

ORIGINALS

Diagnòstic de l'estenosi valvular aòrtica per ecocardiografia-Doppler

G. Pons i Lladó, F. Carreras i Costa,
i F.X. Borràs i Pérez

DIAGNOSIS OF VALVULAR AORTIC STENOSIS BY DOPPLER-ECHOCARDIOGRAPHY

The purpose of the present study is to establish the value of Doppler examination in the quantitation of aortic stenosis in adult patients. Enclosed in the study were 32 patients catheterized because of a clinical diagnosis of aortic stenosis (17 cases) or combined stenosis and significant aortic regurgitation (15 cases). Maximal and mean ventriculo-aortic gradients were calculated by continuous-wave Doppler ultrasound, comparing these values with the same parameters obtained by catheterization. Doppler gradients (G) were calculated from flow velocities (v), applying the simplified Bernoulli's equation ($G = 4v^2$). A technically good Doppler signal was obtained in every patient. Correlation coefficient (r) was 0.79 when maximal gradients were compared, and 0.78 in case of mean gradients. We conclude that Doppler examination is useful in the quantitation of aortic stenosis, either alone or combined with aortic insufficiency.

Paraules clau:

Doppler, ecocardiografia, estenosi aòrtica.

DIAGNOSTICO DE LA ESTENOSIS VALVULAR AORTICA POR ECOCARDIOGRAFIA-DOPPLER

El objetivo del presente trabajo es la validación del examen Doppler en la cuantificación de la estenosis aórtica del adulto. Se estudian 32 pacientes sometidos a cateterismo cardíaco con el diagnóstico clínico de estenosis aórtica (17 casos) o estenosis asociada a insuficiencia aórtica significativa (15 casos). Se aplicó un examen Doppler de onda continua, comparándose en cada caso los gradientes máximo y medio entre ventrículo izquierdo y aorta con los obtenidos por cateterismo. El cálculo del gradiente (G) por Doppler se obtuvo a partir de la velocidad del flujo (v), aplicando la fórmula simplificada de Bernoulli ($G = 4v^2$). En todos los pacientes estudiados se pudo obtener una señal Doppler que se consideró adecuada para los cálculos. El coeficiente de correlación r al comparar los valores de gradiente máximo por ambas técnicas fue de 0,79, y en el caso del gradiente medio de 0,78. Se concluye que el examen Doppler es útil en la cuantificación de la estenosis aórtica del adulto, sea aislada o asociada a insuficiencia aórtica.

Ann Med (Barc), 1987;73: 217-221

Introducció

El diagnòstic clínic de la presència d'una estenosi valvular aòrtica (EVA) es basa en una sèrie de signes i símptomes ja clàssics en cardiologia¹. La valoració del grau de severitat de la lesió consisteix en la determinació de l'àrea efectiva valvular. Aquest càlcul requereix d'un cateterisme del cor esquerre, ja que la fórmula per a l'àrea relaciona aquest valor directament amb el flux que travessa la vàlvula (cabal cardíac), i inversament amb la velocitat que assoleix la sang a nivell postvalvular. Atès que, en el moment en què es varen portar a terme els estudis sobre aquesta equació², ni hi havien mètodes disponibles per determinar la velocitat de la sang, aquest paràmetre es va substituir per un valor directament relacionat, com era la diferència de pressions en sístole entre les cavitats que la vàlvula separa (gradient mitjà entre el ventricle esquerre i l'aorta).

A la pràctica, donada la complexitat de la fórmula i les fonts d'error en el càlcul dels paràmetres que la integren, la severitat d'una EVA sol estimar-se senzillament pel

denominat «gradient pic a pic», o diferència entre la pressió màxima intraventricular esquerra i la pressió aòrtica en sístole, expressada en mil·límetres de mercuri (mmHg). Encara que és obvi que, en cas d'una mateixa àrea valvular el gradient de pressió observat pot ésser diferent, dependent del cabal cardíac en cada moment, els clínics admeten que una EVA és important i, per tant, requereix tractament quirúrgic quan el gradient pic a pic és superior a 50 mmHg³. En aquestes condicions, i assumint que el cabal cardíac estigui dins de límits normals, l'àrea efectiva valvular és sempre inferior a 0,8 cm². De qualsevol manera, es precisa de la pràctica d'un cateterisme cardíac, única forma, en el moment actual, de determinar una pressió intracavitària.

El risc que comporta la pràctica d'una exploració cruenta, com és el cateterisme cardíac⁴, que, per tant, no es pot repetir a voluntat, ha propiciat la recerca d'altres formes de valoració de la severitat d'una EVA.

S'han descrit diversos mètodes per fonomecano⁵, cardiografia i ecocardiografia, en tècnica M i bidimensional, per a l'estimació de la severitat de l'EVA, encara que sempre de forma indirecta, bé per la valoració del grau de deformació valvular⁶ o de la repercussió de l'estenosi, com és la hipertròfia ventricular⁷. No obstant això, i per variades raons, especialment metodològiques⁸, aquestes tècniques «no invasives» no han demostrat, en estudis

Servei de Cardiologia i Unitat Coronària. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Barcelona.

Correspondència: Dr. G. Pons i Lladó, Servei de Cardiologia. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Avgda. Sant Antoni M. Claret 167. 08025-Barcelona.

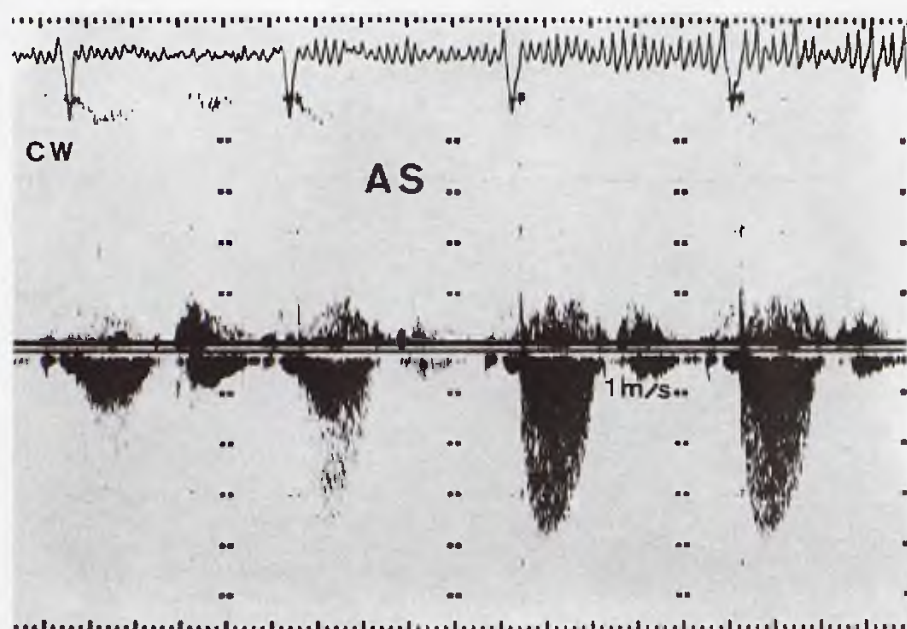


Fig 1. Corba de velocitats del flux aòrtic determinada per Doppler continu (CW) en un cas d'estenosi aòrtica (AS). Registre obtingut per via apical que demostra com lleugeres variacions en l'angulació del transductor poden modificar sensiblement la qualitat del senyal: els dos primers batecs de la figura mostren un espectre de velocitats incomplet.

comparatius amb el cateterisme, prou valor predictiu en el diagnòstic de la severitat de l'EVA com per convèncer els propis clínics⁹ ni, òbviament, els hemodinamistes¹⁰.

No ha estat fins la introducció de la tècnica Doppler que s'ha pogut determinar de manera incruenta el gradient transaòrtic de forma quantitativa, donades les especials característiques d'aquesta tècnica, que permet la mesura de la velocitat sanguínia¹¹. Atès que la presència d'una estenosi origina una acceleració de la velocitat de la sang, a fi que el cabal a través de la vàlvula es mantingui constant, la velocitat assolida per la sang està directament relacionada amb la quantia de l'estenosi, i és proporcional al gradient transaòrtic instantani obtingut per cateterisme cardíac. La base física per aquests càlculs és l'equació de Bernoulli, que relaciona la caiguda de pressió entre les cambres proximal i distal a l'obstrucció ($p_1 - p_2$), una magnitud de l'energia que es precisa per a conduir el flux al llarg d'una estenosi, amb una sèrie de factors: a) l'acceleració convectiva és el principal, i representa aquella part de l'energia utilitzada en produir un augment de velocitat de la sang que travessa l'obstrucció; b) l'acceleració del flux està en relació amb la longitud de l'orifici estenòtic, poc important en el cas de les vàlvules cardíques, i c) les forces de fricció degudes a la viscositat del líquid també han d'ésser vençudes per l'energia que representa el gradient de pressió.

L'equació de Bernoulli expressa aquestes relacions en la forma: $p_1 - p_2 = [1/2 \rho(v_2^2 - v_1^2)] + [\rho \int_1^2 dv/dt \cdot ds] + [R(v)]$. (1)

acceleració convectiva/acceleració del flux/fricció

p_1 = pressió proximal a l'estenosi; p_2 = pressió distal; ρ = densitat de la sang; v_2 = velocitat distal; v_1 = velocitat proximal; dv/dt = acceleració; ds = longitud estenosi; R = resistència viscosa.

Aquesta fórmula, aparentment complexa, pot ésser simplificada per a la seva aplicació clínica, ja que s'ha demostrat que, per les àrees dels orificis valvulars del cor humà, i fins estenòtics, i pels valors de la velocitat que

assoleix la sang en travessar aquests orificis, els factors d'acceleració del flux i de fricció viscosa poden ésser raonablement menyspreats¹². L'equació, així, se simplifica notablement:

$$p_1 - p_2 = 1/2 \rho(v_2^2 - v_1^2). \quad (2)$$

Atès que, a més a més, la velocitat de la sang abans de l'estenosi (v_1) és molt baixa i el seu valor a la potència 2 minva en molt poc el de la velocitat postestenòtica, pot ésser també eliminat de la fórmula. Ara, introduint el valor de la densitat de la sang ρ ($1,06 \times 10^3$), podem obtenir, aproximadament:

$$p_1 - p_2 = 4v_2^2. \quad (3)$$

Aquesta és la denominada equació simplificada de Bernoulli, que relaciona directament la caiguda (gradient) de pressió entre les cambres proximal i distal a l'estenosi ($p_1 - p_2$) amb la velocitat màxima de la sang després de l'obstrucció (v_2). La fórmula s'ha aplicat amb èxit per a la determinació del gradient hemodinàmic a l'EVA, tant en condicions clíniques¹³, com experimentals¹⁴.

A partir d'aquestes bases teòriques es va iniciar un estudi de l'aplicació de l'examen Doppler al diagnòstic de l'EVA, comparant el gradient obtingut per Doppler amb el del cateterisme cardíac, dins d'un programa més ampli, que es porta a terme en el nostre Gabinet, de validació de la tècnica Doppler en diferents valvulopaties^{15, 16}.

Material i mètodes

El grup d'estudi va constar de 32 pacients diagnòstics clínicament d'EVA, 20 homes i 12 dones, amb una edat mitjana de 59 ± 14 anys (de 17 a 78). En 23 casos hi havia insuficiència valvular aòrtica agregada per angiografia, encara que tan sols en 15 pacients es va considerar com a significativa (graus II i III sobre IV).

L'estudi Doppler es va portar a terme amb un equip Hewlett-Packard que incorpora un sistema de Doppler continu amb un transductor de 1,9 MHz i presenta el senyal de flux amb anàlisi espectral i, en alguns casos,

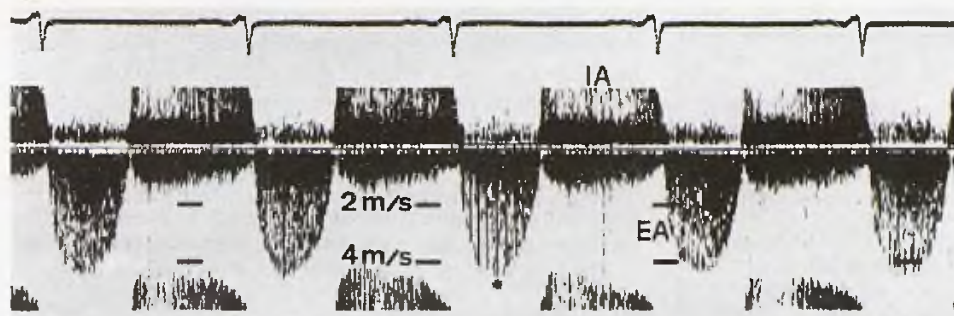


Fig 2. Estudi Doppler continu per via apical en un cas de doble lesió aòrtica. Determinació dels gradients màxim (*) i mitjà a partir de la corba de velocitats. EA: senyal d'estenosi aòrtica; IA: senyal d'insuficiència aòrtica.

amb un equip Pedof (Vigmed) amb sonda de 2 MHz i analitzador espectral Daisy (Vigmed), que permet l'obtenció de senyals de flux amb les mateixes condicions que l'anterior.

L'exploració sistemàtica en cada pacient va incloure la captació del senyal de flux sistòlic transaòrtic per aplicació del transductor a les regions apical, paraesternal dreta i subcostal, practicant lleugeres angulacions guiats pel senyal acústic, fins a reconèixer el flux aòrtic, tal com han descrit altres autors¹³. La projecció en què es va obtenir amb més freqüència un senyal adequat va ésser l'apical (fig. 1). Es va practicar un registre en paper a una velocitat de 100 mm/seg, calculant, posteriorment, el gradient màxim instantani a partir de la màxima velocitat de la corba Doppler, a la qual s'aplicava la fórmula (3) $\text{Gradient} = 4v^2$. El gradient mitjà al llarg de la sistole es va calcular fent una mitjana de la suma dels valors del gradient instantani a intervals de 30 mil·lisegons (fig. 2).

L'estudi hemodinàmic es va portar a terme, generalment, amb 24 hores d'interval respecte del Doppler, encara que en alguns casos hi havia més diferència, no superior mai a una setmana. El gradient transaòrtic es va obtenir comparant les corbes intraventricular i aòrtica en practicar una retirada d'un catèter situat inicialment al ventricle esquerre. En cada pacient es va considerar el gradient màxim, el mitjà, calculat per planimetria, i el pic a pic, tots ells mesurats en una seqüència en què la freqüència cardíaca fos comparable a la de l'examen Doppler (diferència màxima del 10 %).

L'anàlisi de les dades es va fer pel càlcul del coeficient de correlació i la recta de regressió dels valors del gradient màxim i mitjà per ambdues tècniques.

Resultats

L'anàlisi Doppler del senyal de flux transaòrtic va ésser tècnicament adequada excepte en un cas, pel que fa al càlcul del gradient mitjà, i la via d'estudi apical va ésser la que amb més freqüència va permetre l'obtenció de senyals correctes.

La correlació entre els gradients màxims per Doppler i hemodinàmica (fig. 3) va mostrar un coeficient r de 0,79 i en el cas dels gradients mitjans (fig. 4) va ésser de 0,78.

Discussió

Els nostres resultats, igualment que els que comuniquen altres autors^{13,17,18}, permeten considerar l'examen Doppler com a mitjà eficaç per a l'estimació del gradient de pressió a l'EVA.

Encara que el gradient hemodinàmic pic a pic és habitual a la pràctica clínica per a caracteritzar una EVA, en realitat no és una mesura ortodoxa, ja que té en compte dos paràmetres no simultanis en el temps, com són el pic màxim de pressió intraventricular i aòrtica. Per aquesta raó no hem intentat fer correlacions d'aquest valor amb les dades de l'examen Doppler, que permet estimar el gradient instantani i el mitjà, però no el que es deriva de dos fenòmens no simultanis¹³. La forma més correcta de valorar una estenosi és el gradient mitjà, en el qual les correlacions observades són bones, i si no són excel·lents és a causa de 4 casos en què el gradient es va subestimar per Doppler (fig. 4). Aquests casos es podrien haver considerat, per Doppler, com a portadors d'una EVA de grau moderat quan, en realitat, era severa. En cap cas, per altra part, no va passar per alt la presència d'EVA, fins i tot lleugera. Atribuïm aquesta infraestimació a un angle d'incidència massa gran entre el feix d'ultrasons i el flux de sang, cosa que redueix falsament la velocitat màxima enregistrada per Doppler.

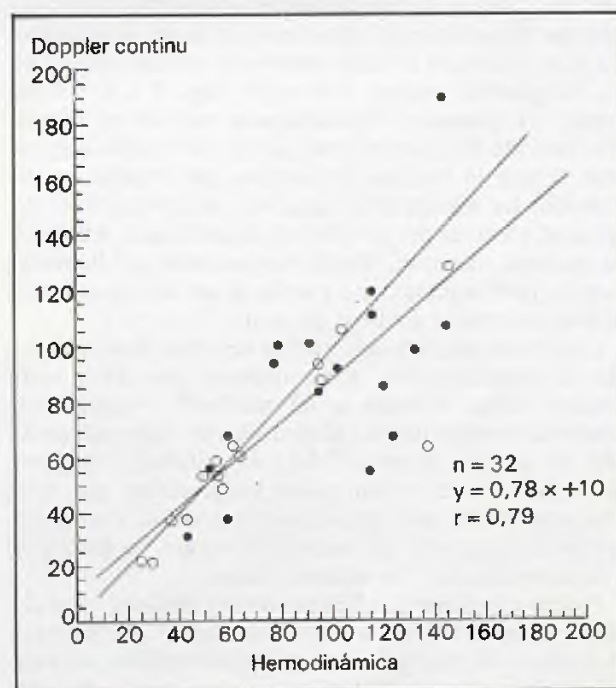


Fig 3. Correlació entre els gradients transvalvulars aòrtics màxims (mmHg) determinats per Doppler continu i per cateterisme. •: casos d'EVA sense insuficiència aòrtica significativa; ○: casos d'EVA amb insuficiència associada de grau almenys moderat o important.

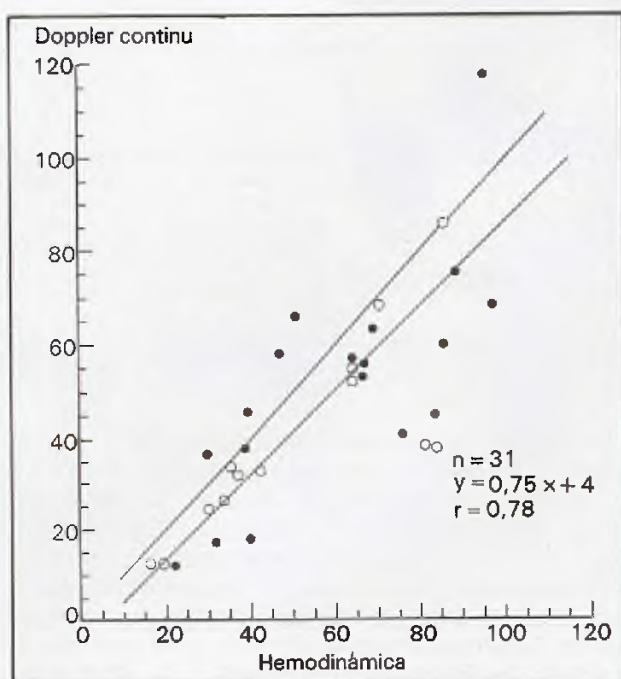


Fig. 4. Correlació entre els gradients transvalvulars aòrtics mitjans (mmHg) determinats per Doppler continu i per cateterisme. *: casos d'EVA sense insuficiència aòrtica significativa; ○: casos d'EVA amb insuficiència associada de grau almenys moderat o important.

Es varen considerar separatament els casos amb insuficiència aòrtica significativa, ja que alguns autors¹⁷ han recomanat precaució en l'estimació del gradient d'una EVA per Doppler en cas de regurgitació aòrtica agregada, atès que pot augmentar falsament les dades obtingudes. No hem confirmat aquesta observació ja que, tant en el cas de gradient màxim com mitjà (figs. 3 i 4, cercles oberts), la presència d'insuficiència aòrtica no induïa desviació de les correlacions. El fet no resulta sorprenent, ja que un augment de velocitat per Doppler ha de correspondre sempre a un gradient. Així, l'augment de velocitat observat per Doppler en aquests casos reflecteix un gradient transitori, també enregistrable per hemodinàmica, però tanmateix no aparent si tan sols es considera el qüestionable gradient pic a pic.

L'aplicació pràctica dels nostres resultats és considerable. Si acceptem com a significativa una EVA amb gradient mitjà superior a 40 mmHg¹⁸, veurem que l'examen Doppler permet la identificació d'aquests casos amb un alt grau de sensibilitat i especificitat, i els pocs casos que s'infraestimen cauen lleugerament per sota d'aquests valors, amb la qual cosa la possibilitat que una avaluació integrada del pacient desestimi la presència d'EVA significativa és realment baixa.

Podem concloure que l'estimació del gradient hemodinàmic màxim i mitjà a l'EVA de l'adult per examen Doppler d'ona contínua mostra bona correlació amb els valors obtinguts del cateterisme cardíac i pot ésser aplicada de rutina en l'estudi d'aquests pacients, amb l'avantatge de l'innocuitat del mètode. La presència d'insuficiència aòrtica agregada no limita l'aplicabilitat de la tècnica.

En cada cas es requereix una exploració exhaustiva de les diferents vies d'accés al flux aòrtic, a fi d'obtenir la millor alineació possible entre el feix d'ultrasons i el flux en qüestió. Així s'eviten infraestimacions de les velocitats màximes i, per tant, del gradient calculats. A la majoria de casos es poden obtenir senyals satisfactoris, especialment emprant la via apical. En el nostre estudi, en cap cas aquest problema no va representar una limitació significativa des d'un punt de vista pràctic.

Resum

L'objecte del present estudi és la validació de l'examen Doppler per a la quantificació de l'estenosi aòrtica de l'adult. S'estudien 32 malalts sotmesos a cateterisme cardíac amb el diagnòstic clínic d'estenosi aòrtica (17 casos), o bé d'estenosi associada a regurgitació significativa (15 casos). Es va aplicar un examen Doppler d'ona contínua, comparant en cada cas els gradients màxim i mitjà entre ventricle esquerre i aorta, amb els obtinguts per cateterisme. El càlcul del gradient (G) per Doppler es va obtenir a partir de la velocitat del flux (v), aplicant la fórmula simplificada de Bernoulli ($G = 4v^2$). En tots els malalts estudiats es va poder obtenir un senyal Doppler que es va considerar adequat pels càlculs. El coeficient de correlació r en comparar els valors del gradient màxim per ambdues tècniques va ésser de 0,79, i de 0,78 en el cas del gradient mitjà. Es conclou que l'examen Doppler és d'utilitat en la quantificació de l'estenosi aòrtica de l'adult, bé aïllada o associada a insuficiència aòrtica.

Agraïments

Aquest treball ha estat subvencionat en part per la Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica (CIRIT) de la Generalitat de Catalunya.

Bibliografia

1. Wood P. Aortic stenosis. *Am J Cardiol* 1958; 1: 553-571.
2. Gorlin R, Gorlin SG. Hydraulic formula for calculation of the area of the stenotic mitral valve, other cardiac valves, and central circulatory shunts. *Am Heart J* 1951; 41: 1.
3. Morrow AG, Roberts WC, Ross J Jr, et al. Obstruction to left ventricular outflow. Current concepts of management and operative treatment. *Ann Intern Med* 1969; 69: 1.255-1.286.
4. Esplugas E, Barthe JE, Jara F, Pallarés C, Pujol M, Curós A. Complicaciones del cateterismo cardíaco. Estudio de 2.000 pacientes consecutivos. *Rev Esp Cardiol* 1982; 35:233-240.
5. Bonner AJ, Sacks HN, Tavel ME. Assessing the severity of aortic stenosis by phonocardiography and external carotid pulse recordings. *Circulation* 1973; 48: 247-252.
6. DeMaria AN, Bommer W, Joye J, Lee G, Bouteller J, Mason DT. Value and limitations of cross-sectional echocardiography of the aortic valve in the diagnosis and quantification of valvular aortic stenosis. *Circulation* 1980; 62: 304-312.
7. Aziz KU, Grondelle A, Paul MH, Muster AJ. Echocardiographic assessment of the relation between left ventricular wall cavity dimensions and peak systolic pressure in children with aortic stenosis. *Am J Cardiol* 1977; 40: 775-780.
8. DePace NL, Ren JF, Iskandrian AS, Kotler MN, Hakki A, Segal BL. Correlation of echocardiographic wall stress and left ventricular pressure and function in aortic stenosis. *Circulation* 1983; 67: 854-859.
9. Parisi AF, Folland ED. Are noninvasive tests sufficient for preoperative evaluation of aortic stenosis?. *J Am Coll Cardiol* 1984; 3: 1.092-1.095.

10. Hildner FJ. Good science is not always the best medicine. *J Am Coll Cardiol* 1984; 3: 1.097-1.098.
11. Carreras F, Cladellas M. Bases de la aplicación del efecto Doppler en cardiología. *Med Clin (Barc)* 1985; 84: 240-247.
12. Holen J, Aaslid R, Landmark K, Simonsen S, Strem T. Determination of effective orifice area in mitral stenosis from non-invasive ultrasound Doppler data and mitral flow rate. *Acta Med Scand* 1977; 201: 83-88.
13. Hegrenæs L, Hatle L. Aortic stenosis in adults. Non-invasive estimation of pressure differences by continuous wave Doppler echocardiography. *Br Heart J* 1985; 54: 396-404.
14. Callahan MJ, Tajik AJ, Su-Fan Q, Bove AA. Validation of instantaneous pressure gradients measured by continuous-wave Doppler in experimentally induced aortic stenosis. *Am J Cardiol* 1985; 56: 989-993.
15. Pons G, Carreras F, Ballester M et al. Valoración de la estenosis mitral mediante Doppler continuo. *Rev Esp Cardiol* 1985; 38 (suppl. II): 46.
16. Pons-Lladó G, Carreras-Costa F, Ballester-Rodés M, Augé-Sampera JM, Crexells-Figueres C, Oriol-Palou A. Pulsed Doppler patterns of left atrial flow in mitral regurgitation. *Am J Cardiol* 1986; 57: 806-810.
17. Krafchek J, Robertson JH, Radford M, Adams D, Kisslo J. A reconsideration of Doppler assessed gradients in suspected aortic stenosis. *Am Heart J* 1985; 110: 765-773.
18. Yeager M, Yock PG, Popp RL. Comparison of Doppler-derived pressure gradient to that determined at cardiac catheterization in adults with aortic valve stenosis: implications for management. *Am J Cardiol* 1986; 57: 644-648.