

# Rendimiento de la ecocardiografía transtorácica con sonda de alta frecuencia en el estudio de la descendente anterior

José L. Moya Mur, Gabriela Guzmán, Paz Catalán, Alicia Megías, Soledad Ruiz, Vivencio Barrios, Javier Ortega, Carmen de Pablo, Claudia Harriague, Alberto García Lledó y Enrique Asín Cardiel

Instituto de Cardiología. Hospital Ramón y Cajal. Madrid.

**Introducción y objetivos.** Se realizó este estudio con el objetivo de valorar el rendimiento y la utilidad de la ecocardiografía transtorácica (ETT) con sonda de alta frecuencia para detectar y analizar el flujo de la descendente anterior en pacientes con lesiones de la misma y en pacientes con infarto anterior.

**Material y métodos.** Se estudiaron 11 pacientes con lesiones mayores del 75% y 10 pacientes con infarto anterior previo. Los resultados se compararon con un grupo control de 18 sujetos. Se intentó localizar la descendente anterior en el surco interventricular anterior partiendo de una proyección apical de 4 cámaras. Se consideró que se detectaba la descendente anterior cuando se registraba con Doppler pulsado un flujo predominante diastólico.

**Resultados.** La arteria fue detectada en 37/39 (94,9%) pacientes. Los pacientes con lesiones coronarias presentaron una disminución en el límite de la significación del cociente velocidad pico diastólica/sistólica: 2,5 (desviación estándar [DE], 0,7) frente a 1,8 (DE, 0,3) ( $p = 0,024$ ). Los pacientes con infarto anterior presentaron un cociente velocidad pico diastólica/sistólica más disminuido respecto a los controles: 2,5 (DE, 0,7) frente a 1,4 (DE, 0,3) ( $p = 0,001$ ).

**Conclusiones.** El flujo de la descendente anterior se puede analizar con ETT y sonda de alta frecuencia en más del 90% de los casos. Los pacientes con lesiones coronarias y aquellos con infarto tienen disminución del cociente de velocidad pico diastólica/sistólica.

**Palabras clave:** *Ecocardiografía. Enfermedad coronaria. Aterosclerosis.*

(*Rev Esp Cardiol* 2001; 54: 16-21)

## Transthoracic Echocardiography Study of the Left Anterior Descending Coronary Artery with a High Frequency Transducer

**Introduction and objectives.** This study was performed to evaluate the feasibility and utility of a transthoracic high frequency transducer to detect and measure the left anterior descending coronary artery flow in patients with lesions in this artery or anterior myocardial infarction.

**Material and methods.** We studied 11 subjects with lesions greater than 75% and another 10 with anterior myocardial infarction. We compared the results with a control group of 18 subjects. An ATL HDI 5000 ultrasound unit with a 5-8 MHz transducer was used to identify the left anterior descending in the anterior interventricular sulcus from an apical four chamber window. We considered that left anterior descending was detected when a diastolic predominant flow pattern was obtained with pulse Doppler.

**Results.** Left anterior descending was detected in 37/39 of cases (94.4%). Patients with coronary lesions showed a decrease in the limit of significance in the diastolic/systolic peak velocity ratios: 2.5 (SD 0.7) vs 1.8 (SD 0.3) with a  $p = 0.024$ . Patients with anterior myocardial infarction obtained lower diastolic/systolic peak velocity ratios than controls: 2.5 (SD 0.7) vs 1.4 (SD 0.3) with a  $p = 0.001$ .

**Conclusions.** Left anterior descending coronary artery flow can be assessed by transthoracic high frequency echocardiography in greater than 90% of the cases. Patients with coronary lesions and those with anterior myocardial infarction have a decreased diastolic/systolic peak velocity ratio.

**Key words:** *Echocardiography. Coronary disease. Atherosclerosis.*

(*Rev Esp Cardiol* 2001; 54: 16-21)

Correspondencia: Dr. J.L. Moya Mur.  
Unidad de Diagnóstico por Imagen. Instituto de Cardiología.  
Hospital Ramón y Cajal.  
Ctra. de Colmenar, km 9.100. 28034 Madrid.  
Correo electrónico: jmoya@hrc.insalud.es

Recibido el 7 de enero del 2000.

Aceptado para su publicación el 10 de julio del 2000.

## INTRODUCCIÓN

Hay un creciente interés por el estudio no invasivo del árbol coronario. Un estudio de este tipo permitiría valorar la progresión de las estenosis coronarias, la eficacia de técnicas como la fibrinólisis o la permanencia de la permeabilidad de dichas arterias tras diversas técnicas como la implantación de *stents*;

**ABREVIATURAS**

- DA: arteria descendente anterior.
- ETT: ecocardiografía transtorácica.
- FRP: frecuencia de repetición de pulsos.
- IAM: infarto agudo de miocardio.
- VTI: integral de la velocidad en función del tiempo.

todo ello sin la necesidad de cateterismos diagnósticos sucesivos.

Diversos métodos no invasivos están evolucionando notablemente, y así la resonancia magnética cardíaca<sup>1</sup> y la tomografía axial computarizada con haz de electrones<sup>2</sup> permiten visualizar los segmentos proximales de las arterias coronarias. Los ultrasonidos ya han sido ampliamente utilizados en el estudio del flujo sanguíneo de vasos periféricos, y son múltiples los estudios realizados sobre los segmentos coronarios proximales mediante ecocardiografía transtorácica (ETT)<sup>3</sup> y transesofágica<sup>4</sup>, pero es últimamente cuando se está intentando evaluar el flujo de la arteria mamaria interna, tanto nativa<sup>5</sup> como pontada<sup>6</sup>, y el flujo coronario distal<sup>7</sup> mediante ETT, utilizando para ello sondas de alta frecuencia.

Nuestro objetivo con este estudio es analizar la aplicabilidad de la técnica, así como estudiar las características del flujo de la arteria descendente anterior (DA) en sus segmentos más distales, tanto en sujetos sanos como en pacientes con lesiones coronarias (tengan o no infarto agudo de miocardio [IAM] anterior).

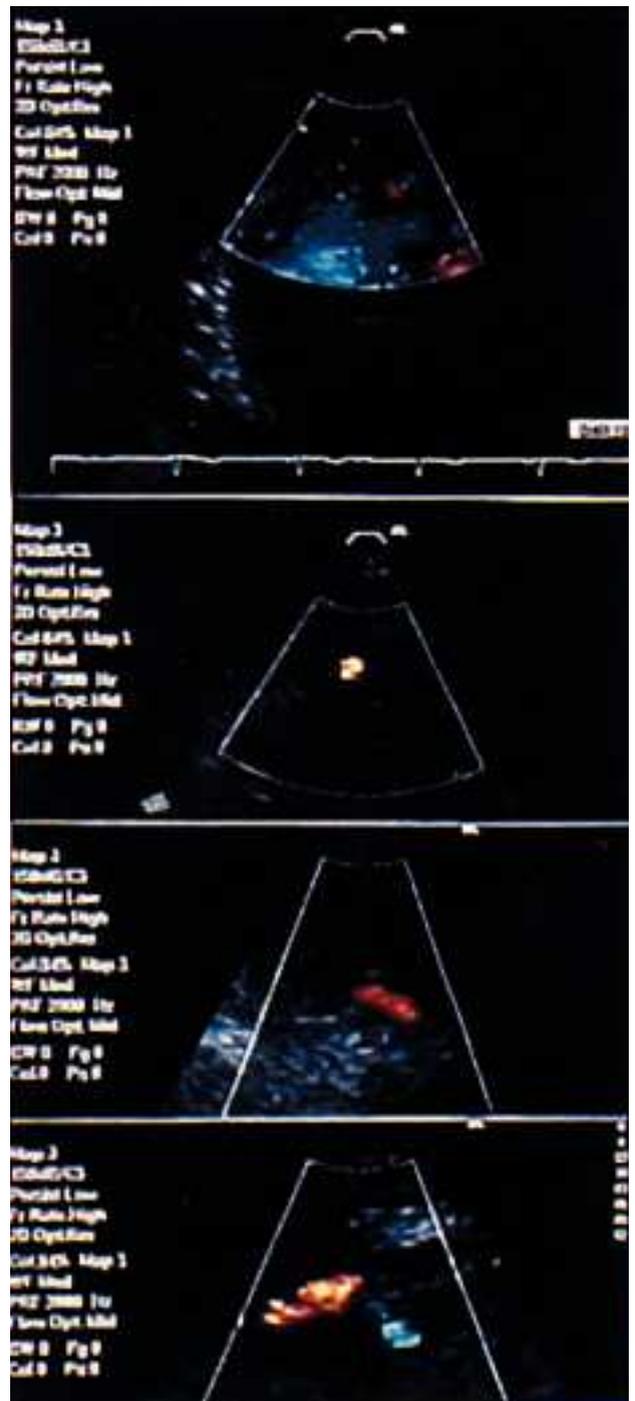
**MATERIAL Y MÉTODOS**

**Pacientes**

Hemos estudiado a 39 sujetos consecutivos en ritmo sinusal, sin seleccionarlos en función de su ventana acústica. Se clasificaron en tres grupos: grupo control, 18 sujetos sanos sin sospecha clínica de lesiones en la DA (edad, 60 años; desviación estándar [DE], 13; 60% varones); grupo con lesión en la DA, 11 pacientes con lesión mayor del 75% en la DA en cateterismo realizado en un período de tiempo inferior a 2 meses y sin cambio en su situación clínica (edad, 70 años; DE, 8; 72% varones), y grupo de IAM, 10 pacientes con IAM previo de localización anterior (edad, 65 años; DE 9; 50% varones).

**Ecocardiografía (fig. 1)**

- El cardiólogo que realizaba la prueba no disponía de los antecedentes cardiológicos del paciente ni de los resultados del cateterismo en caso de que lo hubiera.
- El estudio se realizó con un equipo ATL HDI 5000 (Phillips, EE.UU.). Con una sonda de 2-4 MHz y en



**Fig. 1.** De superior a inferior: registro de Doppler color en una proyección 4 cámaras apical, en el que se observa en el surco ventricular un pequeño flujo color, redondeado, diastólico, indicativo de la localización de la arteria descendente anterior (DA); la ampliación de la zona con zoom de alta resolución permite una mejor localización del área color; girando el transductor de manera antihoraria se logra registrar de uno a 2 cm de la DA, y desde este plano se determina su diámetro; en esta proyección se aprecia un nuevo flujo de color azul que se aleja del anterior y que corresponde a una arteria septal.

decúbito lateral izquierdo se localiza la ventana donde mejor se obtiene un registro del plano de 4C apical, anotando a qué distancia de la pared se encuentra el

TABLA 1. Tabla de resultados

	Sin lesiones	Lesiones sin IAM	IAM anterior
Diámetro (mm)	2,2 (0,4)	2,0 (0,6)	2,4 (0,5)
VPd (cm/s)	24,6 (7,3)	20,3 (9,2)	18,0 (10)
VPs (cm/s)	10,1 (4,3)	10,5 (4,3)	13,5 (8,1)
VTId (cm)	7,7 (2,9)	7,2 (2,4)	7,7 (4,6)
VTIs (cm)	1,2 (1,1)	1,3 (1)	2 (1,9)
VPd/VPs*	2,5 (0,7)	1,8 (0,3)**	1,4 (0,3)***
VTId/VTIs	5,4 (2)	4,5 (1,5)	3,9 (1,1)
VTId + VTIs (cm)	8,91 (3,5)	8,2 (2,6)	9,7 (6,3)

\*p < 0,001 entre los tres grupos; \*\*p = 0,024 comparado con controles; \*\*\*p < 0,001 comparado con controles. Entre paréntesis se expresa la desviación estándar. VPd y VPs: velocidad pico diastólica y sistólica, respectivamente; VPd/VPs: cociente de las velocidades pico diastólica/sistólica; VTId y VTIs: integral de la velocidad en función del tiempo en diástole y en sístole, respectivamente; VTId/VTIs: cociente de las integrales de velocidad en función del tiempo diastólica/sistólica; VTId + VTIs: integral de la velocidad en función del tiempo en todo el ciclo cardíaco.

surco interventricular. Desde el mismo punto se comienza el estudio con una sonda 5-8 MHz analizando a una profundidad menor de 6 cm, de manera que se registre el ápex de ambos ventrículos y se aprecia el triángulo grasoso del surco interventricular, por donde discurre la DA. En este plano se comienza el estudio con Doppler color, con una frecuencia de repetición de pulsos (FRP) de 2.000 Hz y con el área de color centrada en el surco interventricular. Si conseguimos ver un flujo diastólico, ampliamos la imagen centrada en el surco con el zoom de alta resolución. Si no se consigue ver dicho flujo diastólico, colocamos el área color a la distancia calculada con la sonda de 2-4 MHz. Se aprecia la DA como una pequeña estructura circular de color rojo, que aparece en diástole. Una vez identificada, se gira el transductor en dirección antihoraria para buscar un plano longitudinal donde se registra 1-2 cm de la DA. Es en este plano donde se mide la anchura del *jet* color y se analiza el flujo con Doppler pulsado. Se intenta conseguir la mejor alineación del Doppler con el flujo de la DA. No corregimos las determinaciones del Doppler pulsado por el ángulo entre ambos ejes.

En caso de no conseguir el flujo de la DA con esta aproximación, realizamos dos maniobras diferentes:

1. Bajar la FRP del Doppler color a 1.500 Hz, 1.000 Hz o incluso menos. Con estas FRP se puede producir mucho artefacto de pared, lo que obliga a aumentar el filtro de pared o a tener que volver a una FRP superior.

2. Subir a un espacio intercostal más alto y comenzar de nuevo.

En este estudio, en ningún caso hemos utilizado ecopotenciadores.

### Determinaciones

En el estudio con Doppler color se midió la anchura del *jet* color del flujo de la DA en un plano longitudinal. El estudio con Doppler pulsado se realizó en apnea postespiratoria no forzada, anotando las siguientes determinaciones: velocidad pico diastólica y sistólica, in-

tegral de la velocidad en función del tiempo (VTI) diastólica y sistólica, VTI total y relación VTI diastólica/VTI total. Se utiliza la medida promedio de tres determinaciones. Dada la dificultad de registrar todo el flujo coronario en el mismo latido (debido al movimiento cardíaco), las determinaciones diastólicas y sistólicas, en algunos casos, no corresponden al mismo ciclo, pero sí al mismo segmento de la DA, ya que no se movilizó la posición del volumen de muestra en ningún momento. Se discriminó de forma subjetiva qué casos presentaban un buen/regular registro Doppler.

### Análisis estadístico

Se utilizó el paquete SPSS 8.0. Los datos se presentan como valores medios con su correspondiente desviación estándar (DE). La diferencia entre los tres grupos se determinó utilizando el análisis de la variancia (*one way ANOVA*) y el test de Bonferroni para valores cuantitativos y tablas de contingencia aplicando el test de la  $\chi^2$  para valores dicotómicos. Se consideran significativas las diferencias que presentan p < 0,05, excepto para el test de Bonferroni, que se exigió una significación con p < 0,02.

### RESULTADOS

La descendente anterior se registró en 37 de 39 pacientes (94,5%). Siempre que la DA fue visible se pudo registrar el flujo con Doppler pulsado. En el 75,6% de los casos el registro de la DA fue de calidad suficiente como para medir la anchura del flujo color y con registros de Doppler pulsado bien definidos. En el 24,4% restante se detectaba un pequeño flujo color en el surco con comportamiento típico en el Doppler pulsado. En estos casos la calidad del registro Doppler pulsado fue ligeramente inferior, con bordes peor definidos.

Los parámetros determinados con Doppler color y pulsado en los tres grupos estudiados se presentan en la tabla 1.

En el grupo control se detectó la DA en 17 de 18 pacientes (94,4%). No se pudo registrar en un varón probablemente debido a la escasez de grasa epicárdica y a la taquicardia que presentaba el enfermo. En el grupo con lesiones en la DA sin IAM se detectó el flujo de la DA en 11 de 11 pacientes (100%). En el grupo con IAM anterior se registró la DA en 9 de 10 sujetos (90%). No se registró en una mujer de 83 años con IAM anteroseptal extenso, con pared muy adelgazada, en quien la ausencia de coronariografía no nos permitió conocer si la DA estaba permeable.

Los pacientes con lesiones coronarias, respecto a los controles, presentaron un descenso no significativo en las velocidades diastólicas (20,3 cm/s [DE, 9,21] frente a 24,56 cm/s [DE, 7,29]), mostrando el cociente de las velocidades pico diastólica/sistólica una disminución en el límite de la significación (1,8 [DE, 0,3] frente a 2,5 [DE, 0,7] [p = 0,024]).

Los sujetos con IAM previo presentaron disminución de la velocidad pico diastólica, con aumento de los componentes sistólicos, de manera que el cociente de velocidad pico diastólica/sistólica fue significativamente diferente del del grupo control (1,4 [DE, 0,3] frente a 2,5 [DE, 0,7] [p < 0,001]) e inferior al del grupo con lesiones sin infarto (1,4 [DE, 0,3] frente a 1,8 [0,3]). El cociente de velocidad pico diastólica/sistólica tiene un valor inferior a 2 en el 100% de los sujetos con IAM, en el 75% de los pacientes con lesiones y sólo en el 30% de los controles (fig. 2).

Los valores de VTI y de los cocientes de VTI diastólico/sistólico en los pacientes con lesiones y en los pacientes con IAM tendieron al mismo comportamiento que la velocidad pico, pero sus diferencias no fueron significativas con respecto a los controles.

En una paciente con IAM anterior apical se detectó un flujo turbulento, con velocidades muy aumentadas (fig. 3) (velocidad pico de 123 cm/s), lo que indica la localización de la estenosis coronaria causante del IAM (los datos de flujo de esta pacientes no se incluyeron en el análisis global).

## DISCUSIÓN

Este trabajo indica que, utilizando una sonda de alta frecuencia con ETT, podemos registrar la DA en más del 90% de los sujetos. Este porcentaje de detección incluye a pacientes con lesiones coronarias conocidas y con infarto anterior, situaciones en las que la presumible disminución del flujo coronario apunta a una mayor dificultad en la obtención de un registro. Conseguiamos un buen registro de la DA en el 75% de los casos sin la ayuda de ecopotenciadores.

Hemos apreciado cómo en pacientes con lesiones coronarias significativas los componentes diastólicos de flujo están ligeramente disminuidos y que en aquellos con IAM los sistólicos también están aumentados, de manera que el cociente de velocidades pico diastó-

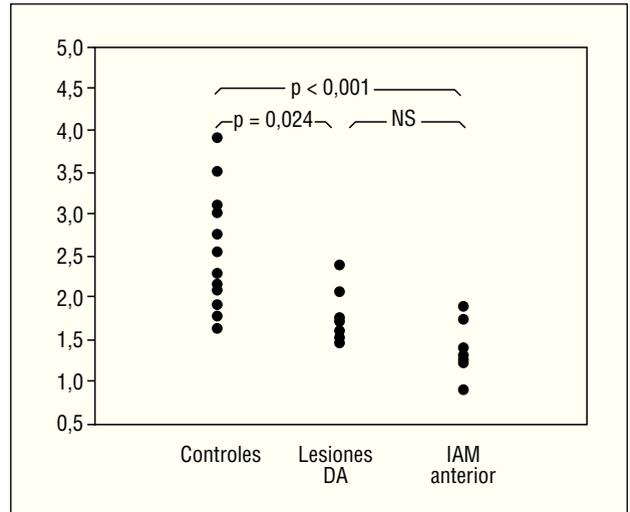


Fig. 2. Reproducción gráfica del cociente de la velocidad pico diastólica/sistólica, determinadas con Doppler pulsado en la arteria descendente anterior (DA) distal, en los tres grupos estudiados. IAM: infarto agudo de miocardio; NS: no significativo.

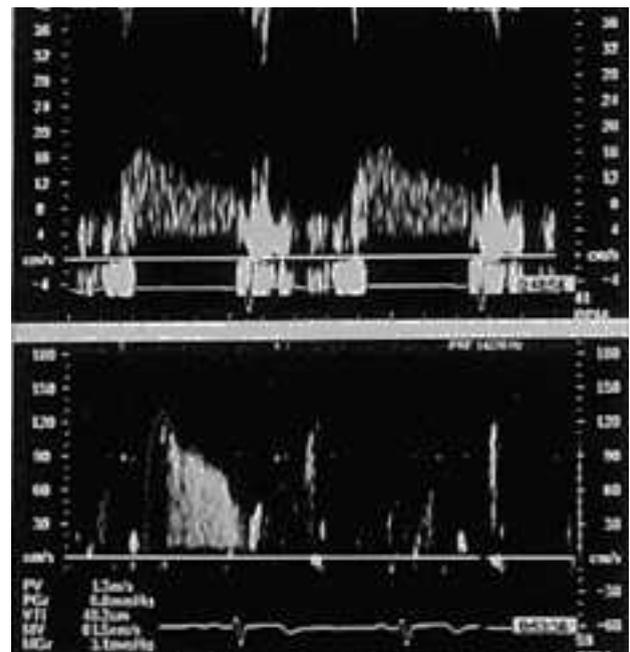


Fig. 3. Superior: registro Doppler pulsado de la arteria descendente anterior (DA) donde se observa el típico componente bifásico de predominio diastólico, con una velocidad pico de 18 cm/s. Inferior: registro Doppler pulsado de la DA que muestra una velocidad pico de 123 cm/s indicativa de la localización de una lesión coronaria con aceleración del flujo.

lico/sistólico en estos grupos se halla en el límite de la significación con respecto a los sujetos sin lesiones coronarias conocidas. Tampoco hemos encontrado diferencias significativas al comparar las VTI ni su cociente diastólico/sistólico respecto al grupo control.

La DA recorre el surco interventricular anterior, rodeada de grasa desde la base hasta el ápex cardíaco.

En este recorrido está a unos 3 cm de la pared torácica, distancia en la que las sondas de alta frecuencia consiguen una elevada resolución. Diversos autores han presentado sus resultados en el estudio de la DA utilizando este método. Algunos realizan el estudio partiendo desde una proyección parasternal longitudinal<sup>8-13</sup> y otros desde el ápex<sup>7,14,15</sup>. En cualquier caso, siempre modifican la posición buscando aquella con mejores resultados, que suele ser en una posición intermedia, habitualmente entre el cuarto y quinto espacios intercostales, en la línea medio clavicular.

Utilizando nuestro método hemos registrado la DA en un 94,9% de los casos. En publicaciones previas la tasa de detección de la DA oscila entre el 35 y el 100%<sup>7-9,12-14,16</sup>. En estas diferencias pueden influir varios factores: el diferente plano de estudio, las distintas especificaciones técnicas utilizadas; además, cómo no, hay que tener en cuenta que la evolución tecnológica está consiguiendo equipos y sondas con mayor resolución, lo que probablemente justifique mejores resultados en los últimos estudios. En nuestro trabajo, como en el de David et al<sup>13</sup>, se obtiene un 24% de resultados subóptimos. Se sabe que la introducción de ecopotenciadores mejora notablemente la calidad de los registros Doppler, como han demostrado Lambert et al en su estudio del flujo coronario<sup>16</sup>. Esto indica que con su utilización podemos aplicar este método y obtener un buen registro en la mayoría de los casos.

Los valores obtenidos en cuanto al diámetro del flujo color son similares a los de otras publicaciones previas<sup>9,13,14</sup>, no encontrando diferencias por lo que respecta al diámetro del vaso entre los tres grupos.

Estudios anteriores, realizados con Doppler intracoronario<sup>17,18</sup>, demostraron que los pacientes con lesiones severas tienen una disminución del cociente de velocidades pico diastólico/sistólico comparados con controles.

En trabajos con ETT como el de Crowley et al<sup>12</sup> se observa un comportamiento parecido: los componentes de flujo diastólicos están disminuidos en las estenosis coronarias severas, con una reducción significativa de los cocientes de velocidad pico diastólica/sistólica.

En nuestro estudio los pacientes con lesiones coronarias no presentan diferencias significativas en el VTI diastólico o total coronario respecto al grupo control, aunque hay una leve tendencia a tener menores velocidades pico diastólicas, siendo el cociente velocidad pico diastólico/sistólico significativamente inferior que en el grupo control.

Los valores de flujo diastólico son función directa de la presión de perfusión. Esta presión estará disminuida en aquellos pacientes con estenosis severa que produzca repercusión hemodinámica en estado basal. Estos estudios vienen a confirmar que no todas las estenosis severas producen una disminución significativa de la VTI (equivalente al flujo) en situación basal. Sin embargo, antes de que aparezca esta disminución del flujo, la lesión es capaz de producir una modificación

de su comportamiento con disminución del cociente pico diastólico/sistólico, parámetro que parece ser más precoz que la caída del flujo. Esta modificación se ha explicado por el mayor efecto de la estenosis al flujo sanguíneo durante los períodos de baja resistencia periférica. Durante la diástole, la resistencia vascular distal es más baja que durante la sístole, de manera que la resistencia de la estenosis puede limitar el flujo. Durante la sístole la resistencia vascular es alta debido a la compresión miocárdica, y la resistencia que produce la estenosis es menos importante<sup>19</sup>.

En pacientes con IAM previo se aprecia una disminución de los componentes de flujo diastólico con incremento de los componentes sistólicos, mínimamente manifiestos en pacientes con lesiones sin IAM. El cociente de la velocidad pico diastólica/sistólica fue mayor que en los grupos control y con estenosis coronaria. En estos pacientes hay dos posibles mecanismos para disminuir el flujo diastólico: *a*) la presumible lesión coronaria proximal causante del IAM que originaría una disminución de la presión de perfusión, y *b*) el aumento de las resistencias periféricas condicionado por la disminución de la red capilar permeable y el incremento del tejido fibrótico. Además, la ausencia o disminución de la contracción miocárdica sistólica tendrá como consecuencia una menor resistencia al flujo en sístole, aumentando así su flujo en esta fase del ciclo cardíaco para la misma lesión.

Las diferencias encontradas no son lo suficientemente discriminatorias para asegurar que el simple estudio del comportamiento del flujo Doppler de la DA permite diagnosticar la presencia de lesiones coronarias. Estos hallazgos son similares a los publicados por Lambert et al<sup>16</sup> que, en estado basal, no encuentran diferencia en la VTI de pacientes sin lesiones, con lesiones moderadas o con lesiones severas. El trabajo de estos autores demuestra que solamente el estudio de la reserva coronaria permite una discriminación entre estos tres grupos de pacientes. Al igual que ellos, consideramos que para este objetivo es necesario el estudio de la reserva coronaria.

### Limitaciones del estudio

No es un método que permita analizar el árbol coronario. Hasta el momento sólo podemos ver pequeños segmentos coronarios de la DA y el comportamiento del flujo a dicho nivel.

En algunos casos la calidad del registro es limitada. Esto no debe constituir una limitación con la utilización de los nuevos ecopotenciadores capaces de atravesar los capilares pulmonares.

Las velocidades de flujo no han sido corregidas por el ángulo del haz de ultrasonidos con el flujo. Esto se ha debido a que, en ocasiones, es difícil determinar este ángulo, y suponemos que al utilizar el mismo método en todos los grupos los ángulos tenderán a ser si-

milares. Las velocidades y el VTI son inferiores a los de otros trabajos que sí hacen dicha corrección<sup>7,10</sup>; probablemente el flujo coronario estaría infraestimado si se hubiera intentado realizar esta determinación sin la corrección por el ángulo. Como el objetivo del trabajo era comparar las velocidades y cocientes de las velocidades pico diastólica/sistólica en diferentes grupos, la ausencia de corrección por el ángulo no supone una limitación.

## CONCLUSIONES

Nuestro estudio demuestra cómo con ETT, utilizando una sonda de alta frecuencia, es posible registrar el flujo de la DA en la mayoría de los casos. Los pacientes con lesiones coronarias y con IAM anterior previo presentan unas características del flujo coronario diferentes, con disminución de los cocientes velocidad pico diastólica/sistólica en comparación con los pacientes sin lesiones coronarias. La principal aportación de este estudio es el alto porcentaje de detección de la DA conseguido, lo que posibilitará la utilización de este método en otros estudios como el de la reserva coronaria con fármacos o estudios de seguimiento del flujo y reserva coronaria tras diversas actuaciones terapéuticas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Nobrega TP, Klodas E, Breen JF, Liggett SP, Higano ST, Reeder GS. Giant coronary aneurysms and myocardial infarction in a patient with systemic lupus erythematosus. *Cathet Cardiovasc Diag* 1996; 39: 75-79.
- Rumberger JA, Behrenbeck T, Breen JF, Sheedy PF. Coronary calcification by electron beam computed tomography and obstructive coronary artery disease: a model for costs and effectiveness of diagnosis as compared with conventional cardiac testing methods. *J Am Coll Cardiol* 1999; 33: 453-462.
- Weyman AE, Feigenbaum H, Dillon JC, Johnston KW, Eggleton RC. Non invasive visualization of left main coronary artery by cross-sectional echocardiography. *Circulation* 1976; 54: 169-174.
- Esteban E, García Fernández MA, González Torrecilla E, San Román D, Delcán JL. Ecocardiografía transesofágica en la valoración de la anatomía y flujo de las arterias coronarias. *Rev Esp Cardiol* 1993; 46: 20-47.
- Vaticón C, Moya JL, Guzmán G, Ortega J, García-Lledó A, Rodríguez A et al. Estudio de la arteria mamaria interna mediante ecocardiografía transtorácica con sonda de alta frecuencia. *Rev Esp Cardiol* 1999; 52 (Supl 4): 113.
- Sualís A, Carreras F, Borrás X, García-Picart J, Montiel J, Pons-Lladó G. Evaluación de la permeabilidad de los injertos de arteria mamaria interna izquierda mediante análisis de la velocidad del flujo por técnica Doppler transcutánea. *Rev Esp Cardiol* 1999; 52: 681-687.
- Voci P, Testa G, Plaustro G. Imaging of the distal left anterior descending coronary artery by transthoracic color-Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 1998; 81: 74G-78G.
- Caiati C, Montaldo C, Zedda N, Bina A, Iliceto S. New non invasive method for coronary flow reserve assesment: contrast-enhanced transthoracic second harmonic echo Doppler. *Circulation* 1999; 99: 771-778.
- Crowley JJ, Shapiro LM. Transthoracic echocardiographic measurement of coronary blood flow and reserve. *J Am Soc Echocardiogr* 1997; 10: 337-343.
- Birnbaum Y, Chaux A, Luo H, Nagai T, Naqvi T, Siegel RJ. Visualization of stents in the left anterior descending coronary artery by transthoracic echocardiography in pigs and humans. *Am J Cardiol* 1998; 81: 229-230.
- Crowley JJ, Shapiro LM. Analysis of phasic flow velocity dynamics in the left anterior descending coronary artery before and after angioplasty using transthoracic echocardiography in patients with stable angina pectoris. *Am J Cardiol* 1997; 80: 615-616.
- Crowley JJ, Shapiro LM. Noninvasive analysis of coronary artery poststenotic flow characteristics by using transthoracic echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1998; 11: 1-9.
- David JR, Shapiro LM. Potential use of transthoracic echocardiography in the assessment of coronary flow reserve. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; 12: 590-595.
- Ross JJ, Mintz GS. Transthoracic two-dimensional high frequency (7.5 MHz) ultrasonic visualization of the distal left anterior descending coronary artery. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15: 373-377.
- Bartel T, Müller S, Baumgart D, Mathew T, Haude M, Erbel R. Improved high-frequency transthoracic flow velocity measurement in the left anterior descending coronary artery after intravenous peripheral injection of levovist. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; 12: 252-256.
- Lambertz H, Tries HP, Stein T, Lethen H. Non-invasive assessment of coronary flow reserve with transthoracic signal-enhanced Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; 12: 186-195.
- Ofili EO, Labovitz AJ, Kern MJ. Coronary flow velocity dynamics in normal and diseased arteries. *J Am Coll Cardiol* 1993; 71: 3D-9D.
- Segal J. Applications of coronary flow velocity during angioplasty and other coronary interventional procedures. *Am J Cardiol* 1993; 71: 17D-25D.
- Logan SE. On the fluid mechanics of human coronary artery stenosis. *IEEE Trans Biomed Eng* 1975; 22: 327-334.