

La ecocardiografía de esfuerzo en la evaluación de la función ventricular izquierda

ENRIQUE Z. FISMAN, AMOS PINES, EFRAIM BEN-ARI, PEDRO EMBON, LEON A. ARON, JACOB KLEIN, YAACOV DRORY

Instituto de Rehabilitación Cardíaca, Centro Médico Sheba, Tel-Hashomer, y Facultad de Medicina Sackler, Universidad de Tel-Aviv, Tel-Aviv

Trabajo recibido para su publicación: 1/93. Aceptado: 2/93

Dirección para separatas: Enrique Z. Fisman, MD, Cardiac Rehabilitation Institute, Chaim Sheba Medical Center, 52621 Tel-Hashomer, Israel

El ecocardiograma de esfuerzo es un método complementario de diagnóstico que evalúa la cardiopatía isquémica, particularmente en su etapa preclínica. Su utilidad está basada en tres premisas: 1) la isquemia inducida por el esfuerzo resultará en un área de disinergia ventricular; 2) la disinergia es un signo altamente específico de isquemia, y 3) las alteraciones de la contractilidad pueden ser detectadas de manera adecuada por el ecocardiograma. Es un procedimiento técnicamente complejo que exige la obtención de imágenes de alta calidad y requiere la utilización de transductores pequeños, con penetración no menor de 20 cm y frecuencia mínima de 30 imágenes por segundo. La forma de estrés más utilizada es el ejercicio isotónico en cinta o bicicleta ergométrica. Como complementaria de este estudio ha sido usada la ecocardiografía Doppler en asociación con los esfuerzos, ya que se ha demostrado que la masa de miocardio isquémico se encuentra reflejada en las alteraciones de la velocidad y aceleración sanguíneas de la aorta. No son estudios de rutina en pacientes coronarios, y las circunstancias donde brinda mayor utilidad son los casos de pruebas de esfuerzo cuyos resultados son definidos como no diagnósticos.

La cardiopatía coronaria y sus complicaciones constituyen una causa primordial de morbimortalidad en nuestros días. La detección de la enfermedad coronaria en su fase preclínica es uno de los desafíos más importantes que afronta la investigación cardiológica. El método diagnóstico usado con más frecuencia continúa siendo la prueba de esfuerzo, monitoreando los síntomas y la respuesta tensional y electrocardiográfica. La sensibilidad de este método es superada por la correspondiente a la ventriculografía nuclear y la centellografía con talio 201.

Durante los últimos años la ecocardiografía de esfuerzo (EE) ha sido usada con propósitos similares y ha demostrado utilidad equivalente a la de los radiofármacos.¹ Su aplicación clínica empleando el método bidimensional fue descrita inicialmente por Wann y colaboradores, quienes demostraron anomalías contráctiles en el ventrículo izquierdo durante una cicloergometría submáxima en pacientes coronarios.² Desde entonces, gracias a los avances en las tecnologías de registro y análisis, la EE dejó de ser una curiosidad clínica para convertirse en

una alternativa práctica de las técnicas nucleares.

La EE se basa fundamentalmente en tres premisas:³ 1) la isquemia inducida por el esfuerzo resultará en un área de disinergia ventricular; 2) la disinergia es un signo altamente específico de isquemia; 3) las alteraciones de la contractilidad ventricular pueden ser detectadas de manera adecuada por la ecocardiografía bidimensional.

La disminución del engrosamiento de la pared ventricular y de la excursión endocárdica durante la sístole constituyen signos precoces y sensitivos de isquemia; este fenómeno se conoce desde hace ya más de medio siglo, a partir del clásico trabajo de Tennant y Wiggers sobre ligadura coronaria experimental.⁴ En consecuencia, las dos primeras premisas tienen una base sólida reconocida. Sólo durante los últimos años surgieron evidencias que corroboraron la tercera presunción. Cada vez es mayor el número de centros cardiológicos que incorporan la EE a su arsenal diagnóstico, mejorando así la sensibilidad de las pruebas de esfuerzo rutinarias en la detección, localización y cuantificación de la

isquemia miocárdica. El propósito de la presente reseña es delinear los logros, las aplicaciones y el estado actual de esta técnica.

RESEÑA HISTORICA

La primera investigación detallando el uso de la EE para monitorear los movimientos de la pared ventricular izquierda fue publicada en 1970.⁵ Más tarde, trabajos que emplearon el modo-M detectaron cambios en las dimensiones del ventrículo izquierdo y la fracción de acortamiento durante el esfuerzo y llevaron a un mejor conocimiento de la fisiología del ejercicio.⁶ De todos modos, las limitaciones inherentes al modo-M impidieron la popularización de la técnica. Las ventajas presentadas por el método bidimensional resultaban obvias,² pero aun así la calidad de la imagen era subóptima, a lo que se agregaba la dificultad del análisis de videoimágenes en las que la interferencia respiratoria no podía ser eliminada.² Sólo en un 25% de los pacientes podían obtenerse exámenes totalmente satisfactorios.⁷ Con la finalidad de mejorar estos resultados, en algunos centros se optaba por registrar las imágenes durante el posesfuerzo inmediato. Esta fue la metodología empleada al comienzo en nuestro laboratorio; los exámenes se obtenían durante el primer minuto posterior a la finalización del esfuerzo, logrando ecocardiogramas adecuados en un 86-89% de los pacientes.⁸⁻¹⁰ Sin embargo, los obstáculos para obtener una buena imagen durante el esfuerzo mismo, combinados con el éxito de la cardiología nuclear para la evaluación de la isquemia, relegaron la EE a la categoría de una técnica de laboratorio de investigación, de importancia clínica limitada.

Esta situación cambió a mediados de la década del '80, gracias a la concurrencia de dos factores. En primer lugar, hubo una mejoría general en la calidad de la imagen, debido a los avances tecnológicos en los equipos de ultrasonido, y el promedio de exámenes satisfactorios ascendió drásticamente a un 90%. El segundo factor que condujo a la EE al campo clínico fue el desarrollo y la aplicación de las técnicas de procesamiento digital a la ecocardiografía. Esto permitió la conversión de información ultrasónica analógica en digital. En un principio este proceso se efectuaba de manera indirecta, procesando las videoimágenes, y más adelante en tiempo real digitalizando directamente la información en el momento de obtenerla. A través de la implementación de estos métodos, la EE se convirtió en una prueba diagnóstica más exacta y asequible.

EQUIPAMIENTO TECNICO

Existen ciertos requerimientos básicos para efectuar EE en nuestros días, independientes de la metodología utilizada. La EE es un procedimiento técnicamente complejo que exige la obtención de imágenes de alta calidad. Equipos ecocardiográficos obsoletos o en mal estado podrán conducir a diagnósticos incorrectos y serán motivo de frustración para el cardiólogo. Es importante utilizar transductores pequeños, con penetración no menor de 20 cm y frecuencia mínima de 30 imágenes por segundo.¹¹ Es muy conveniente que las imágenes sean almacenadas en un sistema computarizado, evitando así la pérdida de resolución inherente a los registros en video. Además, es esencial poder analizar la imagen digitalizada en forma de presentación continua de ciclo único, tanto en tiempo real como en "cámara lenta". El equipo debe contar con las opciones de pantalla dual y en cuadrantes, lo que permitirá el estudio lado a lado de las imágenes de reposo y esfuerzo.

FORMAS DE ESTRES

Numerosas formas de estrés han sido empleadas junto con la ecocardiografía. Las mismas incluyen el ejercicio isotónico en cinta ergométrica o en bicicleta, ya sea en posición supina o erecta. Cada forma presenta ventajas e inconvenientes. No es posible efectuar la prueba en un paciente que está caminando sobre la cinta. En consecuencia, si se emplea el examen en cinta, los registros ecocardiográficos deben efectuarse antes e inmediatamente después del esfuerzo para no perder información; a los 120 segundos de finalizado el esfuerzo, parte de las anomalías contráctiles inducidas desaparecerán.¹² Si se utiliza la bicicleta, en especial en posición supina, se tiene la ventaja de que los registros pueden ser efectuados también durante el ejercicio; no obstante, por lo general la frecuencia cardíaca obtenida es menor que con la cinta.

Es conveniente recordar que la respuesta cardíaca al ejercicio isotónico es diferente en las posiciones supina y erecta. El ejercicio supino se caracteriza por un modesto incremento del volumen de fin de diástole, que es mucho mayor durante el ejercicio erecto. En ambos se observa una reducción significativa del volumen de fin de sístole. De esto se deduce que el mecanismo de Frank-Starling para aumentar el gasto sistólico se utiliza más en el ejercicio erecto que en el supino. Esta diferencia debe tenerse en cuenta cuando se evalúa la función global del ventrículo izquierdo.

La estimulación eléctrica también ha sido

empleada. La estimulación atrial por vía transvenosa puede efectuarse en el laboratorio de hemodinamia. De todos modos, la transesofágica ha sido empleada con mayor frecuencia, preservando de esa forma la naturaleza incruenta del examen ecocardiográfico.¹³ Las limitaciones de la estimulación atrial están dadas por el hecho de que bloqueos de tipo Mobitz I a menudo aparecen a frecuencias cardíacas relativamente bajas y que no suele lograrse llevar al paciente a frecuencias suficientemente altas para provocar isquemia. La estimulación ventricular también se puede usar, pero no es el método de elección porque causa un considerable número de exámenes positivos falsos por artefacto de contracción ventricular.¹⁴

También se usaron agentes farmacológicos como la dobutamina y el dipiridamol. Sus mecanismos de acción son diferentes. La dobutamina produce efectos cronotrópicos e inotrópicos positivos, incrementando el consumo de oxígeno. En presencia de una obstrucción coronaria fija se producirá una diferencia entre la oferta y la demanda de oxígeno con la consiguiente aparición de anomalías contráctiles. En

cambio, el dipiridamol genera vasodilatación coronaria y periférica y la redistribución del flujo sanguíneo en el sistema coronario ocasiona trastornos en la perfusión. Estos trastornos se detectan usando esta droga junto con talio 201.

Se ensayaron otras formas de estrés basadas en el empleo de dopamina, isoproterenol, adenosina, criestimulación y tensión mental, pero los resultados distan de ser óptimos.

Una modalidad interesante es el esfuerzo isométrico. Este se caracteriza por un aumento significativo de las tensiones sistólica y diastólica, y un modesto incremento de la frecuencia cardíaca. Este tipo de ejercicio fue empleado muy poco en el pasado por considerarse que su sensibilidad en la detección de enfermedad coronaria es reducida; la posibilidad de que cause isquemia miocárdica y cambios en el segmento ST es menor que con el esfuerzo isotónico.¹⁵ En este contexto es menester destacar que los estudios que comparan ambos métodos utilizaron ejercicio isométrico ligero, con doble producto reducido, menor que el obtenido durante el ejercicio isotónico.^{15,16} En fecha reciente, empleando un dinamómetro telescópico

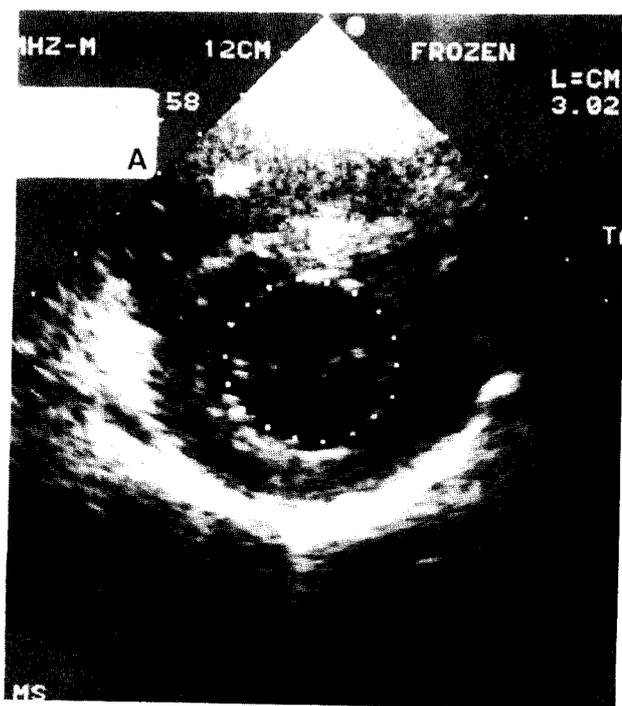


Fig. 1A. Ecocardiograma bidimensional en el eje menor en fin de sístole en un paciente con obstrucción del 85% en la porción media de la descendente anterior y del 80% en la circunfleja. En reposo (pulso 72/min) el borde endocárdico (delineado por puntos) muestra un aspecto circular denotando contractilidad uniforme normal. (Tomado de referencia 17).

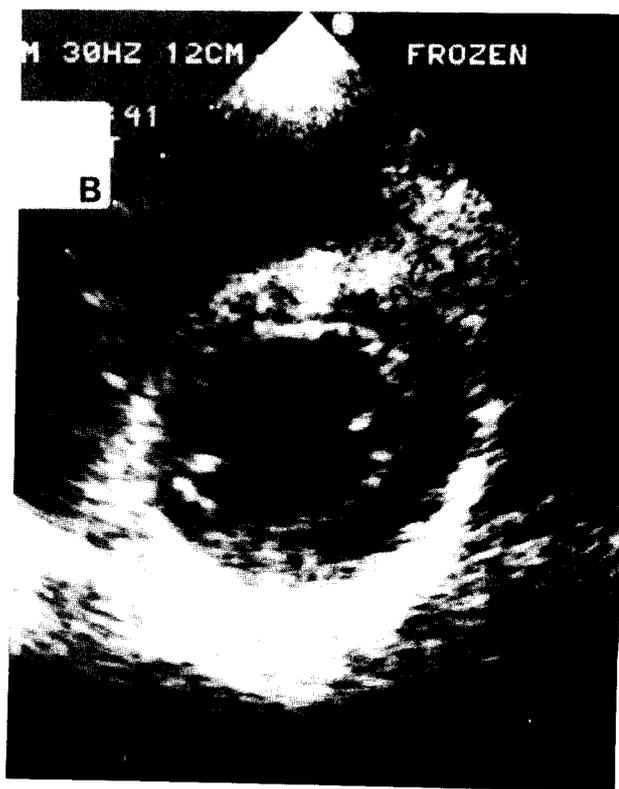


Fig. 1B. Durante el esfuerzo isotónico ligero (pulso 58/min) no se observan diferencias significativas. (Tomado de referencia 17.)

manual hemos estudiado los efectos del ejercicio isométrico intenso sobre la contractilidad ventricular izquierda en pacientes que sufrieron un infarto miocárdico por lo menos 6 meses atrás. Comprobamos que cuando se comparan ambos tipos de ejercicio a doble producto similar, el ejercicio isométrico intenso es superior al isotónico en cuanto a la capacidad de provocar la aparición de anomalías contráctiles. Estas anomalías son de grado proporcional a la obstrucción coronaria.¹⁷ Además, el valor predictivo positivo resultó similar en los dos tipos de ejercicio. La figura 1 ejemplifica el caso. Consideramos que este tipo de esfuerzo tiene interesantes posibilidades diagnósticas que merecen ser exploradas.

ECOCARDIOGRAFIA DOPPLER

La ecocardiografía Doppler en asociación a los esfuerzos isotónicos ha sido utilizada durante los últimos años en diversos aspectos de la evaluación de la cardiopatía isquémica.^{18, 19} Estudios experimentales clásicos demuestran que la masa de miocardio isquémico se encuentra reflejada en las alteraciones de la velocidad y la aceleración sanguíneas de la aorta.²⁰

La ecocardiografía Doppler permite efectuar

mediciones adecuadas de la velocidad del flujo aórtico con relativa facilidad, colocando el transductor en la fosa supraesternal o en el ápex. La velocidad máxima expresada en cm/seg, y los varios índices derivados de la misma permiten apreciar la función sistólica global. La velocidad máxima se define como la mayor velocidad alcanzada por un eritrocito durante una sístole dada. La velocidad modal es aquella alcanzada por la mayoría de los eritrocitos en el área examinada. La aceleración media (m/seg/seg) está representada por el cociente entre la velocidad máxima y el tiempo de aceleración y se la considera como uno de los índices más fidedignos de la función sistólica. La integral de la velocidad de flujo (cm) constituye el promedio de la suma de velocidades durante una sístole determinada, y multiplicándola por el área aórtica se obtiene el gasto sistólico.

Las modificaciones que ocurren en estos parámetros durante el ejercicio son características. Al efectuar esfuerzos isotónicos en sujetos normales se produce un aumento significativo de la velocidad máxima, de la aceleración media y de la integral de la velocidad de flujo. La velocidad máxima durante esfuerzos intensos

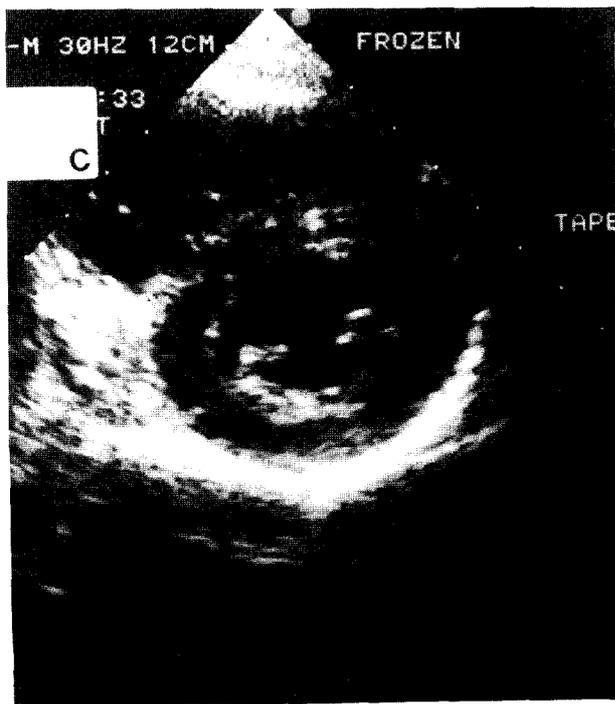


Fig. 1C. Ante un esfuerzo isotónico intenso (pulso 150/min) aparece una zona discinética en la pared anterolateral del ventrículo izquierdo. (Tomado de referencia 17.)

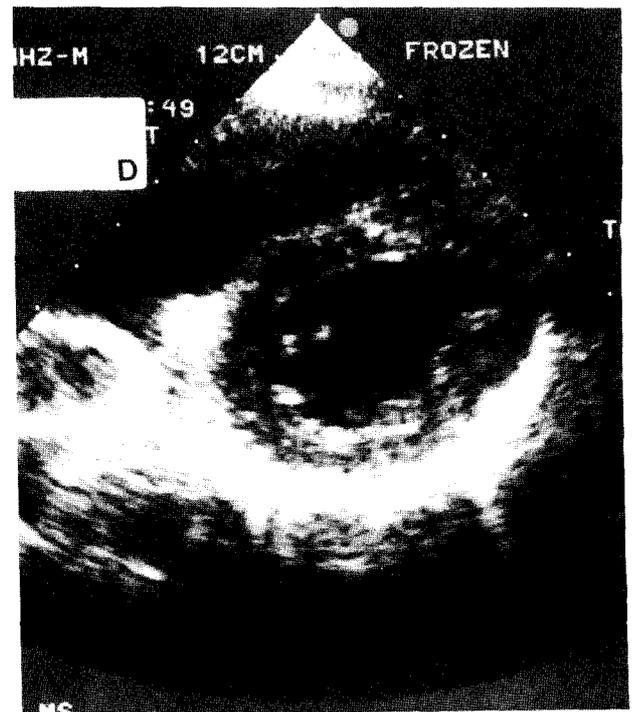


Fig. 1D. Durante el esfuerzo isométrico intenso, a 50% de la contracción voluntaria máxima, la discinesia es aun mayor y la pared anterolateral se desplaza en forma groseramente paradójica. (Tomado de referencia 17.)

puede llegar a 200 cm/seg o más, lo que representa el doble de los valores de reposo.^{19, 21} Por el contrario, los pacientes coronarios presentarán sólo un incremento moderado (o eventualmente mínimo) de la velocidad.

Es interesante destacar que las respuestas fisiológicas de la velocidad máxima y los parámetros derivados de la misma son distintos durante el esfuerzo isométrico. Con este tipo de esfuerzo, tanto la velocidad como la aceleración y la integral de la velocidad de flujo disminuyen, contrariamente a lo que sucede con el esfuerzo isotónico.^{22, 23} Hemos comprobado que esta disminución es mucho más marcada en los pacientes coronarios; en las coronariopatías graves, complicando los tres vasos principales, se observa una reducción de hasta un 50% en la velocidad y hasta un 60% en la aceleración.²² El comportamiento de estos parámetros permite predecir el grado de compromiso coronario, cuya magnitud es directamente proporcional a la caída de la velocidad y la aceleración durante el esfuerzo isométrico.

EVALUACION DE LA FUNCION GLOBAL

La fracción de eyección se considera como un índice de fundamental importancia en la determinación de la función global del ventrículo izquierdo. Esto es válido independientemente de la metodología empleada, ya sea ecocardiografía bidimensional, cardiología nuclear o

cinemangiocardiografía. Para calcular la fracción de eyección determinamos con anterioridad los volúmenes ventriculares (V) sistólico y diastólico, por lo general aplicando la fórmula de Wyatt,²⁴ La misma se expresa como $V = 5/6 AL$, donde A = área del eje menor a nivel de los músculos papilares, L = longitud del eje mayor. Esta fórmula da por sentado que la cavidad ventricular presenta una geometría semielipsoide/semicilíndrica y es fidedigna también en casos de disinergia ventricular.

La fracción de eyección debe aumentar de manera casi lineal durante el esfuerzo isotónico; la ausencia de esta respuesta indica disfunción ventricular. Sin embargo, la fracción de eyección no permite distinguir entre isquemia global o regional por una parte, y respuesta hipertensiva grave o miocardiopatía dilatada por la otra. Además, la fracción de eyección es dependiente de las condiciones de carga del ventrículo izquierdo, en especial la poscarga. A menudo es difícil establecer si una respuesta anormal durante el ejercicio isotónico se debe en realidad a disfunción ventricular o simplemente refleja cambios en la precarga o poscarga.

Suga y Sagawa demostraron en 1974 que, al fin de la sístole, la curva de la relación presión/volumen del ventrículo izquierdo es lineal en una amplia gama de condiciones de precarga y poscarga.²⁵ Quedó establecido que este nuevo índice refleja fielmente la función ventricular, sin tener en cuenta las condiciones de carga. El

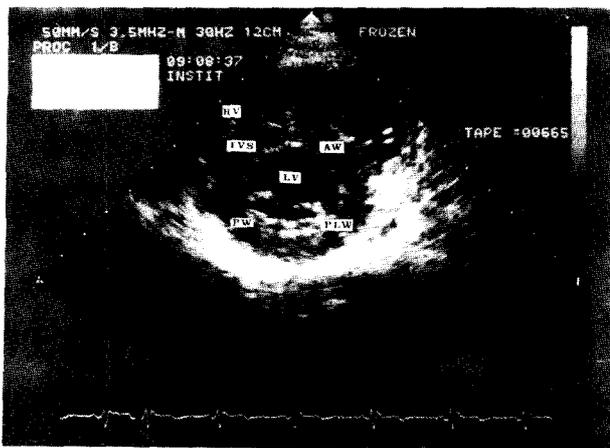


Fig. 2A. Ecocardiograma bidimensional en el eje menor en fin de sístole en un atleta profesional en reposo. La imagen es normal; el grosor del tabique interventricular se encuentra en el límite superior de lo normal. AW = pared anterior del ventrículo izquierdo; IVS = tabique interventricular; LV = cavidad ventricular izquierda; PLW = pared posterolateral; PW = pared posterior; RV = cavidad ventricular derecha. (Tomado de referencia 28.)

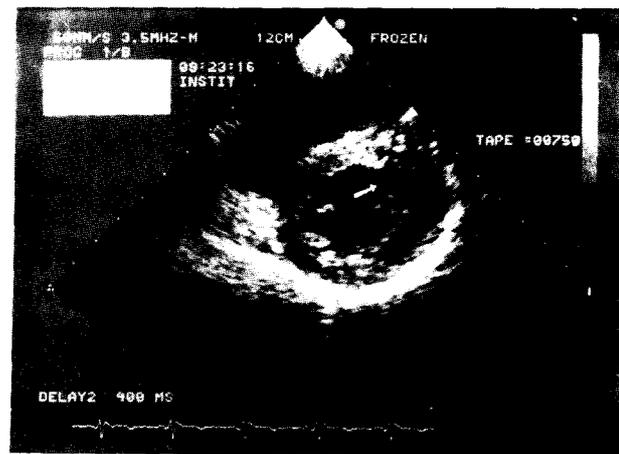


Fig. 2B. Ecocardiograma del mismo sujeto y en el mismo plano de examen y posición del transductor que en la figura 2A. Durante el esfuerzo isotónico intenso aparece una marcada zona discinética en la pared anterior del ventrículo izquierdo (flecha), que persiste hasta el tercer minuto de recuperación. (Tomado de referencia 28.)

volumen de fin de sístole se determina con facilidad por la ecocardiografía, y la tensión arterial sistólica esfigmográfica es similar a la presión de fin de sístole ventricular. En consecuencia, hemos postulado junto con otros autores que la relación presión/volumen puede ser determinada de manera incruenta tanto en reposo como durante el esfuerzo.^{8, 26, 27} La relación se calcula como el cociente entre la tensión arterial sistólica y el índice de volumen de fin de sístole. Durante el ejercicio isotónico la relación presión/volumen logra discriminar mejor que la fracción de eyección entre sujetos normales y pacientes coronarios.^{8, 26} De todos modos, es importante destacar que la construcción de curvas de relación presión/volumen (PVR) debe efectuarse a frecuencias cardíacas similares, y ello no es posible durante el ejercicio isotónico. Hemos sugerido obviar esta dificultad expresando la relación presión/volumen durante el ejercicio como un valor numérico, al que denominamos PVREQ (*pressure/volume ratio exercise quotient*).⁸ Este valor se determina mediante la ecuación $PVREQ = (PVR \text{ de esfuerzo} / PVR \text{ de reposo}) \times 100$. Los sujetos sanos por lo común presentan valores de PVREQ superiores al 145%; en pacientes que han sufrido un infarto miocárdico se encuentran valores menores. Desplazamientos negativos de PVR (es decir, valores de PVREQ inferiores al 100%) se correlacionan con incrementos del volumen sistólico durante el esfuerzo isotónico y disfunción ventricular significativa.⁸

Se estima que un 15% de los pacientes con cardiopatía isquémica, incluyendo casos de enfermedad coronaria grave, presentan respuestas normales de la fracción de eyección durante el esfuerzo. En cambio, menos del 5% de estos individuos tienen una relación presión/volumen normal, y en la mayoría de ellos la angiografía coronaria demuestra obstrucción marcada en un solo vaso.²⁶ El uso conjunto de la fracción de eyección y la relación presión/volumen se complementa en la identificación y cuantificación de la disfunción ventricular global.

EVALUACION DE LA FUNCION REGIONAL

La mayoría de los pacientes con cardiopatía isquémica presentan anomalías en la función sistólica global, si bien las mismas no son necesariamente evidentes durante el reposo. Durante el esfuerzo, el incremento de la demanda de oxígeno genera isquemia regional, que cuando es suficientemente importante conduce a alteraciones de la función sistólica y diastólica, eco-

cardiográficamente detectables. Las anomalías sistólicas se caracterizan por disminución de la excursión endocárdica y del engrosamiento parietal y distorsiones morfológicas del ventrículo izquierdo. El análisis cualitativo de la función ventricular se centra en la evaluación de anomalías de la excursión parietal regional, si bien observadores avezados también consideran el engrosamiento sistólico. La identificación de estas anomalías es altamente específica de enfermedad coronaria. En cuanto a la sensibilidad, ésta depende del número de vasos obstruidos, la habilidad del observador y la tecnología empleada.

A los efectos de analizar la función regional, dividimos al ventrículo izquierdo en cinco segmentos:^{17, 28} anterior, septal, posterior, posterolateral (evaluados desde el plano del eje menor paraesternal) y apical (evaluado desde el plano apical de cuatro cámaras). La motilidad de cada segmento se define como normal, hipercinética, hipocinética, acinética o discinética. Con el objeto de correlacionar la motilidad regional con las zonas de perfusión de un vaso coronario específico, asumimos que los segmentos anterior, septal y apical son irrigados por la descendente anterior, el segmento posterior por la coronaria derecha y el posterolateral por la arteria circunfleja.²⁹

Empleando EE durante ejercicios isotónicos máximos y utilizando métodos de análisis cuantitativos computarizados, se pueden detectar anomalías contráctiles en un 95% de los pacientes con cardiopatía isquémica, aun en casos de enfermedad de un solo vaso.¹¹ Las lesiones de la arteria descendente anterior son fáciles de identificar. En cambio, debe tenerse en cuenta que es más difícil discernir entre lesiones de la coronaria derecha y la arteria circunfleja; ello se debe a la variabilidad de la distribución anatómica del árbol coronario y a la superposición parcial que existe entre los sectores irrigados por ambos vasos.

DIAGNOSTICO DE CARDIOPATIAS NO CORONARIAS

Un campo casi inexplorado en el cual la EE puede resultar útil es el diagnóstico precoz de las enfermedades cardíacas no coronarias. Estas comprenden una amplia gama de procesos patológicos: afecciones infecciosas y parasitarias, trastornos del metabolismo y de la nutrición, collagenopatías, toxicosis, enfermedades hemáticas y neurológicas.

En nuestro laboratorio hemos intentado la detección precoz de complicaciones miocárdicas

en pacientes afectados por sarcoidosis histológicamente comprobada, en quienes se había descartado patología coronaria.⁹ En estos individuos el diagnóstico adecuado puede mejorar radicalmente el pronóstico mediante la corticoterapia precoz. Todos presentaban ecocardiogramas normales en reposo. Sin embargo, en 10 de los 21 pacientes estudiados (48 %) se observó una respuesta anormal de la fracción de eyección durante la EE, y en 2 de ellos aparecieron también anomalías de la contractilidad regional. En este contexto, es interesante destacar que en estos 2 pacientes las anomalías contráctiles ocurrieron en el tabique interventricular. Está establecido que esta región se encuentra afectada por la enfermedad en un 90 % de las autopsias de sarcoidosis miocárdica,³⁰ lo cual fortalece la hipótesis de que estas anomalías se deben a la sarcoidosis.

El potencial diagnóstico de la EE en la evaluación precoz de eventuales complicaciones cardíacas en afecciones sistémicas es enorme. Una posible aplicación futura que hemos sugerido y que merece ser investigada es su utilización en la detección temprana de cardiomiopatía en la enfermedad de Chagas.³¹

La EE también ha permitido detectar anomalías globales y regionales en el corazón de atleta.²⁸ Es posible que estas respuestas no sean patológicas, sino que representen una variación fisiológica específica que se da en el corazón del atleta altamente entrenado (fig. 2). Las anomalías contráctiles en un corazón hipertrofiado podrían no tener relación con patología celular miocárdica, sino que dependerían de la contracción de células normales situadas en un intersticio patológico, como cantidad aumentada de tejido conectivo o mayor distancia de difusión del capilar al músculo.³²

Por último, la EE ha detectado anomalías de la función global durante la ergometría submáxima en pacientes con hipotensión de esfuerzo, que por otra parte no presentaban signo alguno de enfermedad cardíaca ni respuesta vasovagal.³³ En nuestro grupo de pacientes, estas anomalías fueron independientes de la posición corporal, siendo constantes en un individuo dado tanto en posición sentada como supina. El mecanismo íntimo de este fenómeno aún no está aclarado, pero se demostró que la incidencia de patología isquémica en estos pacientes con el tiempo es significativamente mayor que en los controles con respuesta tensional normal.³⁴

CONCLUSIONES

La EE no es un examen de rutina para la detección de enfermedad coronaria en todos los pacientes. Las circunstancias más usuales en las que este estudio puede ser útil son los casos de pruebas de esfuerzo cuyos resultados son definidos como no diagnósticos, ambiguos o inespecíficos. Es en este tipo de pacientes donde la EE tiene sus mayores éxitos, que igualan a los obtenidos por la cardiología nuclear, y frente a la cual tiene mayor versatilidad y ausencia de radiación ionizante.

La mayoría de los pacientes con respuestas isquémicas unívocas durante la prueba de esfuerzo (angina y cambios diagnósticos en la repolarización) también presentan anomalías contráctiles; en estos casos la EE no es necesaria dado que su contribución diagnóstica es marginal.

La EE representa una fusión entre el diagnóstico ultrasónico cardíaco y las pruebas de esfuerzo convencionales. Por el momento, la forma más usual de EE es la obtención de la imagen junto con la cinta o la bicicleta ergométricas, proporcionándoles así un importante elemento diagnóstico adicional. Los resultados empleando esfuerzo isométrico intenso son prometedores y es probable que contribuyan en el futuro a la simplificación y popularización de esta técnica.

SUMMARY

Exercise echocardiography is based on three assumptions: 1) exercise-induced ischemia will lead to ventricular wall dyssynergy; 2) regional abnormalities are specific for ischemia, and 3) the motion changes can be accurately recorded by echocardiography. Isotonic or isometric exercise may be used. When employing digital recording, only a single high quality cardiac cycle is needed to create a cine loop; digital techniques affect also favorably the storage, retrieval and display of exercise echocardiograms. Parallely, exercise Doppler represents an additional tool that permits global left ventricular function assessment. Stroke volume is calculated from flow velocity integral times aortic valve area, and simple measurements of peak flow velocity before and after stress reflect the increase of stroke volume during exercise. These calculations are independent of ventricular geometry. The systolic pressure/volume ratio is another important global index. It is load-independent and exercise/rest values in normal subjects are at least 145 %. Besides its usefulness in coronary artery disease, stress echocardiography was employed in the evaluation of myocardial sarcoidosis, exertional hypotension and the athlete's heart, and further use in noncoronary heart

disease was suggested. Exercise echocardiography represents a sort of blend between ultrasound and stress testing, providing useful diagnostic information which is analogous and sometimes even better than nuclear techniques.

BIBLIOGRAFIA

1. Pines A, Fisman EZ, Ben-Ari E et al: Usefulness of immediate post-exercise two-dimensional echocardiography in post-myocardial infarction patients without ischemic ECG changes in stress testing: Comparison with radionuclide angiography. *Angiology* 1989; **40**: 605-612.
2. Wans LS, Faris JV, Childress RH et al: Exercise cross-sectional echocardiography in ischemic heart disease. *Circulation* 1979; **60**: 1300-1308.
3. Ryan T, Feigenbaum H: Exercise echocardiography. *Am J Cardiol* 1992; **69**: 82H-89H.
4. Tennant R, Wiggers CJ: The effect of coronary occlusion on myocardial contraction. *Am J Physiol* 1935; **12**: 351-361.
5. Kraunz K, Kennedy J: Ultrasonic determination of left ventricular wall motion in normal man: studies at rest and after exercise. *Am Heart J* 1970; **79**: 36-43.
6. Stein RA, Michielli D, Fox EL et al: Continuous ventricular dimensions in man during supine exercise and recovery. *Am J Cardiol* 1978; **41**: 655-660.0S2.
7. Stein RA: Exercise echocardiography. *Cardiol Clin* 1984; **2**: 429-439.
8. Fisman EZ, Pines A, Rosenblum Y et al: Pressure/volume ratio and pressure/volume ratio exercise quotient: an echocardiographic comparative study of left ventricular function indicators. *Cardiology* 1986; **73**: 354-367.
9. Rubinstein I, Fisman EZ, Rosenblum Y et al: Left ventricular exercise echocardiographic abnormalities in patients with sarcoidosis without ischemic heart disease. *Isr J Med Sci* 1986; **22**: 865-872.
10. Ben-Ari E, Fisman EZ, Pines A et al: Painful versus silent myocardial ischemia during leg and arm exercise testing in stable angina pectoris. *Am J Cardiol* 1989; **64**: 300-303.
11. Ginzton LE: Stress echocardiography and myocardial contrast echocardiography. *Cardiol Clin* 1989; **7**: 493-509.
12. Presti CF, Armstrong WF, Feigenbaum H: Comparison of echocardiography at peak exercise and after bicycle exercise in evaluation of patients with known or suspected coronary artery disease. *J Am Soc Echocardiogr* 1988; **1**: 119-126.
13. Illiceto S, D'Ambrosio G, Sorino M et al: Comparison of postexercise and transesophageal atrial pacing two-dimensional echocardiography for detection of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1986; **57**: 547-553.
14. Armstrong WF: Stress echocardiography for detection of coronary artery disease. *Circulation* 1991; **84** (Suppl 1): 43-49.
15. Haissly JC, Messin R, Degre S et al: Comparative response to isometric (static) and dynamic exercise tests in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1974; **33**: 791-796.
16. Hung J, McKillip J, Savin W et al: Comparison of cardiovascular response to combined static-dynamic effort, postprandial dynamic effort and dynamic effort alone in patients with chronic ischemic heart disease. *Circulation* 1982; **65**: 1411-1419.
17. Fisman EZ, Ben-Ari E, Pines A et al: Usefulness of heavy isometric exercise echocardiography for assessing left ventricular wall motion patterns late (≥ 6 months) after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1992; **70**: 1123-1128.
18. Mehta N, Bennett D, Mannering D et al: Usefulness of noninvasive Doppler measurement of ascending aortic blood flow velocity and acceleration in detecting impairment of the left ventricular functional response to exercise three weeks after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1986; **58**: 879-886.
19. Harrison MR, Smith MD, Dennis Clifton G et al: Stress Doppler echocardiography in the evaluation of ischemic heart disease. *Echocardiography* 1992; **9**: 189-198.
20. Rushmer RF, Watson N, Harding D et al: Effects of acute coronary occlusion on performance of right and left ventricles in intact unanesthetized dogs. *Am Heart J* 1963; **66**: 522-528.
21. Gardin JM, Kozlowski J, Dabestani A et al: Studies of Doppler aortic flow velocity during supine bicycle exercise. *Am J Cardiol* 1986; **57**: 327-332.
22. Fisman EZ, Ben-Ari E, Pines A et al: Pronounced reduction of aortic flow velocity and acceleration during heavy isometric exercise in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1991; **68**: 485-491.
23. Ben-Ari E, Fisman EZ, Stroh J et al: Doppler-derived aortic flow measurements during and after heavy isometric exercise in healthy vs post-myocardial infarction patients. *J Am Soc Echocardiogr* 1992; **5**: 219-224.
24. Wyatt HL, Meerbaum S, Heng K et al: Cross-sectional echocardiography. III: Analysis of mathematical models for quantifying volume of symmetric and asymmetric ventricles. *Am Heart J* 1980; **100**: 821-828.
25. Suga K, Sagawa K: Instantaneous pressure-volume relationships in the excised supported canine left ventricle. *Circ Res* 1974; **35**: 117-120.
26. Ginzton LE, Lacks MM, Brizendine M et al: Noninvasive measurements of the rest and exercise peak systolic pressure/end systolic volume ratio: a sensitive two-dimensional echocardiographic indicator of left ventricular function. *J Am Coll Cardiol* 1984; **4**: 509-516.
27. Fisman EZ, Pines A, Ben-Ari E et al: Echocardiographic evaluation of the effects of gallopamil on left ventricular function. *Clin Pharmacol Ther* 1988; **44**: 100-106.
28. Fisman EZ, Frank AG, Ben-Ari E et al: Altered left ventricular volume and ejection fraction responses to supine dynamic exercise in athletes. *J Am Coll Cardiol* 1990; **15**: 582-588.
29. Agati L, Arata L, Luongo R et al: Assessment of severity of coronary narrowings by quantitative exercise echocardiography and comparison with quantitative arteriography. *Am J Cardiol* 1991; **67**: 1201-1207.
30. Silverman KJ, Hutchins GM, Bulkley BH: Cardiac sarcoidosis: a clinicopathologic study of 84 unselected patients with systemic sarcoidosis. *Circulation* 1978; **58**: 1204-1211.
31. Fisman EZ, Kellermann JJ, Pines A et al: Aplicaciones clínicas de la ecocardiografía de esfuerzo. *Logros y perspectivas*. *Tribuna Médica* 1987; **75** (5): 33-35.
32. Mann DL, Spann JF, Cooper G: Basic mechanisms and models in cardiac hypertrophy. I: Pathophysiological models. *Mod Concepts Cardiovasc Dis* 1988; **57**: 7-11.
33. Fisman EZ, Pines A, Ben-Ari E et al: Left ventricular exercise echocardiographic abnormalities in apparently healthy men with exertional hypotension. *Am J Cardiol* 1989; **63**: 81-85.
34. Ben-Ari E, Fisman EZ, Pines A et al: Significance of exertional hypotension in apparently healthy men: An 8.9-years follow-up. *J Cardiopulmonary Rehabil* 1990; **10**: 92-97.