

Efecto del ejercicio sobre las velocidades de flujo sistólico ventricular izquierdo en adultos sanos

Fernando Cabrera Bueno, Isabel Rodríguez-Bailón, Raúl López-Salguero, Juan J. Gómez-Doblas, José M. García-Pinilla y Eduardo de Teresa Galván

Servicio de Cardiología. Hospital Clínico Universitario Virgen de la Victoria. Málaga. España.

Recientemente se ha descrito la aparición de obstrucción dinámica intraventricular izquierda inducida por esfuerzo y caracterizada por aparición de gradientes intraventriculares en pacientes sin miocardiopatía hipertrófica. Se desconoce si este hallazgo podría aparecer en sujetos sanos como respuesta normal al ejercicio.

Se estudió a 23 sujetos sanos mediante ecocardiografía-Doppler de esfuerzo. Basalmente y tras el esfuerzo máximo tolerado, medimos las velocidades del flujo de salida ventricular izquierdo. Tras un ejercicio de 12 min 45 s \pm 2 min 32 s alcanzaron frecuencias cardíacas del 97,61 \pm 6,71% respecto a la máxima teórica. Las velocidades del flujo aumentaron de 1,07 \pm 0,18 m/s (rango, 0,77-1,44 m/s) hasta 1,58 \pm 0,35 m/s (rango, 1,09-2,4 m/s). Concluimos que el ejercicio máximo tolerado por sujetos sanos aumentó hasta un 50% las velocidades de flujo de salida ventricular y en ningún caso se alcanzaron los 2,5 m/s. Esto parece descartar que los gradientes intraventriculares elevados sean una respuesta normal al ejercicio en sujetos sanos.

Palabras clave: Ecocardiografía esfuerzo. Gradiente intraventricular izquierdo. Ventrículo izquierdo.

Effect of Exercise on Systolic Left Ventricular Outflow Velocity in Healthy Adults

The occurrence of exercise-induced dynamic obstruction of the left ventricular outflow tract in patients without cardiomyopathy has recently been reported. However, it is not known if this phenomenon is a normal response to exercise in healthy adults. We studied 23 healthy adults using exercise Doppler echocardiography. We measured the left ventricular outflow velocity at rest and after maximum tolerated exercise. After a mean exercise duration of 12 min 45 s (2 min 32 s), the heart rate was 97.61 (6.71)% of the theoretical maximum. Left ventricular outflow velocity increased from 1.07 (0.18) m/s (range: 0.77-1.44 m/s) to 1.58 (0.35) m/s (range: 1.09-2.4 m/s). In healthy adults, exercise increased the left ventricular outflow velocity by 50%, though in no subject was it greater than 2.5 m/s. This observation appears to rule out the possibility that a high intraventricular pressure gradient is a normal response to exercise in healthy adults.

Key words: Exercise echocardiography. Left intraventricular pressure gradient. Left ventricle.

Full English text available from: www.revespcardiol.org

INTRODUCCIÓN

Recientemente se han descrito casos de gradiente dinámico intraventricular izquierdo inducidos por ejercicio y detectados mediante ecocardiografía de esfuerzo¹⁻³. Su significación clínica no ha sido definitivamente establecida, aunque podría estar en relación con síntomas de disnea o angina de esfuerzo de causa inaparente^{2,3}.

Por otro lado, hace años se describió la presencia de pequeños gradientes de presión en el interior de ventrículos sanos, detectables con micromanómetros del alta

fidelidad y cuya magnitud oscila entre 6 y 10 mmHg^{4,5}. Recientemente, Yotti et al⁶ han confirmado su existencia y la posibilidad de registrarlos con ecocardiografía-Doppler. Sin embargo, hay escasa información sobre el comportamiento de las velocidades de flujo y los gradientes intraventriculares durante el esfuerzo en sujetos sanos⁷. Por tanto, no están bien definidos los valores que deben considerarse «normales» durante el esfuerzo.

El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento de las velocidades del flujo sistólico ventricular izquierdo (FSVI) durante el esfuerzo en sujetos sanos.

PACIENTES Y MÉTODO

Realizamos un estudio en 23 varones, voluntarios sanos, sin antecedentes patológicos y con exploración física, electrocardiograma y ecocardiograma-Doppler normales.

Correspondencia: Dr. F. Cabrera Bueno.
Madame Bovary, 21, casa 14. 29620 Torremolinos. Málaga. España.
Correo electrónico: fonendo@hotmail.com

Recibido el 31 de enero de 2005.
Aceptado para su publicación el 13 de mayo de 2005.

Las exploraciones ecocardiográficas basal y postesfuerzo se realizaron por un cardiólogo experimentado, con un ecocardiógrafo VingMed equipado con sistema de grabación Super-VHS y video-digitalizador Pinnacle DV500 Plus, utilizando sonda de 2,5-3,25 MHz.

En situación basal, se hizo un ecocardiograma-Doppler completo en los planos habituales. Las medidas se hicieron según las recomendaciones de la American Society of Echocardiography⁸.

Inmediatamente tras el esfuerzo (30-60 s), con el sujeto en decúbito lateral, se analizaron nuevamente el FSVI, el flujo transmitral y la función sistólica.

El esfuerzo se realizó sobre cinta rodante mediante un ergómetro Marquette Case 8000 (Marquette Medical Systems inc., Milwaukee, Estados Unidos) siguiendo el protocolo de Bruce tras 4 h de ayuno, hasta presentar síntomas de agotamiento o alcanzar la frecuencia cardíaca máxima teórica.

RESULTADOS

Los 23 sujetos estudiados eran varones con $32,5 \pm 5,9$ años (rango, 25-45), peso de $78,7 \pm 7,1$ kg y talla de $176, 6 \pm 4,9$ cm, índice de masa corporal medio de $25,7 \pm 2,4$ y un área de superficie corporal de $1,94 \pm 0,09$ (rango, $1,74 \pm 2,13$). Los datos del ecocardiograma basal se detallan en la tabla 1. La velocidad máxima del FSVI detectada en reposo osciló entre 0,77 y 1,44 m/s, con una media de $1,07 \pm 0,18$ m/s.

Tras un tiempo medio de ejercicio de $12 \text{ min } 45 \text{ s} \pm 2 \text{ min } 32 \text{ s}$ se alcanzó una frecuencia media del $97,6 \pm 6,7\%$ de la máxima teórica estimada para su edad. Los datos relativos al trabajo realizado se muestran en la tabla 2.

Tras el esfuerzo (tabla 3), la velocidad máxima de FSVI osciló entre 1,09 y 2,45 m/s (media, $1,58 \pm 0,35$ m/s). En ningún caso se evidenció morfología de gradiente dinámico ni movimiento anterior de la válvula mitral.

DISCUSIÓN

La aparición de gradientes intraventriculares izquierdos en pacientes sin miocardiopatía hipertrófica está bien documentada en relación con estados hipercontráctiles⁹, postoperatorios de cirugía valvular¹⁰⁻¹³, síndromes coronarios agudos^{14,15} o ecocardiografía de estrés con dobutamina^{16,17}. Recientemente se han descrito también en relación con el esfuerzo^{1-3,18}. En la serie publicada por nuestro grupo³ y constituida por una población con elevada incidencia de hipertensión y sexo femenino, el único factor predictor del fenómeno fue el diámetro del tracto de salida ventricular izquierdo.

Por otra parte, se conoce la presencia de pequeños gradientes intraventriculares en ventrículos sanos. En 1980, Falsetti et al⁴ encontraron gradientes de $2,10 \pm 0,47$ mmHg entre el ápex y la base ventriculares izquierdos utilizando micromanómetros de alta precisión en perros. Con posterioridad, Pasipoularides et al⁵

TABLA 1. Datos ecocardiográficos basales

	Basal, media \pm DE	Rango
DTD (mm/m ²)	25,4 \pm 1,9	21,4-28,5
DTS (mm/m ²)	15,9 \pm 1,8	11,1-19,5
Septo (mm/m ²)	4,42 \pm 0,46	3,48-5,33
Pared posterior (mm/m ²)	4,56 \pm 0,50	3,38-5,49
TSVI (mm/m ²)	10,9 \pm 0,7	9,75-12,11
Septo/pared posterior	0,97 \pm 0,07	0,84-1,18
IMVI (g/m ²)	78,7 \pm 11,9	47,3-95,8
GPR	0,35 \pm 0,03	0,28-0,42
E (m/s)	0,85 \pm 0,14	0,63-1,16
A (m/s)	0,61 \pm 0,11	0,42-0,80
E/A	1,40 \pm 0,26	0,84-2,00
IVT E/A	2,63 \pm 1,16	1,31-4,97

A: velocidad onda A; DTD: diámetro telediastólico; DTS: diámetro telesistólico; E: velocidad onda E; GPR: grosor parietal relativo; IMVI: índice de masa ventricular izquierda; IVT: integral velocidad-tiempo; TSVI: tracto de salida del ventrículo izquierdo.

TABLA 2. Datos relacionados con el trabajo realizado durante el ejercicio

	Basal	Postesfuerzo
	Media \pm DE	Media \pm DE
PA sistólica (mmHg)	120,4 \pm 10,9	151,5 \pm 16,8
PA diastólica (mmHg)	75,0 \pm 7,5	74,5 \pm 6,8
FC (lat/min)	73,3 \pm 15,4	183,8 \pm 12,24
% FC máxima teórica (lat/min)		97,61 \pm 6,71
MET		14,96 \pm 2,38
Doble producto		25.552 \pm 3.748

DE: desviación estándar; FC: frecuencia cardíaca; PA: presión arterial.

TABLA 3. Parámetros hemodinámicos determinados antes y después del ejercicio

	Basal	Postesfuerzo
	Media \pm DE	Media \pm DE
Fracción de eyección (%)	74,7 \pm 3,8	84,9 \pm 4,8
Fracción acortamiento (%)	36,77 \pm 3,23	47,03 \pm 6,04
V _{máx} TSVI (m/s)	1,07 \pm 0,18	1,58 \pm 0,35
IVT TSVI (cm)	19,6 \pm 3,2	22,6 \pm 5,0
Gasto cardíaco (l/m)	4,6 \pm 1,1	10,5 \pm 2,5
Índice cardíaco (l/m)	2,4 \pm 0,5	5,4 \pm 1,3

DE: desviación estándar; IVT: integral velocidad-tiempo; TSVI: tracto de salida del ventrículo izquierdo; V_{máx} = velocidad máxima.

estudiaron también con catéteres a 6 pacientes sin anomalías valvulares ni ventriculares y encontraron gradientes en reposo de $6,7 \pm 1,9$ mmHg, que tras el ejercicio de pedaleo ascendieron a $13 \pm 2,3$ mmHg. Más recientemente, Yotti et al⁶ han confirmado su existencia y la posibilidad de registrarlos con un nuevo método ecocardiográfico, detectando valores de $3,3 \pm 1,6$ mmHg en 20 voluntarios sanos en situación de reposo.

Sin embargo, hay pocos datos sobre el comportamiento de estos pequeños gradientes «fisiológicos» durante el ejercicio físico⁷. En la serie de 6 casos de

Pasipoularides et al⁵ se estudió específicamente este aspecto y se encontró que se duplicaban con la realización de ejercicio submáximo de pedaleo en decúbito.

Hay varios estudios^{19,20} relacionados con los efectos del ejercicio que muestran un aumento de las velocidades de FSVI durante éste y, aunque estudian a poblaciones diversas, en ninguno de ellos se llegó a duplicar la velocidad del flujo en reposo.

En nuestra serie de 23 voluntarios sanos, la velocidad del FSVI pasó de $1,07 \pm 0,18$ m/s (rango, 0,77-1,44) en reposo hasta $1,58 \pm 0,35$ m/s (rango, 1,09-2,45) tras el esfuerzo, lo que supone un aumento del 50% en la velocidad de flujo.

Estos datos sugieren que, en el ecocardiograma postesfuerzo con tapiz rodante, pueden considerarse dentro de la normalidad las velocidades de FSVI de $1,58 \pm 0,35$ m/s, con un rango de 1 hasta 2,4 m/s.

Concluimos que el ejercicio máximo tolerado por sujetos sanos aumentó hasta un 50% las velocidades de flujo de salida ventricular izquierdo y que en ningún caso alcanzaron los 2,5 m/s. Aunque esto no descarta totalmente la posibilidad de que los gradientes intraventriculares elevados sean una respuesta habitual al ejercicio en sujetos sanos, lo hace poco probable.

Limitaciones del estudio

Además del tamaño muestral, este estudio tiene la limitación de que las velocidades de FSVI se midieron inmediatamente tras el esfuerzo y no durante el esfuerzo máximo. Ello es inevitable cuando el ejercicio se realiza en tapiz rodante, pero podría condicionar una infravaloración, dada su tendencia a disminuir en los minutos siguientes al cese del ejercicio, si bien se alcanzaron niveles de esfuerzo elevados ($97,61 \pm 6,71\%$).

Esta serie incluye sólo a sujetos varones jóvenes. Aunque implica un sesgo de sexo y edad, en el diseño del estudio se decidió así para facilitar la optimización de imágenes ecocardiográficas (por anatomía pectoral más fácil en los varones) y la consecución de elevados niveles de esfuerzo. Además, la aparición de obstrucción dinámica durante el esfuerzo no se ha relacionado con el sexo de los pacientes³.

La aplicabilidad de la ecuación simplificada de Bernouilli para el cálculo de gradientes intraventriculares en estos casos es poco exacta por la ausencia de una obstrucción anatómica y por las velocidades relativamente bajas; por ello puede ser más adecuado expresar los resultados en términos de velocidad sin su transformación en gradiente, o bien, aplicar el método recientemente descrito⁶ para su medición con Doppler-color en modo M.

BIBLIOGRAFÍA

- Peteiro J, Montserrat L, Castro-Beiras A. Labil subaortic obstruction during exercise stress echocardiography. *Am J Cardiol.* 1999;84:1119-23.

- Meimoun P, Benali T, Sayah S, Molkar D, Koubbi A, Luycx Bore A, et al. Dyspnea of effort with an unusual cause: diagnostic significance of stress echocardiography. *Arch Mal Coeur Vaiss.* 2003;96:914-8.
- Cabrera Bueno F, Rodríguez Bailón I, López Salguero R, Gómez Doblas JJ, Pérez Cabeza A, Peña Hernández J, et al. Obstrucción dinámica intraventricular izquierda inducida por esfuerzo. *Rev Esp Cardiol.* 2004;57:1179-87.
- Falsetti HL, Verani MS, Chen CJ, Cramer JA. Regional pressure differences in the left ventricle. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1980;6:123-34.
- Pasipoularides A, Murgo JP, Miller JW, Craig WE. Nonobstructive left ventricular ejection pressure gradients in man. *Circ Res.* 1987;61:220-7.
- Yotti R, Bermejo J, Antoranz JC, Rojo-Álvarez JL, Allue C, Silva J, et al. Noninvasive assessment of ejection intraventricular pressure gradients. *J Am Coll Cardiol.* 2004;43:1654-62.
- Yotti R. ¿Qué significado tiene un gradiente de presión intraventricular sistólico durante el ejercicio? *Rev Esp Cardiol.* 2004;57:1139-42.
- Quinones MA, Otto CM, Stoddard M, Waggoner A, Zoghbi WA. Recommendations for quantification of Doppler echocardiography: a report from the Doppler quantification task force of the nomenclature and standards committee of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2002;15:167-84.
- Gallet B, Quintard H, Fruchaud J, Hiltgen M. Dynamic left ventricular obstruction associated with a pheochromocytoma reversible after tumor ablation. *Arch Mal Coeur Vaiss.* 2001;94:1195-8.
- Kronzon I, Cohen ML, Winer HE, Colvin SB. Left ventricular outflow obstruction: a complication of mitral valvuloplasty. *J Am Coll Cardiol.* 1984;4:825-8.
- Melero JM, Rodríguez I, Such M, Porras C, Olalla E. Left ventricular outflow tract obstruction with mitral mechanical prosthesis. *Ann Thorac Surg.* 1999;68:255-7.
- Bartunek J, Sys SU, Rodrigues AC, Van Schuerbeeck E, Mortier L, De Bruyne B. Abnormal systolic intraventricular flow velocities after valve replacement for aortic stenosis. Mechanisms, predictive factors, and prognostic significance. *Circulation.* 1996;93:712-9.
- López Ayerbe J, Evangelista Masip A, Armada Romero E, Mateos González M, González Alujas MT, García Del Castillo H, et al. Predictive factors of abnormal dynamic intraventricular gradient after valve replacement in severe aortic stenosis. *Rev Esp Cardiol.* 2002;55:127-34.
- Haley JH, Sinak LJ, Tajik AJ, Ommen SR, Oh JK. Dynamic left ventricular outflow tract obstruction in acute coronary syndromes: an important cause of new systolic murmur and cardiogenic shock. *Mayo Clin Proc.* 1999;74:901-6.
- San Roman Sánchez D, Medina O, Jiménez F, Rodríguez JC, Nieto V. Dynamic intraventricular obstruction in acute myocardial infarction. *Echocardiography.* 2001;18:515-8.
- Pellikka PA, Oh JK, Bailey KR, Nichols BA, Monahan KH, Tajik AJ. Dynamic intraventricular obstruction during dobutamine stress echocardiography. A new observation. *Circulation.* 1992;86:1429-32.
- Christiaens L, Duplantier C, Allal J, Donal E, Nanadoumgar H, Barraine R, et al. Normal coronary angiogram and dobutamine-induced left ventricular obstruction during stress echocardiography: a higher hemodynamic responsiveness to dobutamine. *Echocardiography.* 2001;18:285-90.
- Meimoun P, Benali T, Sayah S, Luyex-Bore A, Maitre B, Tribouilloy C. Significance of systolic anterior motion of the mitral valve during dobutamine stress echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18:49-56.
- Lev EI, Pines A, Drory Y, Rotmensch HH, Tenenbaum A, Fishman EZ. Exercise-induced aortic flow parameters in early postmenopausal women and middle-aged men. *J Int Med.* 1998;243:275-80.
- Stoylen A, Wisloff U, Sordahl S. Left ventricular mechanics during exercise: a Doppler and tissue Doppler study. *Eur J Echocardiogr.* 2003;4:286-91.