 4).

Por otro lado, Lamas analizó el índice de esfericidad sistólico en un subgrupo de pacientes del estudio

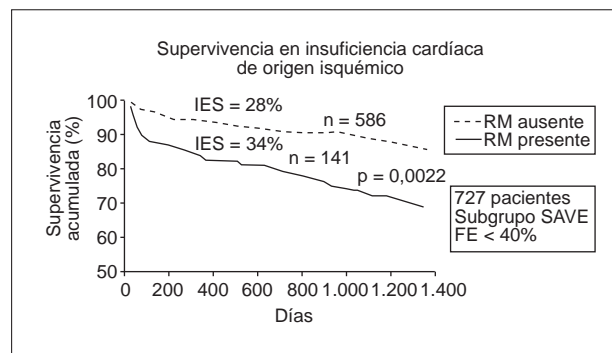


Fig. 3. Análisis de la presencia de regurgitación mitral en pacientes postinfarto y disfunción ventricular. La presencia de regurgitación mitral de cualquier grado supone un factor predictor independiente de mortalidad a largo plazo. Asimismo, la regurgitación mitral incluso leve se relaciona directamente con una mayor esfericidad ventricular; FE: fracción de eyección; RM: regurgitación mitral (tomada de *Circulation* 1997; 96: 827-833).

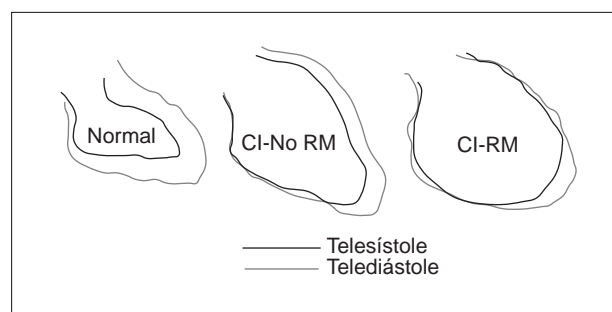


Fig. 4. La presencia de regurgitación mitral funcional en presencia de disfunción ventricular izquierda parece estar relacionada con una distorsión de la geometría ventricular hacia la esfericidad como se demuestra en los estudios de Kono y Sabbah; RM: regurgitación mitral; CI: cardiopatía isquémica.

SAVE y lo correlacionó de forma prospectiva con su evolución clínica durante un período de seguimiento de 3,5 años. El aumento de esfericidad ventricular predijo un aumento progresivo de la aparición de eventos cardiovasculares como insuficiencia cardíaca o mortalidad cardiovascular. Tras el análisis multivariable el índice de esfericidad sistólica persistía como factor predictor de evolución clínica independientemente de la fracción de eyección. Ello sugiere a los autores que la distorsión ventricular hacia la esfericidad es un componente pronóstico anterior a la disfunción contráctil en supervivientes de un infarto de miocardio<sup>26</sup>.

Douglas estudió a 36 pacientes con miocardiopatía dilatada idiopática con un seguimiento de 52 meses. Refiere en sus resultados que una peor supervivencia se asoció con un ventrículo izquierdo más esférico y una más uniforme distribución de la poscarga expresada como una disminución del índice estrés circunferencial/longitudinal<sup>11</sup>.

En un trabajo de Matitau en niños menores de 2 años con miocardiopatía dilatada la peor evolución y la ma-

yor mortalidad se asociaron con una morfología más esférica y con una función ventricular severamente deprimida en el momento de la presentación clínica inicial<sup>27</sup>.

Nosotros, en un estudio sobre 149 pacientes con insuficiencia mitral crónica sintomática sometida a reparación o sustitución valvular quirúrgica, analizamos la mortalidad perioperatoria en función de las variables clínicas, hemodinámicas y ventriculográficas preoperatorias. Tras un análisis multivariable sólo encontramos como factores predictores independientes de mortalidad a la presencia de IAM previo y una esfericidad ventricular sistólica aumentada expresada por el índice sistólico de esfericidad<sup>28</sup>.

Es importante mencionar que en muchos de estos estudios no siempre se encontraba una relación clara entre fracción de eyección o volúmenes telesistólico y telediastólico con la mortalidad o una mala evolución clínica. Sin embargo, la geometría ventricular distorsionada hacia la esfericidad fue un mejor predictor pronóstico que estos índices. Algunos datos que pueden aclarar esta situación se exponen a continuación.

La fracción de eyección es un índice de la función ventricular convencionalmente usado por su facilidad de cálculo y disponibilidad. Sin embargo, puede verse afectada por cambios en la precarga y, sobre todo, en la poscarga. Para evitar estas dependencias se han usado otros índices de función ventricular que puedan ser relativamente independientes de la precarga y de la poscarga. En el estudio de Borow usando el índice estrés de pared-velocidad de acortamiento o en el estudio de Yoshikawa usando el índice estrés de pared telesistólico-volumen telesistólico se encontró un cierto paralelismo entre geometría ventricular hacia la esfericidad y disminución de la función ventricular medida por estos parámetros. Esto puede explicar por qué en la mayoría de los estudios clínicos la geometría ventricular fue mejor predictor de evolución pronóstica que la fracción de eyección o los volúmenes ventriculares. Probablemente esto indica que la geometría ventricular es un mejor indicador de la función ventricular que los índices de la fase de eyección y con una menor dependencia de la precarga y la poscarga.

Otro factor de interés es cómo la geometría ventricular alterada puede verse modificada tras una actuación terapéutica, ya sea farmacológica o no. En el estudio de Lamas que valoraba la importancia de la morfología ventricular y la capacidad de ejercicio se analizaron dos grupos. Un grupo aleatorizado a tratamiento con captopril y un grupo placebo. En el grupo tratado con captopril con la misma distorsión basal de la forma ventricular mejoró la capacidad de ejercicio a través de una reducción del estrés de pared<sup>19</sup>. En un análisis de un subgrupo de 42 pacientes del estudio SOLVD pertenecientes a los 2 grupos de seguimiento (prevención y tratamiento) se encontró cómo el tratamiento con enalapril conseguía reducir el estrés diastólico frente al grupo placebo. Con respecto a la geometría ventricular,

la esfericidad ventricular aumentó en el grupo placebo durante el seguimiento mientras que disminuyó en el grupo tratado con enalapril<sup>29</sup>.

Hall, en 1995, estudió la función y geometría ventricular en 36 pacientes con miocardiopatía dilatada aleatorizados, a tratamiento con metoprolol o placebo en presencia de tratamiento estándar que incluía IECA. Se analizó la geometría basalmente, a los 3 y a los 18 meses de tratamiento. En los primeros 3 meses no se encontraron diferencias significativas en los 2 grupos con respecto al estudio basal, sin embargo a los 18 meses se apreció una mejoría de la geometría ventricular en el grupo tratado con betabloqueantes<sup>30</sup>.

No existen datos concluyentes sobre los cambios geométricos tras la realización de tratamiento quirúrgico. Recientemente, Ren et al han relacionado la preservación de la función cardíaca en la reparación mitral frente al reemplazo valvular en pacientes con regurgitación mitral con los cambios que se producen en la geometría ventricular<sup>31</sup>. Estos autores encuentran ventrículos más elípticos tras la cirugía de reparación mitral que tras el reemplazo valvular y estos cambios se correlacionan con mejor función ventricular tras la reparación mitral. Tischler ha encontrado datos similares tras cirugía mitral tanto en reposo como con el ejercicio<sup>32</sup>. En una serie de niños con ventrículo único intervenidos con la técnica de Fontan se asoció con una restauración de una forma más elipsoide del ventrículo en comparación con pacientes sometidos a cirugía paliativa con una fístula sistémico-pulmonar<sup>13</sup>. En un grupo de pacientes con defecto septal ventricular el cierre quirúrgico del defecto produjo una reducción de la esfericidad ventricular<sup>18</sup>.

Por otro lado, Batista ha descrito un procedimiento quirúrgico consistente en la extirpación de un segmento de miocardio ventricular acompañado en ocasiones de reparación o reemplazo mitral en pacientes con miocardiopatía dilatada de distinto origen, con el objetivo de reducir los volúmenes ventriculares y mejorar la geometría ventricular. En los resultados iniciales comunicados por el grupo de Cleveland y de Osaka se observa una mejoría de la función ventricular medida como fracción de eyección y una mejoría de la capacidad de ejercicio<sup>33</sup>. Sin embargo, son experiencias preliminares sin datos hasta ahora del pronóstico a largo plazo.

## MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA VENTRICULAR

Es obvio que la mejor forma de estudiar la geometría del ventrículo izquierdo sería el análisis de la pieza anatómica. Esto lógicamente no es posible excepto en estudios experimentales. Por ello se utilizan métodos más o menos indirectos para conocer la morfología ventricular izquierda. Han sido utilizados diferentes métodos. Su gran variedad y la falta de estandarización en su uso hace muchas veces difícil la

valoración de los diferentes estudios clínicos en relación con la geometría ventricular.

El método usado con frecuencia por su sencillez de cálculo es la relación eje mayor/eje menor del ventrículo izquierdo<sup>20</sup>. Puede ser calculado tanto por ecocardiografía como por ventriculografía. En cuanto su valor se acerque a 1, mayor distorsión hacia la esfericidad. Sin embargo, incluso este método simple ha sido calculado de formas muy diferentes. Hay autores que usan el mayor eje transversal y otros usan una media de múltiples ejes transversales medidos. Hay grupos que lo calculan en la proyección del eje corto por ecografía transtorácica mientras que otros lo hacen en el plano apical, ya sea por eco transtorácico o transesofágico.

El índice de excentricidad ha sido usado por varios autores como Vokonas o Fischl y es definido usando un modelo elíptico en el cual L representa el eje largo o mayor y D representa el eje corto o menor. Su índice varía desde 0 para un círculo donde L sería igual a D, a 1 para la máxima forma elíptica (cercano a una línea)<sup>16</sup>.

El índice de geometría circular de Gibson expresa la relación entre el área de la figura geométrica medida y el perímetro de esa figura. Tendrá un máximo valor de 1 cuando la cavidad es totalmente circular y de cero cuando se produce la obliteración de la figura<sup>34</sup>.

A través de una técnica de análisis de Fourier puede obtenerse una mejor cuantificación de la geometría ventricular<sup>17,35</sup>. Sin embargo, su mayor limitación es que es menos intuitiva que otras técnicas, presenta una gran variabilidad y requiere cálculos muy complicados.

Lamas, en 1989, ideó el índice de esfericidad telesistólico y telediastólico (SSI y DSI). Este índice es calculado como el volumen del ventrículo izquierdo obtenido por eco o ventriculografía dividido por el volumen de una esfera hipotética con un diámetro igual al eje mayor del ventrículo izquierdo. A medida que este índice aumenta, la forma del ventrículo izquierdo se aproxima más a la de una esfera. El rango normal para el índice de esfericidad se expone en la **figura 5**<sup>19</sup>. Este método es calculable por angiografía o ecocardiografía. El cálculo del índice de esfericidad no requiere realizar corrección para la magnificación.

No existen estudios comparativos entre todos estos métodos. Sólo Kass comparó el índice de Gibson, el índice de excentricidad y el análisis de Fourier<sup>17</sup>. Si bien el análisis de Fourier parece el más sensible a los cambios geométricos dinámicos del ventrículo izquierdo es una técnica complicada y de difícil aplicación clínica. El método de elección debe ser fácil de calcular y accesible a las disponibilidades tecnológicas de la mayoría de nuestros hospitales.

## GEOMETRÍA VENTRICULAR, FRACCIÓN DE EYECCIÓN Y FUNCIÓN VENTRICULAR

Aunque frecuentemente podemos llegar a confundir estos términos, son claramente diferentes. La fracción

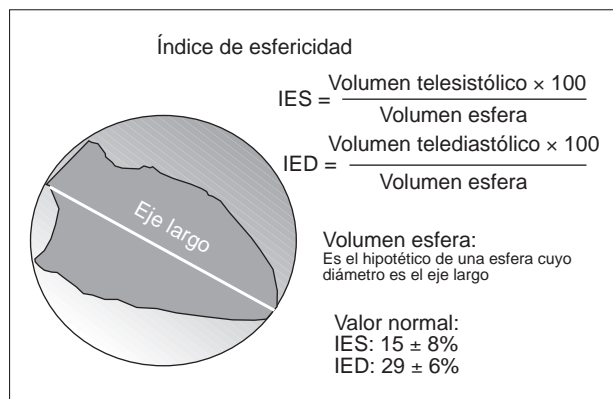


Fig. 5. Índice de esfericidad sistólico (IES) y diastólico (IED). Este índice es calculado como el volumen del ventrículo izquierdo dividido por el volumen de una esfera hipotética cuyo diámetro es el eje mayor del ventrículo. No requiere corrección por magnificación.

de eyección no es más que un índice de la fase de eyección que permite valorar la función ventricular. Lógicamente, no de forma exacta, y presenta importantes limitaciones como hemos reseñado previamente. Sin embargo, su fácil cálculo ha hecho de este índice una herramienta frecuente en nuestra práctica diaria. La geometría ventricular nos habla de la forma del ventrículo izquierdo y aunque, obviamente, tiene una correlación con la fracción de eyección, hemos visto que en algunos estudios parece un mejor parámetro pronóstico de supervivencia y capacidad funcional que la fracción de eyección. Existen estudios experimentales como el de Tomlinson, en los que induciendo insuficiencia cardíaca con adriamicina, se aprecia cómo la geometría ventricular es un signo sensible de disfunción ventricular antes de detectarse los primeros cambios hemodinámicos<sup>36</sup>. En la misma línea están los estudios experimentales de Kono y Sabbah.

La geometría ventricular, por tanto, parece un marcador más sensible de función ventricular y del pronóstico del enfermo, que los índices comúnmente utilizados. Si la distorsión de la geometría ventricular provoca lesión miocárdica y reduce la función ventricular o si es sólo un marcador precoz de ésta, está por determinar. Lo que parece claro es que sea causa o consecuencia, su presencia determina un aumento del consumo de oxígeno a través de un aumento del estrés de pared, es decir, si no inicia el proceso de la disfunción miocárdica, sí parece seguro que puede perpetuarlo.

## CONCLUSIÓN

Existen indicios de que la geometría cardíaca es un factor pronóstico independiente de mortalidad y capacidad funcional en pacientes con insuficiencia cardíaca. Asimismo, parece que es un marcador más sensible y precoz que la fracción de eyección, probablemente debido a que es un cambio morfológico anterior a la

alteración hemodinámica. El cálculo a través de técnicas sencillas de la geometría ventricular puede ayudarnos a valorar el pronóstico y aplicar medidas terapéuticas de forma precoz a nuestros pacientes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Hutchins GM, Bulkley BH, Moore GW, Piasio MA, Lohr FT. Shape of the human cardiac ventricles. *Am J Cardiol* 1978; 41: 646-654.
- Woods RH. A few applications of a physical theorem to membrane in the human body in a state of tension. *J Anat Physiol* 1892; 26: 302.
- Burton AC. The importance of the shape and size of the heart. *Am Heart J* 1957; 54: 801-809.
- Burns JW, Covell JW, Myers R. Comparison of directly measured left ventricular wall stress and stress calculated from geometric reference figures. *Circ Res* 1969; 24: 575-582.
- Hefner LL, Sheffield T, Cobbs GC, Klip W. Relation between mural force and pressure in the left ventricle of the dog. *Circ Res* 1962; 11: 654-663.
- Braunwald E, Sonnenblick E, Ross J. Mechanisms of cardiac contraction and relaxation. En: Braunwald E, editor. *Heart disease: a textbook of cardiovascular medicine* (5.ª ed.). Filadelfia: Saunders, 1997.
- Braunwald E. Control of myocardial oxygen consumption. Physiologic and clinical considerations. *Am J Cardiol* 1971; 27: 416-432.
- Gould KL, Lipscomb K, Hamilton GW, Kennedy JW. Relation of left ventricular shape, function and wall stress in man. *Am J Cardiol* 1974; 34: 627-634.
- Laskey WK, Sutton MSJ, Zeevi G, Hirshfeld JW, Reichek N. Left ventricular mechanics in dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 1984; 54: 620-625.
- Borow KM, Lang RM, Neumann A, Carroll JD, Rajfer SI. Physiologic mechanism governing hemodynamic response to positive inotropic therapy in patients with dilated cardiomyopathy. *Circulation* 1988; 77: 625-637.
- Douglas PS, Morrow R, Ioli A, Reichek N. Left ventricular shape, afterload and survival in idiopathic dilated cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 1989; 13: 311-315.
- Municino A, De Simone G, Roman MJ, Cody RJ, Ganau A, Hajn RT et al. Assessment of left ventricular function by meridional and circumferential end-systolic stress/minor-axis shortening relations in dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 1996; 78: 544-549.
- Sluysman T, Sanders SP, Van der Velde M, Matitiau A, Parness IA, Spevak PJ et al. Natural history and patterns of recovery of contractile function in single left ventricle after Fontan operation. *Circulation* 1992; 86: 1.753-1.761.
- Yin FCP. Ventricular wall stress. *Circ Res* 1971; 28: 49-61.
- Douglas P, Reichek N, Hackney K, Ioli A, John Sutton MG. Contribution of afterload, hypertrophy and geometry to left ventricular ejection fraction in aortic valve stenosis, pure aortic regurgitation and idiopathic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 1987; 59: 1.398-1.404.
- Vokonas PS, Gorlin R, Cohn PF, Herman MV, Sonnenblick EH. Dynamic geometry of the left ventricle in mitral regurgitation. *Circulation* 1973; 48: 786-795.
- Kass DA, Traill TA, Keating M, Altieri PI, Maughan WL. Abnormalities of dynamic ventricular shape change in patients with aortic and mitral valvular regurgitation: assessment by Fourier shape analysis and global geometric indexes. *Circ Res* 1988; 62: 127-138.
- Yoshikawa M, Sato T. Left ventricular end-systolic wall stress to volume relationship before and after surgical closure of ventricular septal defect. *Pediatr Cardiol* 1987; 8: 93-98.
- Lamas GA, Vaughan DE, Parisi AF, Pfeffer MA. Effects of left ventricular shape and captopril therapy on exercise capacity after anterior wall acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1989; 63: 1.167-1.172.
- Kono T, Sabbah HN, Stein PD, Brymer JF, Khaja F. Left ventricular shape as a determinant of functional mitral regurgitation in patients with severe heart failure secondary to either coronary artery disease or idiopathic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 1991; 68: 355-359.
- Kono T, Sabbah HN, Rosman H, Alam M, Jafri S, Stein PD et al. Mechanism of functional mitral regurgitation during acute myocardial ischemia. *J Am Coll Cardiol* 1992; 19: 1.101-1.105.
- Kono T, Sabbah HN, Rosman H, Alam M, Jafri S, Goldstein S. Left ventricular shape is the primary determinant of functional mitral regurgitation in heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1992; 20: 1.594-1.598.
- Van Dantzig JM, Delemarre BJ, Koster RW, Bot H, Visser CA. Pathogenesis of mitral regurgitation in acute myocardial infarction: importance of changes in left ventricular shape and regional function. *Am Heart J* 1996; 131: 865-871.
- Tischler MD, Niggel J, Borowski DT, Lewinter MM. Relation between left ventricular shape and exercise capacity in patients with left ventricular dysfunction. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 751-757.
- Lamas GA, Mitchell G, Flaker GC, Smith SC, Gersh BJ, Basta L et al. The clinical significance of mitral regurgitation following acute myocardial infarction. *Circulation* 1997; 96: 827-833.
- Lamas GA, Mitchell GF, Flaker GC, Smith SC, Gersh BJ, Geltman EM et al. The predictive value of LV systolic sphericity index: a magnification independent assessment of LV shape. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 223A.
- Matitiau A, Perez-Atayde A, Sanders SP, Sluysmans T, Parness IA, Spevak PJ et al. Infantile dilated cardiomyopathy. Relations of outcome to left ventricular mechanics, hemodynamics, and histology at the time of presentation. *Circulation* 1994; 90: 1.310-1.318.
- Gómez-Doblas JJ, Schor J, Traad E, Carrillo R, Williams D, Lamas GA. The clinical significance of left ventricular geometry in patients undergoing mitral valve replacement. *J Am Coll Cardiol* 1998; 31: 284A.
- Pouleur H, Rousseau MF, Van Eull C, Stoleru L, Hayashida W, Udelson JA et al, for the SOLVD Investigators. Effects of long-term enalapril therapy on left ventricular diastolic properties in patients with depressed ejection fraction. *Circulation* 1993; 88: 481-491.
- Hall SA, Cigarroa CG, Marcoux L, Risser RC, Grayburn PA, Eichhorn EJ. Time course of improvement in left ventricular function, mass and geometry in patients with congestive heart failure treated with beta-adrenergic blockade. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 1.154-1.161.
- Ren JF, Aksut S, Lighty GW, Vigilante GJ, Sink JD, Segal BL et al. Mitral valve repair is superior to valve replacement for the early preservation of cardiac function: relation of ventricular geometry to function. *Am Heart J* 1996; 131: 974-981.
- Tischler MD, Cooper KA, Rowen M, LeWinter MM. Mitral valve replacement versus mitral valve repair. A doppler and quantitative stress echocardiographic study. *Circulation* 1994; 89: 132-137.
- Starling RC, Young JB, Scalia GM, Thomas JD, Vargo RL, Buda TM et al. Preliminary observations with ventricular remodeling surgery for refractory congestive heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1997; 29: 64A.
- Gibson DG, Brown DJ. Continuous assessment of left ventricular shape in man. *Br Heart J* 1975; 3: 904-910.
- Fantini F, Barletta G, DiDonato M, Fantini A, Baroni M. Left ventricular shape abnormalities in inferior wall myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1992; 70: 1.081-1.085.
- Tomlinson CW. Left ventricular geometry and function in experimental heart failure. *Can J Cardiol* 1987; 3: 305-310.