

Criterios alternativos para evaluar la gravedad de la estenosis aórtica mediante Doppler cardíaco

J. LAX*, T. CIANCIULLI, C. SACHERI, I. ZAYAT, O. GIMENEZ, H. PREZIOSO

División Cardiología, Hospital Municipal "Cosme Argerich", Buenos Aires

* Para optar a Miembro Titular de la Sociedad Argentina de Cardiología

Trabajo recibido para su publicación: 5/93. Aceptado: 6/93

Dirección para separatas: Alte. Brown 240, Buenos Aires, Argentina

Dadas las dificultades que ofrece la medición del tracto de salida del ventrículo izquierdo para la evaluación del área valvular aórtica, se estudiaron en forma prospectiva 57 pacientes con estenosis aórtica, con una edad de $68,3 \pm 6,2$ años, con la finalidad de: 1) evaluar la utilidad de otros parámetros como la relación tiempo de aceleración/tiempo eyectivo en el tracto de salida del ventrículo izquierdo ($\geq 0,52$), la relación entre velocidad del tracto de salida del ventrículo izquierdo/velocidad aórtica ($\leq 0,25$), los gradientes máximo instantáneo (≥ 80 mmHg) y medio (≥ 50 mmHg) y la relación entre la fracción de acortamiento y el gradiente máximo instantáneo ($\leq 0,8$), en la determinación de la gravedad de la estenosis; 2) estudiar la utilidad en el subgrupo con bajo volumen minuto; 3) determinar la influencia de las lesiones asociadas. Se incluyeron 11 pacientes con estenosis aórtica leve, 8 con lesión moderada y 38 con estenosis aórtica grave, determinada según el área valvular obtenida por Doppler y/o cateterismo. La relación tiempo de aceleración/tiempo eyectivo en el tracto de salida del ventrículo izquierdo tuvo una sensibilidad del 63 % y una especificidad del 89 %, la relación entre velocidad de dicho tracto/velocidad aórtica del 100 % y 89 %, respectivamente; el gradiente máximo instantáneo del 68 % y 100 % y el medio del 78 % y 100 %, en tanto que la relación entre la fracción de acortamiento y el gradiente máximo instantáneo del 100 % y 89 %, respectivamente. En el subgrupo con bajo volumen minuto, la gravedad fue correctamente diagnosticada por la relación entre velocidad de dicho tracto/velocidad aórtica y la relación entre la fracción de acortamiento y el gradiente máximo instantáneo; los gradientes fueron menores, y por lo tanto se deben tomar valores inferiores para definir la magnitud; la relación tiempo de aceleración/tiempo eyectivo en el tracto de salida del ventrículo izquierdo tuvo pobre sensibilidad. Un total de 19 pacientes fueron evaluados por cateterismo; en 17 la estenosis aórtica fue grave y en 2 moderada, corroborando los datos del Doppler. Se concluye que los criterios alternativos más útiles para definir la gravedad fueron la relación entre velocidad de dicho tracto/velocidad aórtica y la relación entre la fracción de acortamiento y el gradiente máximo instantáneo, aun en el subgrupo con deterioro de la función sistólica. Las regurgitaciones valvulares asociadas reducen el valor de estos parámetros.

El avance de los métodos no invasivos ha permitido la valoración adecuada y segura de la magnitud de la estenosis aórtica (EA), a través de la medición del área valvular. El método utilizado para ello se basa en la ecuación de la continuidad,¹⁻⁵ el cual asume que el flujo debería ser constante en diferentes sitios del corazón y por lo tanto es posible calcular el área de un determinado lugar, basándose en la velocidad del flujo y el área conocida de otro punto. Sin embargo, la obtención de estos datos no siempre es sencilla³ y es así que muchas veces es difícil medir en forma correcta el área del tracto de salida del ventrículo izquierdo, lo cual torna

imposible o poco confiable la obtención del área valvular.

Teniendo en cuenta entonces que no es posible aplicar en todos los casos la ecuación de la continuidad, se desarrolló un estudio para evaluar la utilidad de diferentes criterios alternativos al área valvular, que ayuden a definir la gravedad de la estenosis, como el gradiente máximo instantáneo (GMI), gradiente medio (Gm), la relación entre el tiempo de aceleración y tiempo eyectivo en el tracto de salida del ventrículo izquierdo (TA/TE), la relación entre la velocidad máxima en tracto de salida del ventrículo izquierdo y la velocidad máxima aórtica

(VTSVI/VA) y la relación entre la fracción de acortamiento y el gradiente máximo instantáneo (FA/G). Por otra parte, se evaluó la utilidad de estos métodos en el subgrupo de pacientes con estenosis aórtica y función sistólica deprimida, así como la influencia de la presencia de lesiones valvulares asociadas.

METODO

Se evaluaron en forma prospectiva 57 pacientes con diagnóstico de EA. La población estuvo conformada por 38 hombres y 19 mujeres, con una edad media de $68,3 \pm 6,2$ años. Sólo se excluyeron aquellos pacientes con un ecocardiograma técnicamente dificultoso que impidió realizar las mediciones. A todos se les efectuó un eco Doppler cardíaco y a 19 de ellos un cateterismo.

El Doppler cardíaco fue realizado con un equipo ATL Ultramark 8 y un Interspec XL con transductores Duplex pulsado y Pedoff. El área valvular aórtica utilizada para establecer la magnitud de la EA fue determinada a través de la ecuación de continuidad, utilizando múltiples accesos desde vistas apical, subcostal, paraesternal derecha, supraclavicular y supraesternal para obtener la máxima señal aórtica. Se definió como grave a aquella estenosis con un área $\leq 0,75 \text{ cm}^2$, moderada entre $0,76$ y 1 cm^2 y leve a la mayor a 1 cm^2 .

Tanto el GMI como el Gm fueron obtenidos desde la señal de máxima velocidad lograda luego de evaluar las diferentes vistas. Se consideró como importante la presencia de un GMI ≥ 80 mmHg o un Gm ≥ 50 mmHg. En aquellos pacientes en los que se constató la presencia de una función sistólica deprimida los límites utilizados fueron de 36 y 20 mmHg, respectivamente. La relación TA/TE se evaluó con el modo pulsado, con la muestra colocada justo antes del inicio de la aceleración del flujo, o sea aproximadamente 1 a 1,5 cm por debajo del plano valvular. Se estableció como severa aquella relación $\geq 0,52$. La relación VTSVI/VA se obtuvo tomando la velocidad de la señal en el TSVI, como se explicó en el párrafo anterior, y la máxima velocidad aórtica utilizada para establecer el GMI. Se determinó como seria aquella relación $\leq 0,25$.

La FA/G se logró tomando la fracción de acortamiento medida por modo M derivado del bidimensional, siguiendo los parámetros establecidos por la Sociedad Americana de Ecocardiografía.⁶ El gradiente incluido en la relación fue el GMI. Se categorizó como grave una relación $< 0,8$.

RESULTADOS

De los 57 pacientes incluidos, 11 tenían EA leve, 8 moderada y 38 valvulopatía grave (cuadro 1). En todos la etiología fue degenerativa.

Todos los pacientes con EA leve se hallaban libres de síntomas; 2 con EA moderada se encontraban sintomáticos, uno por disnea CF II (NYHA) y el otro por angor y disnea CF II. En el subgrupo con EA grave, 16 pacientes se hallaban asintomáticos; 14 presentaban disnea como único síntoma, en 3 acompañados de mareos y en 3 con angor; 1 paciente presentó angor como único síntoma y otro refirió síncope.

Las lesiones asociadas fueron: estenosis mitral en 2 casos, en uno de ellos de grado moderado y en el otro grave, con hipertensión pulmonar moderada asociada; 1 paciente tuvo insuficiencia mitral grave con hipertensión pulmonar moderada; 5 sujetos presentaron insuficiencia aórtica, moderada en 4 (2 tenían además hipertensión pulmonar agregada) y grave en el restante; 3 pacientes tenían hipertensión pulmonar moderada asociada y 2 infarto agudo de miocardio.

Hipertrofia ventricular izquierda: no fue observada en ningún paciente con EA leve. Sólo 2 (25%) con EA moderada tuvieron hipertrofia, en tanto que fue verificada en 34 pacientes (89%) con EA grave.

Fracción de acortamiento: la misma fue normal en todos los casos estudiados, excepto 4 (7%) pertenecientes al grupo con valvulopatía grave.

Relación TA/TE: las velocidades obtenidas fueron de 0,33 (0,22-0,41) en el grupo de EA leve; 0,43 (0,37-0,53) en el de moderada, siendo $\geq 0,52$ en 2 pacientes; 0,54 (0,30-0,78) en el grupo con valvulopatía grave, siendo $\leq 0,52$ en 14 pacientes (tabla 1).

Relación VTSVI/VA: fue de 0,32 (0,24-0,44) en el grupo con EA leve; 0,28 (0,22-0,42) en el grupo con EA moderada; en un paciente que

Cuadro 1
Doppler en la estenosis aórtica
(Población: n = 57)

Leve (n = 11)	Moderada (n = 8)	Grave (n = 38)
- Calcificadas	- Calcificadas	- Calcificadas
- Asintomáticos	- Asintomáticos: 6	- Asintomáticos: 16
- HVI: no	- HVI: 2	- HVI: 34
- FA: normal	- FA: normal	- FA (25%): 4

HVI: hipertrofia ventricular izquierda; FA: fracción de acortamiento.

Tabla 1
Doppler en la estenosis aórtica
Resultados

	Leve	Moderada	Grave
TA TSVI	0,33	0,43	0,54
TE TSVI	(0,22-0,42)	(0,37-0,53) (n = 2; > 0,52)	(0,30-0,78) (n = 14; < 0,52)
VTSVI	0,32	0,28	0,17
VAO	(0,24-0,44) (n = 1; < 0,25)	(0,22-0,42) (n = 1; < 0,25)	(0,13-0,25)
GMI (mmHg)	28 ± 8,2 (14-46)	47,2 ± 8,3 (29-78) (n = 5; < 50)	90,1 ± 28,4 (44-139) (n = 12; < 80)#
Gm (mmHg)	16 ± 5,3 (7-26)	28,2 ± 23 (12-50) (n = 3; < 30)	58,3 ± 23,2 (28-107) (n = 8; < 50)#
FA/G	1,59 ± 0,55 (0,91-2,92)	0,93 ± 0,21 (0,44-1,3) (n = 2; < 0,8)*	0,42 ± 0,24 (0,20-0,72)
Area (cm ²)	1,33 ± 0,30 (1,07-1,71)	0,93 ± 0,06 (0,86-1)	0,54 ± 0,21 (0,28-0,75)

* Insuficiencia mitral y aórtica graves. # Incluye 4 pacientes con fracción de acortamiento deprimida.

tenía una insuficiencia aórtica grave asociada la relación fue < 0,25. En el grupo con EA significativa fue de 0,17 (0,13-0,25).

GMI y Gm: en el grupo con valvulopatía leve el GMI y el Gm fueron de 28 ± 8,2 mmHg (14-46) y 16 ± 5,3 mmHg (7-26), respectivamente. En el grupo con EA moderada de 47,25 ± 18,3 mmHg (29-78) y 28,25 ± 9,3 mmHg (12-50). En el grupo de casos graves el GMI obtenido fue de 90,1 ± 28,4 mmHg (44-139), en 12 pacientes fue menor de 80 mmHg, 4 de ellos tenían función sistólica deprimida; el Gm fue de 58,3 ± 23,2 mmHg (28-107), en 8 pacientes fue inferior a 50 mmHg, de los cuales 4 tenían función sistólica disminuida.

FA/G: los pacientes con EA leve tuvieron una relación de 1,59 ± 0,55 (0,91-2,92). En el grupo con EA moderada fue de 0,93 ± 0,21 (0,44-1,3), en 2 pacientes con una relación < 0,8, uno de ellos tenía una regurgitación mitral seria y el otro insuficiencia aórtica grave asociadas. Aquellos con valvulopatía significativa tuvieron una FA/G de 0,42 ± 0,24 (0,20-0,72).

Area valvular aórtica: en el grupo con valvulopatía leve el área determinada fue de 1,33 ± 0,3 cm² (1,07-1,71); en el de EA moderada fue de 0,93 ± 0,06 cm² (0,86-100). Las estenosis graves tuvieron un área de 0,54 ± 0,21 cm² (0,28-0,75).

Tabla 2
Doppler en la estenosis aórtica
Resultados

	Sensibilidad (FA < 25 %)	Especificidad
TA TSVI	63 % (50 %)	89 %
TE TSVI		
VTSVI	100 % (100 %)	89 %
VAO		
GMI	68 %	100 %
Gm	78 %	100 %
FA/G	100 % (100 %)	89 %

Sensibilidad y especificidad: para la relación TA/TE fue de 63 y 89 %, respectivamente. La relación VTSVI/VAO tuvo una sensibilidad y especificidad de 100 y 89 %, respectivamente; el GMI de 68 y 100 %; el Gm de 78 y 100 %, y la FA/G de 100 y 89 %. En el pequeño subgrupo con función sistólica deprimida la sensibilidad hallada para la relación TA/TE, VTSVI/VAO y FA/G fue de 50 %, 100 % y 100 %, respectivamente (tabla 2).

Cateterismo cardíaco: de los 19 pacientes evaluados, 17 tenían EA grave (2 de ellos con bajo volumen minuto) y 2 moderada. En la tabla 3 se pueden apreciar los datos hemodinámicos aportados por el cateterismo en comparación con los del Doppler cardíaco.

DISCUSION

Tanto en el presente trabajo como en estudios anteriores^{4, 5, 7-12} ha quedado claramente demostrado el valor de la ecocardiografía Doppler para identificar la gravedad de la estenosis aórtica.

Ya desde el modo M la ecocardiografía ha aportado datos útiles sobre esta afección. Así, la detección de valvas engrosadas con excursión limitada acompañadas de hipertrofia ventricular izquierda es un dato que orienta sobre la presencia de EA.^{13, 14} Algunos estudios utilizaron aun el diámetro junto con el grosor parietal sistólico del ventrículo izquierdo, por resultar indicadores indirectos de la función ventricular y el gradiente, respectivamente, para intentar evaluar la importancia de la valvulopatía.¹⁵ Esto se logró en niños y adultos jóvenes, pero en pacientes añosos en los cuales es frecuente observar la asociación con cardiopatía isquémica y alteraciones regionales de la movilidad, hipertensión arterial e insuficiencia aórtica — todos los cuales pueden afectar independientemente la evalua-

ción de los dos parámetros mencionados—, no se obtuvieron resultados tan confiables.¹⁶ A través del presente trabajo, si bien no es posible concluir que la presencia de hipertrofia ventricular izquierda fue útil para identificar la gravedad, por lo menos fue un hallazgo frecuente en el grupo con estenosis significativa, y en cambio tuvo escasa presencia entre aquellos con estenosis moderada, estando ausente en los casos leves.

El advenimiento del Doppler pulsado con su capacidad de resolución de rango, originó algunos índices como la relación TA/TE. Si bien algunos autores señalaron que una relación aumentada indicaba la presencia de una obstrucción lo suficientemente seria como para indicar la necesidad de cirugía,¹⁷ otros estudios^{18, 19} coinciden con nuestros datos en cuanto a la pobre sensibilidad de este indicador; de todas maneras, es un dato útil a tener en cuenta pues su presencia debe alertar sobre la gran posibilidad de hallarnos frente a una estenosis grave.

La valoración por Doppler de los GMI y Gm demostró una excelente correlación al compararse con la evaluación hemodinámica.^{7, 20-23} Sin embargo, los gradientes sólo son indicadores relativos de la gravedad de la estenosis, ya que aun para un área que permanece constante pueden variar en forma considerable dependiendo del volumen minuto. Por ello no sorprende la sensibilidad hallada en nuestra población, un dato que también presentan otros estudios;^{4, 5, 9} sin embargo, la presencia de gradientes elevados es un dato altamente específico para determinar la magnitud del evento.

El valor relativo de los gradientes se vuelve más evidente ante una función ventricular izquierda deteriorada. Este subgrupo, si bien escaso en nuestra población, permite coincidir con otros trabajos en establecer límites de gradientes más bajos para definir su gravedad.⁴ Por otra parte, si bien este subgrupo puede justificar la reducción de la sensibilidad de estos datos, aun cuando se los separe de la población, la utilidad de este parámetro sigue siendo relativa.

Tomando en cuenta todas estas limitaciones resulta llamativo entonces que los laboratorios de hemodinamia en nuestro país informen cada vez con menor frecuencia el área o aun el volumen minuto, dato fundamental para obtener el área a través de la fórmula de Gorlin; la información así proporcionada se basa en especial en los gradientes. El cálculo del área valvular determinada ya sea por cateterismo o Doppler, es el dato hemodinámico por excelencia, más

Tabla 3
Doppler en la estenosis aórtica
Hemodinamia-Doppler

	Hemodinamia		Doppler			
	GM	Area	Area	FA	GM	Gm
1. EA grave con bajo VM	25	0,55	0,40	21	44	28
2. EA grave con bajo VM	56		0,51	14	62	36
3. EA grave	81		0,42	33	78	51
4. No se pudo pasar			0,56	42	90	55
5. EA grave	78		0,64	25	71	52
6. EA grave	82		0,63	29	76	51
7. EA grave	70		0,55	33	72	46
8. EA grave + IA moderada	104		0,62	41	98	66
9. EA grave	119		0,31	49	102	65
10. EA grave	107		0,51	46	99	61
11. EA grave	80		0,43	29	115	66
12. EA grave	72	0,55	0,70	44	72	52
13. EA grave	110		0,70	37	106	59
14. EA grave	142		0,49	28	138	107
15. EA grave	89		0,59	45	82	57
16. EA grave	110		0,40	32	108	74
17. EA grave	62		0,71	38	77	50
18. EA moderada + IA grave	40		0,88	47	61	32
19. EA moderada + coron.	30		0,94	35	53	29

aún en el subgrupo con deterioro de la función sistólica.^{3, 11, 24, 25}

La relación VTSVI/VA es un parámetro que ha mostrado muy buenos resultados estadísticos que coinciden con lo hallado por otros autores.^{4, 8} Una relación $\leq 0,25$ permite identificar a la población con EA grave, aun cuando exista falla de la función sistólica. El compromiso del estado hemodinámico afecta a la velocidad tanto a nivel del tracto de salida como a nivel de la estenosis, manteniendo una reducción proporcional entre ambas y conservando una excelente sensibilidad aun en el subgrupo con bajo volumen minuto.

El otro índice que mostró excelentes resultados fue la relación FA/G, con datos estadísticos comparables a los de otros autores.²⁶ Este es un indicador interesante que también mantuvo su utilidad en el subgrupo con deterioro hemodinámico; esto es razonable ya que es el único parámetro que incluye en su formulación un dato que valora la función ventricular izquierda como es la fracción de acortamiento. Podría cuestionarse el hecho de que se trate de un parámetro de función sistólica regional; por ello se debe ser cuidadoso al utilizar este dato en el caso de pacientes con alteraciones regionales de la movilidad. En nuestra población se incluyeron 2 pacientes con infarto de miocardio; sin embargo,

en ellos no hubo dificultades para identificar su gravedad. En cambio fue evidente que la presencia de regurgitación sería asociada redujo la especificidad de este indicador; así, en el grupo con EA moderada y regurgitación mitral o aórtica agregada, hubo dos falsos positivos. Otros autores²⁶ también informaron una reducción de la sensibilidad ya que la asociación con insuficiencia moderada o grave dio origen a falsos negativos.

Es probable que una sobrecarga de volumen, si bien afecte la función sistólica global, también influya sobre los gradientes ya que el hiperflujo generado modifica las condiciones hemodinámicas, hecho mucho más evidente en el caso de una enfermedad aórtica a predominio de regurgitación. A diferencia del límite publicado²⁶ de 0,8, en nuestra población una relación $\leq 0,7$ identificó a todos los casos; la utilidad de un límite más estricto podría hallarse en lograr una mejoría de la especificidad sin reducción de la sensibilidad.

Como conclusión, es evidente que frente a la imposibilidad de utilizar el área valvular aórtica como parámetro de definición de la gravedad de la EA, el Doppler cardíaco sigue siendo una herramienta útil. Los criterios alternativos con mayor poder estadístico fueron la relación VTSVI/VA y la FA/G, manteniendo buenos resultados aun en aquellos pacientes con función sistólica ventricular izquierda deteriorada, y siempre que se excluyan las regurgitaciones valvulares asociadas. La utilidad de los GMI y Gm es relativa y puede originar frecuentes errores.

SUMMARY

The difficulties for the measurements of aortic valve area with cardiac Doppler are well known. Fifty seven patients with aortic stenosis were studied prospectively, with the aim of: 1) comparing alternative criteria like the acceleration time/ejection time in left ventricle outlet tract (≥ 0.52), the relation between left ventricle outlet tract velocity/maximal aortic valve velocity (≤ 0.25), maximal instantaneous gradient (≥ 80 mmHg), mean gradient (≥ 50 mmHg) and fractional shortening/maximal instantaneous gradient (≤ 0.8) for determining the aortic stenosis severity; 2) assessing the utility in patients with low cardiac output; 3) studying the influence of valvular associated lesions. Eleven patients had mild, 8 moderate and 38 severe aortic stenosis, evaluated through aortic valve area obtained with catheterism and/or Doppler. The acceleration time/ejection time in left ventricle outlet tract had a sensibility of 63% and specificity of 89%, left ventricle outlet tract velocity/maximal aortic valve velocity

100% and 89%, respectively; maximal instantaneous gradient 68 and 100%; mean gradient 78 and 100%, and fractional shortening/maximal instantaneous gradient 100 and 89%, respectively. In the group of patients with low cardiac output, the severity was better determined with left ventricle outlet tract velocity/maximal aortic valve velocity and fractional shortening/maximal instantaneous gradient; of course the gradients were lower; so an inferior limit must be taken into account for defining the severity. The acceleration time/ejection time in left ventricle outlet tract relation had a poor sensibility. Nineteen patients had a catheterism; 17 with severe and two with moderate aortic stenosis, in agreement with Doppler hemodynamic data. It is concluded that the most useful criteria for defining severity are left ventricle outlet tract velocity/maximal aortic valve velocity and fractional shortening/maximal instantaneous gradient, even though in the population with low cardiac output. The presence of associated regurgitant valvulopathy impairs the utility of these parameters.

BIBLIOGRAFIA

1. Warth D, Stewart W, Block P, Weyman A: A new method to calculate aortic valve area without left heart catheterization. *Circulation* 1984; 70: 978-983.
2. Kosturakis D, Allen H, Goldberg S, Sahn D, Valdez Cruz L: Noninvasive quantification of stenotic valve areas by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1984; 3: 1256-1262.
3. Skjaerpe T, Hegrenaes L, Hatle L: Noninvasive estimation of valve area in patients with aortic stenosis by Doppler ultrasound and two-dimensional echocardiography. *Circulation* 1985; 72: 810-818.
4. Oh J, Taliercio C, Holmes D, Reeder G, Bailey K, Seward J, Tajik J: Prediction of the severity of aortic stenosis by Doppler aortic valve area determination: prospective Doppler catheterization correlation in 100 patients. *J Am Coll Cardiol* 1988; 11: 1227-1234.
5. Come P, Riley M, McKay R, Safian R: Echocardiographic assessment of aortic valve area in elderly patients with aortic stenosis and of changes in valve area after percutaneous balloon valvuloplasty. *J Am Coll Cardiol* 1987; 10: 115-124.
6. Gardin J, Henry W, Savage D, Ware J, Burn C, Borer J: Echocardiographic measurements in normal subjects: evaluation of an adult population without clinically apparent heart disease. *J Clin Ultrasound* 1979; 7: 439-445.
7. Currie P, Seward J, Reeder G, Vlietstra R, Bresnahan D, Bresnahan J, Hagler D, Tajik A: Continuous wave Doppler echocardiographic assessment of severity of calcified aortic stenosis: a simultaneous Doppler catheter correlative study in 100 adults patients. *Circulation* 1985; 71: 1162-1169.
8. Otto C, Pearlman A, Comess K, Reamer R, Jako C, Huntsman L: Determination of the stenotic aortic valve area in adults using Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1986; 7: 509-517.
9. Nishimura R, Holmes D, Reeder G, Tajik J, Hatle L: Doppler echocardiographic observations during percutaneous aortic balloon valvuloplasty. *J Am Coll Cardiol* 1988; 11: 1219-1226.
10. Panidis I, Mintz G, Ross J: Value and limitations of Doppler ultrasound in the evaluation of aortic stenosis: a statistical analysis of 70 consecutive patients. *Am Heart J* 112 (1): 150-158.
11. Danielsen R, Nordrehaug J, Vik-Mo H: Factors affecting

- Doppler echocardiographic valve area assessment in aortic stenosis. *Am J Cardiol* 1989; 63: 1107-1111.
12. Roger V, Tajik A, Bailey K, Oh J, Taylor C, Seward J: Progression of aortic stenosis in adults: New appraisal using Doppler echocardiography. *Am Heart J* 1990; 119: 331-338.
 13. Feigenbaum H: *Echocardiography* (4th ed). Lea & Febiger, Philadelphia, 1986, pp 279-289.
 14. DeMaria A, Bommer W, Joye J, Lee G, Bouteller J, Mason D: Value and limitations of cross-sectional echocardiography of the aortic valve and the diagnosis and quantification of valvular aortic stenosis. *Circulation* 1980; 62: 304-312.
 15. Schwartz A, Vignola P, Walker H, King M, Goldblatt A: Echocardiographic estimation of aortic valve gradient in aortic stenosis. *Ann Intern Med* 1978; 89: 329-335.
 16. Chang S, Clements S, Chang J: Aortic stenosis: echocardiographic cusp separation and surgical description of aortic valve in 22 patients. *Am J Cardiol* 1977; 39: 499.
 17. Hatle L, Angelsen B: Lea & Febiger, Philadelphia, 1983, p 133.
 18. Zoghby W: Echocardiographic and Doppler ultrasonic evaluation of valvular aortic stenosis. *Echocardiography* 1988; 5: 23.
 19. Zoghby W, Sterling L, Farrer K: Accurate determination of aortic severity with pulse Doppler echocardiography independent of jet velocity (Abstract). *Circulation* 1985; 72 (Suppl III): 305.
 20. Callahan M, Tajik S, Su-Fan Q, Bove A: Validation of instantaneous pressure gradients measured by continuous wave Doppler in experimentally induced aortic stenosis. *Am J Cardiol* 1985; 56: 989.
 21. Smith M, Dawson P, Elion J: Correlation of continuous wave Doppler velocities with cardiac catheterization gradients: an experimental model of aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol* 1985; 6: 1306.
 22. Hegrenaes L, Hatle L: Aortic stenosis in adults: non invasive estimation of pressure differences by continuous wave Doppler echocardiography. *Br Heart J* 1985; 54: 396.
 23. Currie P, Hagler D, Seward J: Instantaneous pressure gradient: a simultaneous Doppler and dual catheter correlative study. *J Am Coll Cardiol* 1986; 7: 800.
 24. Zoghby W, Farer K, Soto J, Nelson J, Quiñones M: Accurate noninvasive quantification of stenotic aortic valve area by Doppler echocardiography. *Circulation* 1986; 73: 452.
 25. Richards K, Cannon S, Miller J, Crawford M: Calculation of aortic valve area by Doppler echocardiography: a direct application of the continuity equation. *Circulation* 1986; 73: 964.
 26. Mann D, Usher B, Hammerman S, Bell A, Gillam L: The fractional shortening velocity ratio: validation of a new echocardiographic Doppler method for identifying patients with significant aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15: 1578.