

## ARTÍCULOS ESPECIALES

## Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en pruebas de esfuerzo

Fernando Arós (coordinador), Araceli Boraita (coordinador), Eduardo Alegría, Ángel M. Alonso, Alfredo Bardají, Ramiro Lamiel, Emilio Luengo, Manuel Rabadán, Manuel Alijarde, Joaquín Aznar, Antonio Baño, Mercedes Cabañero, Carmen Calderón, Mercedes Camprubí, Jaime Candell, Marisa Crespo, Gonzalo de la Morena, Almudena Fernández, Ricardo Gayán, Magdalena Hernández, Alicia Maceira, Emilio Marín, Antonio Muela de Lara, Luis Placer, Luis Saratosa, Valeriano Sosa, María Teresa Subirana y Manuel Wilke

Sociedad Española de Cardiología.

La mayor parte de las pruebas de esfuerzo se realizan a pacientes adultos con cardiopatía isquémica en estudio o ya conocida. En los últimos años se ha producido la incorporación de las técnicas de imagen en este campo, mejorando así la información aportada por la prueba de esfuerzo convencional. Pero cada vez existen más situaciones que escapan a esta norma general, tanto en sujetos sanos (asintomáticos, atletas, discapacitados, etc.) como en pacientes con cardiopatías diferentes de la isquémica (insuficiencia cardíaca congestiva avanzada, hipertensión, trastornos del ritmo, cardiopatías congénitas etc.). Todos estos aspectos justifican un documento de consenso en España, necesariamente multidisciplinario.

Este documento revisa en profundidad la metodología de las pruebas de esfuerzo convencionales, sin olvidar las realizadas con determinación de consumo de oxígeno. El papel de esta exploración en el manejo de la cardiopatía isquémica, así como las aplicaciones de las técnicas de imagen al campo de estrés, ocupan un lugar fundamental en esta revisión. Por último, se analiza la utilidad de las pruebas de esfuerzo en diversas cardiopatías no isquémicas y en diferentes poblaciones de sujetos sanos.

**Palabras clave:** Prueba de esfuerzo. Consumo de oxígeno. Cardiopatía isquémica. Guías clínicas.

(*Rev Esp Cardiol* 2000; 53: )

### Guidelines of the Spanish Society of Cardiology for Clinical Practice in Exercise Testing

Most exercise testing is performed in adults with known or suspected ischemic heart disease. In the last few years cardiac imaging techniques have been applied in this field, improving the information obtained with the procedure. However, the exceptions to this rule are emerging rapidly not only in healthy people (asymptomatic individuals, athletes, handicapped people) but also in cardiac patients (advanced congestive heart failure, hypertension, rhythm disorders, congenital heart disease, etc.). All these issues justify the need for a multidisciplinary consensus document in Spain.

This paper reviews and updates the methodological aspects of the stress test, including those related to oxygen consumption measurements. The main aim of this review was to determine the role of exercise testing in the evaluation of ischemic heart disease as well as the applications of imaging stress testing. The usefulness of this test in other non-ischemic cardiac disorders and in selected subsets of healthy people is also reviewed.

**Key words:** Exercise testing. Oxygen consumption. Ischemic heart disease. Guidelines.

(*Rev Esp Cardiol* 2000; 53: )

### INTRODUCCIÓN

La prueba de esfuerzo (PE) convencional o electrocardiográfica continúa siendo un procedimiento ampliamente utilizado en la valoración diagnóstica y pronóstica de los pacientes con cardiopatía isquémica en estudio o ya conocida. Sin embargo, presenta limitaciones importantes en algunos subgrupos de pacientes que han favorecido el gran auge de las exploraciones con imagen en este campo en los últimos años. Además, tanto la ecocardiografía como los isótopos proporcionan información adicional inaccesible al electrocardiograma (ECG) de esfuerzo. Por otro lado, la

Correspondencia: Dr. F. Arós.  
Servicio de Cardiología. Hospital Txagorritxu.  
01009 Vitoria-Gasteiz.  
Correo electrónico: aros.borau@jet.es

PE va ampliando su campo de aplicación. Es cada vez más utilizada en otros grupos de sujetos, tanto sanos (sedentarios, atletas, discapacitados) como enfermos con cardiopatías diferentes a la isquémica (insuficiencia cardíaca, hipertensión arterial, cardiopatías congénitas, etc.), algunas de las cuales requieren más la monitorización del consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) que la monitorización del ECG. Pues bien, en este trabajo se revisan en profundidad todos estos aspectos, comenzando por un apartado dedicado a la metodología de esta exploración.

El documento utiliza la clasificación popularizada por los consensos del American College of Cardiology/ American Heart Association según los cuales las recomendaciones pueden clasificarse en:

- Clase I: existe evidencia y/o acuerdo general en que el procedimiento o tratamiento es útil y efectivo.
- Clase II: la evidencia es más discutible y/o existen divergencias en las opiniones sobre la utilidad/eficacia del procedimiento o tratamiento.
  - Clase IIa: el peso de la evidencia/opinión está a favor de la utilidad/eficacia.
  - Clase IIb: la utilidad/eficacia está menos fundamentada por la evidencia/opinión.
- Clase III: existe evidencia y/o acuerdo general en que el procedimiento o tratamiento no es útil y efectivo y en algunos casos puede ser peligroso.

En cualquier caso, todos los procedimientos diagnósticos y pronósticos en general, y las pruebas de esfuerzo en particular, deben indicarse e interpretarse en el contexto clínico del paciente y en el de la propia prueba, sabiendo exactamente qué podemos esperar de ella. Por tanto, las directrices que a continuación se presentan deben tomarse únicamente como guías de apoyo, no como normas de obligado cumplimiento.

## METODOLOGÍA DE LAS PRUEBAS DE ESFUERZO

### Equipamiento y personal

Aunque se han utilizado diversos y variados métodos, el cicloergómetro y el tapiz rodante son los más utilizados<sup>1</sup>. El cicloergómetro o bicicleta ergométrica es una bicicleta estática con freno mecánico (resistencia fija al pedaleo, con ritmo constante próximo a 50-60 ped/min), o freno electrónico (trabajo constante e independiente de la frecuencia de pedaleo) que es más fiable porque depende menos de la colaboración del paciente. La carga de trabajo puede ser regulada en vatios o en kilopondímetros por minuto (6 kpm/min = 1 watt).

El tapiz rodante, cinta sin fin o *treadmill* es el método de esfuerzo más ampliamente utilizado. Consiste en

una cinta sin fin movida por motor eléctrico y sobre la que el paciente debe caminar a distintas velocidades y pendientes según el protocolo usado. Es más caro, requiere mayor espacio y es más ruidoso que la bicicleta, y el trazado ECG puede estar más artefactado por los movimientos. Sin embargo, es un ejercicio más fisiológico, al que el paciente está más acostumbrado y que no necesita aprendizaje previo. Es conveniente que el *treadmill* tenga pasamanos a ambos lados y una barra frontal, aunque el apoyo en ellos facilita el trabajo del paciente aumentando el tiempo de esfuerzo y falseando la capacidad funcional calculada (incrementándola hasta en un 20%).

El consumo de oxígeno alcanzado en tapiz es algo superior al obtenido en bicicleta. La frecuencia cardíaca (FC) y la presión arterial (PA) son similares en ambos métodos.

En circunstancias especiales en las que las PE estén orientadas a la evaluación de deportistas, pacientes con problemas en extremidades inferiores u otras situaciones especiales, se podrá disponer de ergómetros «especializados», sobre todo aquellos que emulan el gesto deportivo del sujeto. Es de notar que éstos tienen una menor sensibilidad para la detección de enfermedades coronarias, si bien permiten una mejor valoración de la capacidad aeróbica máxima.

Para el control de la PA el mejor sistema es el método auscultatorio con esfigmomanómetro, mejor de columna de mercurio, pero también es fiable el aneroide. Desde hace algún tiempo se utilizan aparatos automáticos y programables, escasamente difundidos.

La sala para la PE es conveniente que esté ubicada en un lugar de fácil acceso y con posibilidad de una rápida evacuación, y es deseable una habitación amplia, bien ventilada y seca que favorezca la dispersión de la sudación y el calor que provoca el ejercicio, manteniendo una temperatura próxima a los 21 °C, pues variaciones ambientales pueden cambiar la respuesta del organismo al esfuerzo, en especial si la temperatura es superior a los 25 °C. Es conveniente disponer de una camilla y toma de oxígeno. Ante la posibilidad de que puedan presentarse complicaciones eléctricas graves es imprescindible disponer de desfibrilador, material y medicación necesarios para una reanimación cardiopulmonar correcta, así como para atender a otras eventualidades durante la PE (angina, crisis hipertensivas o baches hipotensivos, arritmias, etc.).

Es preciso que un médico entrenado supervise la realización de la PE. El médico es responsable de la interpretación de los signos clínicos y de los datos del ECG. El personal técnico o de enfermería efectúa la preparación metódica del paciente con la colocación de los electrodos y cables. Durante la prueba mide la PA y colabora en la evaluación de los síntomas y signos del paciente.

## Metódica de la prueba de esfuerzo convencional

### Preparación del paciente

El paciente aceptará la realización de la exploración después de recibir la información adecuada y cumplir el consentimiento informado correspondiente<sup>2</sup>. Es conveniente instruir al paciente para que no tome café, alcohol o fume desde tres horas antes de la realización de la prueba. Se recomienda evitar la actividad física intensa o el ejercicio inhabitual en las doce horas anteriores. Llevará ropa confortable y el calzado cómodo.

Es necesario realizar una cuidadosa preparación de la piel para poder obtener registros electrocardiográficos de calidad, siendo necesario el desengrasado de la zona con alcohol y su posterior raspado con algún medio abrasivo para reducir la resistencia de la piel. Los electrodos se adherirán a la piel y puede ser conveniente la colocación al paciente de una malla en forma de camiseta para poder sujetar cables y electrodos.

### Realización de la prueba

Antes de iniciar el esfuerzo debe obtenerse un ECG en decúbito, en ortostatismo y en las PE cuyo objetivo es la detección de la cardiopatía isquémica tras hiperventilación voluntaria. Durante el esfuerzo se monitorizarán al menos tres derivaciones de modo continuo, realizándose un registro de las 12 derivaciones del ECG al final de la prueba, así como en el momento en que se produzca algún acontecimiento clínico importante. La monitorización se continuará en recuperación durante 3-5 min en ausencia de hallazgos patológicos. En cualquier caso, debe esperarse a que el paciente recupere su situación basal. La FC y PA en reposo, durante la PE y en recuperación, se recogerán al menos en los mismos momentos en que se registre el ECG, además de al final de cada estadio<sup>3</sup>.

La duración óptima de la prueba está estimada entre 6 y 12 min; un período mayor puede dificultar, por diversas causas, la valoración de la misma<sup>4,5</sup>.

### Seguridad

La PE es un procedimiento considerado habitualmente seguro. Puede presentar 1 caso de fallecimiento por cada 10.000 pruebas<sup>6</sup>. En cualquier caso, las posibles complicaciones son poco frecuentes<sup>7</sup>. Con el fin de asegurar la ausencia de complicaciones importantes se deben tener en cuenta las contraindicaciones para su realización<sup>3</sup> (tabla 1), así como los criterios de detención de la prueba<sup>8,9</sup> (tabla 2).

### Protocolos de esfuerzo

El protocolo más utilizado es el de Bruce sobre *treadmill*, pero se debe elegir el más adecuado para cada individuo y/o grupo de población de acuerdo con el objetivo de la prueba. Todo protocolo permitirá que el sujeto se familiarice con el laboratorio y ergómetro utilizados, y realice calentamiento<sup>10-12</sup>.

*Protocolos continuos y discontinuos.* Los protocolos pueden ser de intensidad constante o incremental, y en éstos los aumentos de intensidad pueden realizarse de forma continua (en rampa) o discontinua, con o sin pausas<sup>13-16</sup>. Los protocolos discontinuos son siempre escalonados, tienen fases que generalmente oscilan entre 1 y 3 min de duración. Los protocolos en rampa tienen entre otras ventajas<sup>12,17</sup>: evitar comportamientos en escalera de variables fisiológicas (mejor medición de umbrales), dan valores de consumo de oxígeno, ventilación, FC, y otras variables similares a los protocolos discontinuos, permiten una mejor adaptación física y psicológica, y la intensidad se ajusta de forma individualizada para que la PE tenga una duración aproximada de 6 a 12 min.

*Protocolos máximos y submáximos.* Frecuentemente, el objetivo de la PE no exige llevar al paciente al esfuerzo máximo. Una PE máxima conlleva un esfuerzo en el que la fatiga o los síntomas impidan continuar, o en el que se alcancen los valores máximos de FC y VO<sub>2</sub>.

Hay poca correlación entre edad y la FC máxima. La FC máxima teórica según la edad (calculada habitualmente como 220-edad en años) puede ser utilizada como guía, pero nunca como criterio único y absoluto para valorar la maximalidad (intensidad máxima alcanzada o alcanzable) de un ejercicio y/o terminar una PE<sup>10</sup>. Excepto en la población pediátrica, un método alternativo o de gran ayuda para valorar la maximalidad o el grado de fatiga de un sujeto en la PE es la cuantificación de la percepción subjetiva de esfuerzo mediante la escala de Borg<sup>12,18,19</sup> (tabla 3).

Dada la dificultad práctica para medir directamente el VO<sub>2</sub> en una PE, en la clínica diaria se suele expresar éste en forma de trabajo externo expresado en MET (equivalentes metabólicos) que corresponden a 3,5 ml/kg/min de VO<sub>2</sub> y que permiten la comparación entre los diferentes protocolos. Varios de los distintos protocolos tradicionalmente más utilizados (Bruce, Balke, Naughton, Ellestad, etc.) disponen de fórmulas para estimar el VO<sub>2máx</sub>. El error de estas fórmulas parece ser mayor en protocolos de estados no estables, como son los más comunes<sup>12</sup>.

Las PE submáximas pueden ser de gran utilidad para determinar la condición física en sujetos aparentemente sanos en los que no se precise una valoración diagnóstica, y en ellas se pretende llevar al sujeto a un punto predeterminado que bien puede ser una FC diurna, un porcentaje de la FC máxima teórica (85%), una

intensidad de ejercicio o un nivel de esfuerzo en la escala de Borg.

Es posible que una PE diagnóstica submáxima no desencadene cambios valorables en el ECG o en la PA, pero puede servir para valorar la evolución en la condición física de un sujeto. En este sentido, hay que destacar el umbral anaeróbico como principal parámetro submáximo indicativo de la capacidad funcional<sup>10,12</sup>.

Las pruebas de intensidad constante y larga duración, tipo «contrarreloj» (o tiempo invertido en una cantidad determinada de trabajo, o bien ejercicio realizado en un tiempo determinado, como es la prueba de los 6 min) se emplean para valorar el rendimiento a intensidades submáximas<sup>20-22</sup>.

### *La elección de un protocolo de prueba de esfuerzo*

Para elegir o diseñar un protocolo, el objetivo o información que se pretende obtener es el principal factor a tener en cuenta, junto a la condición física, edad, sexo, peso y posibles déficit físicos y/o psíquicos<sup>12,23</sup>.

El tipo de ejercicio realizado en la PE conviene que sea aquel al que el sujeto esté más familiarizado, ya sea andar, pedalear, remar o cualquier otro (si se dispone del ergómetro adecuado)<sup>13,16,24</sup>. La edad es un factor decisivo en la elección del protocolo sólo en la edad pediátrica y en edades avanzadas.

Como ya hemos comentado, el protocolo más ampliamente utilizado en relación con la valoración de la cardiopatía isquémica es el de Bruce, que tiene limitaciones en la determinación precisa de la capacidad funcional, especialmente a cargas elevadas, y adolece de escasa precisión en el caso de pacientes con cardiopatía isquémica severa o fallo de bomba a baja carga. En determinados pacientes, como aquellos en edad pediátrica, sujetos en baja condición física o en la fase inmediata tras un episodio isquémico coronario agudo, puede ser aconsejable la aplicación de protocolos con un inicio de esfuerzo más progresivo, como el Bruce Modificado o el protocolo de Naughton<sup>14,15,25,26</sup>.

### **Parámetros a evaluar**

En la tabla 4 aparecen recogidos los parámetros fundamentales a recoger durante la realización de una PE. El significado de cada uno de ellos se explicará en los diversos apartados de esta revisión, de acuerdo con las aplicaciones específicas de la PE. Los parámetros que podemos obtener en una PE con análisis de gases espirados aparecen en el apartado siguiente de este trabajo

### **Resultados de la prueba de esfuerzo**

La información que se obtiene de la PE debe ser adecuadamente recogida, registrada y almacenada. En

todo caso, debe ser siempre informada, y el informe debe contener los datos necesarios para el médico que solicita la prueba.

En todo caso, la información que contiene el informe debería cumplir un doble criterio:

- Proporcionar información técnica sobre el transcurso de la PE para que el receptor del informe pueda comprenderla como si hubiera estado presente en la misma. El informe debería contener datos sobre los diagnósticos previos y la situación clínica del paciente, protocolo aplicado y la preparación del paciente, datos sobre el transcurso de la misma y datos de finalización.

- Ofrecer una información concreta sobre el resultado de la PE que resuma la información.

De los datos a recoger hay un subconjunto de ellos que deberían constar en el informe a elaborar en toda PE. Los datos que como mínimo pasarían a estar presentes en todo informe constituyen el conjunto mínimo de datos a recoger y serían la base del informe básico. En el anexo 1 aparece una propuesta de conjunto mínimo de datos a recoger.

### *Almacenamiento de datos*

Los datos que se recojan de la realización de la prueba de esfuerzo pueden ser almacenados en una «base de datos» (archivo informático) o, en su defecto, sobre base papel, pero en ningún caso se deberá practicar una ergometría sin guardar constancia de su serie de datos y documentos: datos de filiación del paciente y datos de la prueba de esfuerzo.

## **PRUEBAS DE ESFUERZO CON ANÁLISIS DE LOS GASES ESPIRADOS (ERGOESPIROMETRÍA)**

Los analizadores de gases respiratorios permiten cuantificar una serie de parámetros ergoespirométricos que nos aportan información acerca del comportamiento de los aparatos cardiovascular y respiratorio y del metabolismo energético durante el ejercicio físico, de gran utilidad y aplicación en diferentes áreas de la medicina (cardiología, neumología, medicina deportiva y medicina del trabajo).

### **Parámetros ergoespirométricos.**

#### *Consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>)*

- VO<sub>2</sub> máximo (VO<sub>2máx</sub>): es la cantidad máxima de oxígeno (O<sub>2</sub>) que el organismo puede absorber de la atmósfera, transportar a los tejidos y consumir por unidad de tiempo. Se expresa en valor absoluto (l·min<sup>-1</sup> o ml·min<sup>-1</sup>) o relativo al peso corporal total (ml·kg<sup>-1</sup>



$\cdot\text{min}^{-1}$ ), o en unidades metabólicas (MET). El  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  es un excelente parámetro de valoración del sistema de transporte de  $\text{O}_2$ . El criterio más importante para su determinación es la meseta alcanzada en la curva de  $\text{VO}_2$  en un ejercicio incremental, de forma que, aunque se incremente la carga de trabajo, el  $\text{VO}_2$  no aumente.

– $\text{VO}_2$  pico: es el mayor valor de  $\text{VO}_2$  alcanzado en una prueba incremental, cuando no es posible alcanzar criterios de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Es el parámetro que habitualmente se obtiene y se utiliza en sujetos no entrenados y, desde luego, en cardiopatas.

### *Umbral anaeróbico (UA)*

Según Wasserman se define como «la intensidad de ejercicio o de trabajo físico por encima de la cual empieza a aumentar de forma progresiva la concentración de lactato en sangre, a la vez que la ventilación se incrementa también de una manera desproporcionada con respecto al oxígeno consumido». Es un indicador objetivo y reproducible de la capacidad funcional independiente de la motivación del sujeto, ya que no es necesario realizar un esfuerzo máximo para su determinación.

### *Ventilación pulmonar por minuto ( $V_E$ )*

Es el volumen de aire espirado en  $1\text{-min}^{-1}$ . Hace referencia a la capacidad ventilatoria del individuo y a su adaptación física al esfuerzo.

### *Relación espacio muerto/volumen corriente ( $V_d/V_t$ )*

Su análisis durante el ejercicio pone de manifiesto alteraciones en el intercambio gaseoso y en la relación ventilación/perfusión. Permite realizar el diagnóstico diferencial entre una limitación del ejercicio de carácter cardiovascular o respiratorio.

### *Producción de $\text{CO}_2$ ( $\text{VCO}_2$ )*

Es la cantidad de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) eliminado por la respiración por unidad de tiempo ( $1\text{-min}^{-1}$  o  $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Ofrece información acerca de los procesos cuantitativos del metabolismo aeróbico y anaeróbico.

### *Cociente respiratorio (CR)*

Es la relación entre la  $\text{VCO}_2$  y el  $\text{VO}_2$ . Es un índice del grado de fatiga referida a los procesos metabólicos, así como a las condiciones ventilatorias en cada nivel de ejercicio.

### *Equivalentes ventilatorios para el $\text{O}_2$ y el $\text{CO}_2$*

### *( $\text{EqO}_2$ , $\text{EqCO}_2$ )*

Representan los ml de aire que deben ventilarse para consumir 1 ml de  $\text{O}_2$  y eliminar 1 ml de  $\text{CO}_2$ , respectivamente ( $V_E/\text{VO}_2$  y  $V_E/\text{VCO}_2$ ). Ambos parámetros son índices de la economía respiratoria o grado de eficiencia de la ventilación.

### *Pulso de oxígeno ( $\text{VO}_2/\text{FC}$ )*

Es la cantidad de  $\text{O}_2$  consumido durante un ciclo cardíaco completo ( $\text{ml}\cdot\text{latido}^{-1}$ ). Según la ecuación de Fick tiene una relación directa con el volumen sistólico.

### **Interés de la determinación directa del $\text{VO}_2$ en el paciente con cardiopatía**

En el paciente cardiopata, y especialmente en la insuficiencia cardíaca, se altera el sistema de transporte de  $\text{O}_2$ , tanto central (cardíaco y respiratorio) como periférico (muscular).

La limitación funcional que presenta el paciente con cardiopatía no guarda relación con los parámetros estructurales o funcionales en reposo que habitualmente se usan con fines valorativos y de estratificación pronóstica, como la fracción de eyección ventricular. Esta falta de relación reafirma la conveniencia de la determinación directa del  $\text{VO}_2$  durante el ejercicio para una mejor aproximación al conocimiento del estado funcional de todo el sistema de transporte de  $\text{O}_2$ .

Por otra parte, la percepción de la tolerancia al esfuerzo puede ser variable de paciente a paciente e incluso de día a día, por lo que las clasificaciones funcionales subjetivas que habitualmente se utilizan, como la de la New York Heart Association (NYHA), no se correlacionan bien con los parámetros que valoran objetivamente la capacidad funcional y el pronóstico. La determinación del  $\text{VO}_2$  permite estimar de manera objetiva el deterioro funcional del paciente y evaluar las medidas terapéuticas. La ergoespirometría es un procedimiento incruento y reproducible que puede repetirse cuantas veces sea necesario y con ello obtener un mejor control evolutivo del paciente.

### **Interés de la determinación directa del umbral anaerobio en el paciente con cardiopatía**

La imposibilidad de la mayoría de los pacientes de alcanzar el  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  refuerza la utilidad de la valoración de parámetros submáximos, como el umbral anaerobio en el estudio de la capacidad funcional. Por otra parte, en la rehabilitación cardíaca de pacientes con insuficiencia cardíaca y, en general, en todos los pacientes de alto riesgo, es útil la determinación del umbral anaerobio. Es recomendable utilizar la FC en el umbral anaerobio como FC de entrenamiento, con lo que

la mejoría funcional y la seguridad de un programa así diseñado es máxima, siendo este aspecto muy importante en pacientes de alto riesgo o con insuficiencia cardíaca. Un entrenamiento de estas características se ajusta a las necesidades metabólicas y circulatorias del paciente, con lo que la progresión en su forma física es óptima, mejorando el control del paciente.

### Aplicaciones clínicas en cardiología

Según la última Task Force sobre PE publicada en los EE.UU. en 1997<sup>27</sup>, la PE con determinación de gases respiratorios es el mejor test *objetivo* disponible para:

- Estimar la capacidad funcional.
- Evaluar la respuesta a intervenciones que puedan afectar a la capacidad de esfuerzo.
- Evaluar la evolución de enfermedades que puedan limitar la capacidad de esfuerzo.
- Ayudar a diferenciar las limitaciones de la capacidad de esfuerzo de origen cardíaco o pulmonar.

Las indicaciones son las siguientes:

– Clase I: evaluación de la capacidad de esfuerzo y de la respuesta terapéutica en pacientes con insuficiencia cardíaca considerados para trasplante cardíaco.

Diferenciación de enfermedad cardíaca frente a enfermedad pulmonar como causa de disnea o capacidad de esfuerzo disminuida, cuando esta diferencia tenga relevancia clínica para el paciente.

– Clase IIa: evaluación de la capacidad de esfuerzo cuando está indicada por razones médicas en sujetos en los que la evaluación subjetiva no es concluyente.

– Clase IIb: evaluación de la respuesta del paciente a intervenciones terapéuticas específicas en las que la mejoría de la tolerancia al esfuerzo es una finalidad importante. Determinación de la intensidad del entrenamiento como parte de los programas de rehabilitación cardíaca.

– Clase III: utilización rutinaria para evaluar la capacidad de esfuerzo.

### LA PRUEBA DE ESFUERZO EN LA CARDIOPATÍA ISQUÉMICA

La utilidad de la prueba de esfuerzo en la cardiopatía isquémica viene dada por la posibilidad de poner en evidencia alteraciones cardiovasculares que no están presentes en reposo y que pueden manifestarse con el ejercicio. Los objetivos básicos de la prueba de esfuerzo en la cardiopatía isquémica son:

1. Valorar la probabilidad de que un individuo determinado presente cardiopatía isquémica significativa (valoración diagnóstica).

2. Estimar la severidad y probabilidad de complicaciones cardiovasculares posteriores (valoración pronóstica).

3. Analizar la capacidad funcional del individuo (valoración funcional).

4. Documentar los efectos de un tratamiento aplicado (valoración terapéutica).

La Sociedad Española de Cardiología y la Sección de Cardiopatía Isquémica y Unidades Coronarias han elaborado periódicamente guías y normas para la práctica clínica sobre pruebas de esfuerzo a través de documentos de consenso emitidos por diferentes expertos en la materia<sup>4,7,28-30</sup>. En el presente apartado se revisan los datos de la bibliografía que permiten establecer una actualización sobre las guías de recomendación en el uso de la prueba de esfuerzo para el diagnóstico de enfermedad coronaria, pronóstico de enfermedad coronaria, paciente postinfarto de miocardio y en el paciente sometido a revascularización (angioplastia o cirugía de derivación aortocoronaria).

### La prueba de esfuerzo en el diagnóstico de la enfermedad coronaria

El dolor torácico es el síntoma clave entre las múltiples manifestaciones que puede tener la cardiopatía isquémica. La PE es la exploración más empleada y útil en el diagnóstico de enfermedad coronaria, en la que seguimos aceptando como patrón oro la angiografía coronaria que demuestra lesiones coronarias superiores al 50 o 70%. Hay que recordar, sin embargo, que existen situaciones que no afectan suficientemente a la luz coronaria como para desencadenar isquemia durante el ejercicio, pero que pueden provocar fenómenos de isquemia por otros mecanismos, como el espasmo, la rotura de placa o la trombosis, alguno de ellos con consecuencias potencialmente catastróficas.

La estimación clínica de la probabilidad de enfermedad coronaria se basa en datos de la historia clínica (como las características del dolor, edad y sexo del paciente y factores de riesgo coronario), datos de la exploración física y del ECG basal (presencia de ondas Q o anomalías del segmento ST), así como de la experiencia del médico en la evaluación de este problema<sup>31,32</sup>. La angina típica o definitiva puede ser definida por: a) dolor o molestia torácica; b) que aparece con el esfuerzo o con estrés emocional, y c) que se alivia con el reposo o con nitroglicerina<sup>33</sup>. La angina atípica o dolor torácico atípico se define por el dolor torácico con dos de las tres características, mientras que dolor no anginoso se refiere al que cumple sólo una de las tres características (tabla 5).

Cuando un paciente varón con varios factores de riesgo coronario es catalogado clínicamente como de angina típica o definitiva, su probabilidad de tener enfermedad coronaria es tan elevada que el resultado

del test de esfuerzo no cambia de manera significativa esta probabilidad. Sin embargo, en un varón de mediana edad catalogado como de angina atípica (probabilidad del 50% de cardiopatía isquémica), el resultado del test de esfuerzo tiene una consecuencia directa en el diagnóstico final del paciente.

### *Sensibilidad, especificidad y valor predictivo*

Al igual que en todas las pruebas o tests diagnósticos, la sensibilidad, la especificidad y los valores predictivos de la PE dependen de los criterios de positividad utilizados y de la prevalencia de la enfermedad coronaria en la población estudiada<sup>34,35</sup> (tabla 6). Es importante decidir el valor discriminante en la interpretación del resultado que permite separar al grupo de sujetos con y sin la enfermedad (p. ej., la depresión del segmento ST de 1 mm). Si se decide incrementar este valor (p. ej., 2 mm de depresión del segmento ST) para conseguir que la mayor parte de los sujetos normales no alcancen este valor (aumentar la especificidad), un mayor número de pacientes tendrá el test negativo (menor sensibilidad).

El valor predictivo de un test positivo es el porcentaje de personas con test anormal que tiene la enfermedad. El valor predictivo depende de la sensibilidad y de la especificidad del test empleado, pero también de la prevalencia de la enfermedad en la población estudiada. El teorema de Bayes relaciona la probabilidad de tener la enfermedad en relación con la probabilidad pretest y al resultado del test empleado.

El uso de otras variables que aporta la PE (además de la depresión del segmento ST) ha sido empleado para proporcionar una mejor discriminación en el diagnóstico de enfermedad coronaria. Al analizar el comportamiento del segmento ST es importante tener en cuenta varios parámetros: tiempo de comienzo, magnitud, extensión, duración, etc., que mejoran la utilidad diagnóstica de la prueba<sup>36-38</sup>. Además, la valoración de los síntomas durante la prueba de esfuerzo, especialmente la aparición de dolor torácico, es un dato clave para la correcta interpretación del resultado. En general, el dolor torácico aparece después de iniciada la depresión del segmento ST, aunque en algunos pacientes puede ser el único marcador de enfermedad coronaria durante la prueba de esfuerzo.

### *Exactitud diagnóstica de la prueba de esfuerzo*

En la práctica, las pruebas de esfuerzo con fines diagnósticos se emplean en pacientes con diagnóstico dudoso, y es en este grupo de pacientes donde interesa conocer las características del test empleado. Cuando se analizan trabajos que evalúan la prueba de esfuerzo como test diagnóstico se debería exigir que incluyesen a pacientes consecutivos con diagnóstico dudoso. En este sentido, pacientes postinfarto de miocardio sólo

deberían ser incluidos en series que analizan la predicción de severidad de enfermedad coronaria, pero no en series de diagnóstico de enfermedad coronaria. La variabilidad que existe entre diferentes publicaciones en la exactitud diagnóstica de la prueba de esfuerzo hace que ésta tenga que ser estudiada mediante un metaanálisis<sup>39</sup>.

El metaanálisis de 147 publicaciones consecutivas, que incluyen a 24.074 pacientes con test de esfuerzo y coronariografía, proporciona una amplia variabilidad de la sensibilidad y de la especificidad. Si no se incluyen series con pacientes postinfarto (58 estudios con 11.691 pacientes), la exactitud del test diagnóstico proporciona una sensibilidad del 67% y una especificidad del 72%. La sensibilidad de la prueba de esfuerzo varía en función de la severidad de la enfermedad coronaria. Así, en pacientes con enfermedad de un vaso, la sensibilidad oscila entre 25 y 60%, en enfermedad de dos vasos entre el 38 y 91% y en enfermedad de tres vasos entre el 73 y 100%<sup>40</sup>.

### *Limitaciones de la prueba de esfuerzo para el diagnóstico de enfermedad coronaria*

La alteración del electrocardiograma basal es una de las principales limitaciones de la prueba de esfuerzo diagnóstica (tabla 7). La depresión del segmento ST al esfuerzo en pacientes con bloqueo de rama izquierda no se asocia a isquemia, por lo que la PE convencional no tiene una utilidad diagnóstica en este contexto<sup>41</sup>. Con respecto al bloqueo de rama derecha, la depresión del segmento ST al esfuerzo en las precordiales derechas (V1 a V3) no se asocia a isquemia; sin embargo, la depresión del segmento ST en otras derivaciones (V5 o V6 o II y aVF) aporta información similar a la obtenida en pacientes con ECG normal<sup>42</sup>.

Tanto la hipertrofia ventricular izquierda con alteración de la repolarización como la depresión del segmento ST en el ECG basal son dos circunstancias que condicionan una menor especificidad del test de esfuerzo, sin afectar significativamente a la sensibilidad<sup>43</sup>. La PE convencional puede ser útil como primer test en la evaluación de estos pacientes, y un segundo test (con técnica de imagen) sería necesario sólo en pacientes con un resultado anormal, ya que el test negativo mantiene su validez.

Diversos fármacos pueden condicionar el resultado de una prueba de esfuerzo (tabla 7). Se ha descrito que la digoxina es capaz de provocar una depresión del segmento ST al esfuerzo en el 25-40% de sujetos sanos<sup>44</sup>, pero la realidad es que la sensibilidad y la especificidad del test de esfuerzo no resultan afectados de manera significativa por la administración de digoxina, por lo que no es necesaria su retirada antes de un test diagnóstico. A pesar de que los betabloqueadores pueden atenuar la frecuencia máxima de esfuerzo<sup>45</sup>, no parece necesaria su retirada si se requiere un test diag-

nóstico rutinario (teniendo en cuenta el riesgo que puede suceder en pacientes con cardiopatía isquémica). Los nitratos pueden atenuar la angina o la depresión del segmento ST al esfuerzo en pacientes con isquemia. Otros fármacos, como agentes antihipertensivos, pueden atenuar la respuesta hemodinámica de la presión arterial al esfuerzo.

### *Interpretación de las alteraciones electrocardiográficas y clínicas (tabla 8)*

En pacientes sin antecedente de infarto de miocardio y ECG normal, las derivaciones precordiales son suficientes como marcadores de cardiopatía isquémica. Las derivaciones inferiores aportan poca información adicional. Por otro lado, en pacientes con ECG normal, la depresión del segmento ST exclusivamente en derivaciones inferiores tiene poco valor como indicador de cardiopatía isquémica<sup>46</sup>.

Tanto la depresión descendente como horizontal del segmento ST son potentes predictores de enfermedad coronaria, comparadas con la depresión ascendente del segmento ST. Sin embargo, la depresión «lentamente ascendente» del segmento ST (menor a 1 mV/s) se ha asociado a una relativa probabilidad de cardiopatía isquémica<sup>47,48</sup>. No obstante, si se usa este criterio como positividad en la prueba de esfuerzo, la especificidad desciende considerablemente (más falsos positivos), aunque el test es más sensible.

La elevación del segmento ST en derivaciones con onda Q es un hecho que se produce con relativa frecuencia, pero en derivaciones sin onda Q es algo extremadamente infrecuente (0,1%). La elevación del segmento ST en un ECG normal indica isquemia transmural (por espasmo coronario o lesión crítica)<sup>49</sup>. Sin embargo, la elevación del segmento ST en pacientes con onda Q de necrosis es un dato controvertido: en general, se acepta como una alteración secundaria a una anomalía de la motilidad de la pared ventricular<sup>50</sup>, aunque algunos autores han sugerido que es un marcador de viabilidad residual en el área infartada<sup>51</sup>.

Hay muchos factores que pueden modificar la magnitud de la onda R al ejercicio, por lo que sus alteraciones no tienen significación diagnóstica<sup>52</sup>. Es característico que la onda R típicamente se incremente en amplitud con el ejercicio, generalmente alcanzando un máximo a la frecuencia cardíaca de 130 lat/min, para descender ligeramente con posterioridad. Por tanto, no lo consideramos como un parámetro diagnóstico útil de isquemia miocárdica durante el esfuerzo.

La angina de pecho que aparece durante el esfuerzo es altamente significativa de isquemia. Puesto que pueden producirse varios tipos de malestar torácico durante el esfuerzo, es fundamental que el médico que supervise la prueba valore de manera adecuada los síntomas, ya que la decisión final sobre el significado clínico será suya.

### *Indicaciones de la prueba de esfuerzo con finalidad diagnóstica*

– Clase I: evaluación inicial de los pacientes con sospecha de enfermedad coronaria (pacientes con probabilidad intermedia para cardiopatía isquémica sobre la base de sus síntomas, edad y sexo) (tabla 9).

– Clase IIa: pacientes con angina vasospástica. Evaluación inicial de pacientes con sospecha de enfermedad coronaria y alteraciones electrocardiográficas de la repolarización en el ECG basal poco significativas. Pacientes con una alta probabilidad pretest de cardiopatía isquémica sobre la base de sus síntomas, edad y sexo (tabla 9). Pacientes con una baja probabilidad pretest de cardiopatía isquémica sobre la base de síntomas, edad y sexo (tabla 9).

– Clase IIb: pacientes asintomáticos con varios factores de riesgo coronario.

– Clase III: pacientes con importantes alteraciones del ECG basal, como patrón de preexcitación, ritmo ventricular estimulado por marcapasos, depresión del segmento ST superior a 1 mm o bloqueo completo de rama la izquierda.

### **La prueba de esfuerzo en la evaluación del pronóstico de la enfermedad coronaria**

#### *Estratificación del riesgo coronario*

La estratificación de los pacientes se realiza de forma constante y se inicia partiendo de los datos de la historia clínica, la exploración física y las exploraciones elementales y actualizándose ante cada nuevo acontecimiento<sup>53</sup>. El valor pronóstico que pueda aportar una prueba de esfuerzo siempre debe ser valorado en el contexto clínico del paciente, teniendo en cuenta todas las exploraciones que se le hayan realizado. Los datos disponibles sobre el valor pronóstico de la prueba de esfuerzo se han centrado en la probabilidad de supervivencia y, con menos frecuencia, en la probabilidad de supervivencia sin nuevo infarto de miocardio.

#### *Pronóstico de la cardiopatía isquémica*

En el paciente coronario, el riesgo en un momento determinado<sup>54</sup> está en función de diferentes variables, como son la función ventricular, la severidad de las lesiones coronarias, los antecedentes recientes clínicos en relación con complicaciones de la placa de aterosclerosis, la estabilidad eléctrica y la condición general de salud. Existen amplias evidencias que indican que la mayoría de los acontecimientos clínicos importantes, como el infarto de miocardio, la angina inestable o la muerte súbita, se inician como consecuencia de roturas microscópicas en placas ateroscleróticas vulnerables<sup>55</sup>. La mayoría de las placas vulnerables son «angiográficas».



camente no significativas» (es decir, tienen un diámetro inferior al 75%) antes de su rotura. Por tanto, la posibilidad de que un test de ejercicio pueda detectar una placa vulnerable está limitada por su reducido tamaño y su poca repercusión en la limitación al flujo coronario. Ésta es una de las explicaciones que justifica el limitado valor predictivo para infarto de miocardio de una prueba negativa.

### *Estratificación del riesgo con una prueba de esfuerzo*

No existen estudios aleatorizados que valoren la realización o no del test de esfuerzo como medida para alterar el pronóstico. Toda la evidencia sobre el valor pronóstico del test de esfuerzo consiste en estudios observacionales. Los riesgos de la práctica del test de ejercicio son, globalmente, muy bajos. Por tanto, el argumento para no realizar test de ejercicio podría ser que la información aportada no justifica el mayor gasto realizado, o que podría aportar una información confusa que llevase a una uso inapropiado o excesivo de otros test adicionales. En este sentido, la PE puede ser aplicada en las siguientes condiciones clínicas:

*Utilidad pronóstica en la cardiopatía isquémica estable.* Cuando lo que queremos es valorar el pronóstico en pacientes con cardiopatía isquémica estable, es preciso comentar que una de las mayores y más consistentes variables del test de esfuerzo es la capacidad máxima de ejercicio, que está en parte condicionada por el grado de disfunción ventricular izquierda en reposo o en ejercicio. Sin embargo, la relación entre capacidad de esfuerzo y función ventricular es compleja, ya que existen otras variables que condicionan la capacidad de esfuerzo, como la edad, el estado físico general, la comorbilidad asociada y el estado anímico o de motivación del paciente<sup>56</sup>. Existen diversos parámetros usados para determinar la capacidad de ejercicio, como la duración de éste, los MET alcanzados, la máxima frecuencia cardíaca alcanzada o el doble producto. La medida de la capacidad de ejercicio en MET tiene la ventaja de aportar una información que es independiente del tipo de test de ejercicio empleado o del protocolo usado.

Un segundo grupo de marcadores pronósticos aportados por la prueba de esfuerzo es la isquemia inducida durante el ejercicio<sup>57</sup>. Estos marcadores incluyen la depresión del segmento ST, la elevación del segmento ST (en derivaciones sin onda Q) o la angina inducida por el esfuerzo. Otro marcador pronóstico menos potente lo constituye el número de derivaciones con depresión del segmento ST, la configuración de la depresión del segmento ST (descendente, rectilíneo o ascendente), y la duración de la depresión del segmento ST en la fase de recuperación (tabla 10).

Según los datos del Duke Cardiovascular Disease

Databank<sup>58</sup>, la definición de una prueba de esfuerzo «positiva precoz» como aquella que resulta de una depresión igual o superior a 1 mm en los primeros dos estadios del protocolo de Bruce identifica a pacientes de alto riesgo, mientras que los pacientes que pueden alcanzar el estadio IV (independientemente del grado de depresión del segmento ST) son de bajo riesgo.

Se ha propuesto una valoración conjunta de las diferentes variables que aporta la prueba de esfuerzo para aumentar su poder pronóstico. En este sentido, el *score* de la Duke University aporta una puntuación que permite predecir la mortalidad anual<sup>57</sup>. Esta escala incluye la variables duración del test, magnitud en la depresión del segmento ST y un índice de angina.

En cualquier caso, aunque la PE se correlaciona con la presencia y la severidad de la enfermedad coronaria, identifica mejor la probabilidad de mortalidad que la de infarto de miocardio no fatal.

*Utilidad pronóstica en pacientes con angina inestable.* La angina inestable puede progresar a la muerte o al infarto de miocardio o, por otro lado, evolucionar a una fase crónica estable de la enfermedad coronaria. Sobre la base de datos de la historia clínica, el examen físico y el ECG inicial, los pacientes con angina inestable pueden ser distribuidos en grupos de bajo, intermedio o alto riesgo<sup>59</sup>. La mayoría de los pacientes pueden ser evaluados con un test de esfuerzo a las 48 h una vez controlados los síntomas<sup>59,60</sup>.

La prueba de esfuerzo realizada con medicación pretende descubrir datos de mal pronóstico ya comentados para la cardiopatía isquémica estable (tabla 10). La presencia de algunos de ellos supone habitualmente la indicación de coronariografía.

### *Indicaciones de la prueba de esfuerzo pronóstica.*

– Clase I: pacientes sometidos a evaluación inicial de enfermedad coronaria. Pacientes con angina estable en los que se plantea una revascularización percutánea o quirúrgica.

– Clase IIa: pacientes con enfermedad coronaria que presenten una evolución clínica desfavorable. Pacientes estables clínicamente para guiar su tratamiento médico.

– Clase IIb: pacientes con enfermedad coronaria y anomalías en el ECG (ritmo ventricular estimulado por marcapasos, depresión superior a 1 mm del segmento ST en el ECG basal, bloqueo completo de rama izquierda). Pacientes estables clínicamente que son evaluados de forma periódica.

– Clase III: pacientes con esperanza de vida limitada por cualquier causa.

### *Prueba de esfuerzo postinfarto de miocardio*

La PE se ha considerado útil para la evaluación pro-

nóstica y para establecer el tratamiento en pacientes postinfarto<sup>61</sup>. En la última década, sin embargo, la estrategia y el tratamiento del infarto de miocardio han cambiado de manera muy sustancial, por lo que la PE tiene que ser revalidada de conformidad con estos cambios<sup>62</sup>. El acortamiento de la estancia hospitalaria, el uso amplio de agentes trombolíticos, el mayor empleo de técnicas de revascularización, y el incremento en el uso de betabloqueadores y de fármacos inhibidores de la enzima de conversión de la angiotensina han cambiado la presentación clínica del paciente postinfarto de miocardio<sup>63</sup>. Sin embargo, no todos los pacientes con infarto reciben todas estas diferentes estrategias, por lo que finalmente nos encontramos ante un grupo de pacientes muy heterogéneos.

También se debe tener en cuenta que un importante número de pacientes postinfarto no pueden realizar un test de esfuerzo por diversos motivos. La base de datos del estudio GISSI-2<sup>64</sup> revela que hasta un 40% de pacientes trombolizados no pudieron realizar una prueba de esfuerzo a los 28 días del infarto de miocardio por diversas causas. Este estudio, y otros realizados con pacientes que no recibieron trombolíticos<sup>65,66</sup>, ponen de manifiesto que los pacientes que no pueden realizar la PE son en realidad los que tiene peor pronóstico.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la PE postinfarto de miocardio tiene como objetivo proporcionar información sobre la estratificación del riesgo y el establecimiento de un pronóstico, establecer la capacidad funcional para poder prescribir una pauta de actividad física al alta hospitalaria y valorar la adecuación del tratamiento médico, así como indicar la necesidad de emplear otros medios diagnósticos u otras opciones terapéuticas.

*Momento y protocolo de test de esfuerzo postinfarto de miocardio.* El momento para la realización del test ha sido motivo de discusión en los últimos años, debido al acortamiento progresivo en la estancia hospitalaria. Aunque se han practicado tests de esfuerzo a los 3 días de evolución del infarto<sup>67</sup>, la seguridad de estos protocolos no ha sido ampliamente validada. La mayoría de estudios han realizado el test de forma precoz<sup>68,69</sup>, o retrasada a las 6 semanas<sup>70-72</sup>. Además, el protocolo del test puede considerar una prueba submáxima o máxima limitada por síntomas. Los protocolos submáximos generalmente predeterminan la finalización del test a un nivel que puede ser una frecuencia cardíaca de 110-120 lat/min, un 60-70% de la frecuencia cardíaca máxima teórica o un consumo de oxígeno equivalente a 5 MET. Se ha descrito que la realización de un test limitado por síntomas entre los 4-7 días del infarto tiene la ventaja de que es capaz de detectar más respuestas isquémicas, además de poder mejorar la estimación de la capacidad funcional real, sin un aumento del riesgo del paciente<sup>73</sup>. En esta línea, en nuestro medio, la práctica más habitual es realizar una prueba

de esfuerzo máxima limitada por síntomas a partir del 5-7 día en ausencia de contraindicaciones.

La PE postinfarto de miocardio es, en general, segura. La incidencia de acontecimientos cardíacos fatales, incluyendo el infarto de miocardio fatal y rotura cardíaca, es del 0,03%, de infarto de miocardio no fatal o paro cardíaco recuperado del 0,09%, y de arritmias ventriculares complejas incluyendo taquicardia ventricular del 1,4%<sup>74-76</sup>.

*Estratificación del riesgo y pronóstico.* El pronóstico de los supervivientes a un infarto de miocardio, como se ha comentado, continúa mejorando, especialmente entre los que han recibido tratamiento revascularizador en la fase aguda. En esta circunstancia, es lógico que ante una probabilidad de acontecimientos cardíacos baja, cualquier test diagnóstico empleado tenga un bajo valor predictivo positivo. Por otro lado, existen pocos datos de utilidad para estratificar a pacientes no tratados con trombolíticos en la era actual. Sin duda, la mortalidad global de estos pacientes es menor que la de las series clásicas sin trombolíticos, fundamentalmente por avances en otros aspectos del tratamiento. A pesar de estas limitaciones, es posible que en la era actual la PE tenga todavía alguna utilidad en la estratificación de pacientes postinfarto.

*Variables con capacidad de estratificar pronóstico.* Respecto a la isquemia inducida al ejercicio, algunos estudios de la era pretrombolítica, pero no todos, habían demostrado que la depresión del segmento ST en la PE era un predictor de mortalidad cardíaca<sup>77-79</sup>. Sin embargo, el verdadero valor pronóstico no se conoce hoy día, ya que es una práctica habitual que los pacientes con respuesta isquémica al test de esfuerzo sean revascularizados, perdiéndose el valor predictivo para muerte súbita o reinfarcto<sup>80,81</sup>. Los estudios angiográficos han demostrado que, generalmente, la respuesta isquémica al test de esfuerzo se asocia más a enfermedad multivascular comparada con los test negativos<sup>80</sup>. El estudio GISSI-2<sup>64</sup> demostró que sólo la depresión del segmento ST sintomática (con angina) era predictiva de mortalidad, aunque ésta era muy baja en general (1,7%). La utilidad de la prueba de esfuerzo positiva postinfarto de miocardio para decidir la práctica de cateterismo cardíaco y revascularización con angioplastia o cirugía ha sido demostrada en el estudio danés DANAMI<sup>82</sup>, en el que se puso de manifiesto una reducción significativa del reinfarcto de miocardio de los reingresos por angina inestable entre los pacientes revascularizados, en comparación con los tratados médicamente (aunque la supervivencia fue similar en ambos grupos a los 2,4 años de seguimiento).

Los pacientes con ECG basal anormal por bloqueo de rama izquierda, hipertrofia ventricular izquierda, tratamiento con digoxina o depresión del segmento ST superior a 1 mm deberían ser considerados para un test

de esfuerzo o farmacológico con técnica de imagen.

En cuanto a la capacidad de esfuerzo, el valor de MET alcanzado en la prueba de esfuerzo es un importante predictor de efectos adversos postinfarto de miocardio<sup>66,71,73</sup>. La capacidad funcional inferior a 5 MET se acompaña de mal pronóstico.

En lo referente a la presión arterial, clásicamente se ha aceptado que la incapacidad para aumentar la presión arterial de 10 a 30 mmHg durante la PE es un factor predictor independiente de mal pronóstico postinfarto<sup>66,71,73</sup>, si bien esta variable está condicionada al tratamiento en curso, la duración de la prueba y los síntomas acompañantes.

Así pues, los predictores de mal pronóstico, hecha la salvedad de la incapacidad de realización del test, son similares a los ya citados. En general, la prueba de esfuerzo después del infarto se realiza sin suspender el tratamiento farmacológico en curso.

*Asesoramiento sobre la actividad.* La PE postinfarto de miocardio es útil para poder aconsejar sobre la actividad física ordinaria y la seguridad al realizarla que va a experimentar el paciente al alta del hospital<sup>83</sup>. La capacidad funcional obtenida en la PE puede proporcionar una estimación de la tolerancia a actividades específicas y guiar la prescripción del ejercicio durante la rehabilitación.

*Conclusiones.* La población actual de pacientes postinfarto de miocardio es sensiblemente diferente a la de las series históricas publicadas en la bibliografía. La baja incidencia de acontecimientos cardíacos reduce de manera significativa el valor predictivo positivo de cualquier test aplicado a esta población. En cambio, se mantiene el valor predictivo negativo (excelente pronóstico en los pacientes con respuesta conservada al esfuerzo). La PE está indicada fundamentalmente para la población con infarto de miocardio que no ha sido tratada con trombolíticos o revascularizada. Los pacientes (trombolizados o no) que no pueden realizar una prueba de esfuerzo por el motivo que sea, tienen mal pronóstico.

#### *Indicaciones de la prueba de esfuerzo postinfarto.*

– Clase I: con finalidad pronóstica, para prescribir el tratamiento médico o la actividad física. Debe practicarse preferentemente antes del alta (submáxima o máxima limitada por síntomas a partir del 5-7 día); si no se pudo practicar antes del alta puede hacerse ergometría limitada por síntomas a los 14-21 días.

– Clase IIa: para evaluar los programas de rehabilitación cardíaca.

– Clase IIb: antes del alta en pacientes que han sido cateterizados, para identificar isquemia en una lesión que esté en el límite de la significación. Pacientes con ECG anormal (bloqueo completo de rama izquierda,

preexcitación, hipertrofia ventricular izquierda, tratamiento con digoxina, depresión del segmento ST superior a 1 mm en el ECG basal, ritmo estimulado por marcapasos).

– Clase III: pacientes con esperanza de vida limitada por cualquier causa.

#### *Prueba de esfuerzo después de revascularización*

La prueba de esfuerzo realizada en la fase precoz posrevascularización tiene como objetivo determinar el resultado inmediato de la revascularización o como guía para rehabilitar al paciente. Cuando se realiza en una fase tardía (pasados 6 meses de la intervención), está en el contexto de la evaluación de la cardiopatía isquémica crónica subyacente. En general, no existe una indicación absoluta de la práctica de una ergometría a todo paciente asintomático sometido a revascularización. Si el paciente desarrolla clara clínica de angina, en general se procede a la práctica directa de una coronariografía, y si existen dudas sobre la interpretación de los síntomas, las técnicas de imagen ofrecen una mayor ayuda para la toma de decisiones terapéuticas.

*Prueba de esfuerzo poscirugía de revascularización miocárdica.* En pacientes sintomáticos, la PE puede servir para distinguir entre causas cardíacas y no cardíacas de dolor torácico, que generalmente tiene características atípicas poscirugía. Puesto que la exactitud del test de esfuerzo y las decisiones que se deben de tomar en este grupo de pacientes no sólo dependen de la presencia o no de isquemia, sino de su localización y extensión, son más útiles las pruebas de esfuerzo con imagen.

En general, la PE tiene importantes limitaciones en pacientes sometidos a cirugía de revascularización. Son frecuentes las anomalías basales del ECG y su interpretación depende más de los síntomas, de la respuesta hemodinámica o de la capacidad de esfuerzo. Estas consideraciones, junto con la necesidad de documentar el lugar de isquemia, hacen que sea más útil practicar un test con técnica de imagen, aunque no hay suficientes datos para recomendar esta postura.

*Prueba de esfuerzo post-ACTP.* La reestenosis sigue siendo la principal limitación de la angioplastia hoy día. Desgraciadamente, la valoración de los síntomas del paciente son poco fiables para el diagnóstico de reestenosis: algunos pacientes tienen dolor no cardíaco postangioplastia (síntomas falsos positivos) y otros tienen isquemia silente (falso negativo)<sup>84</sup>.

Si el objetivo del test de esfuerzo es la identificación de reestenosis y no la probabilidad de que ésta ocurra, los pacientes deberían ser estudiados más tardíamente (entre los 3 y 6 meses) postangioplastia. El valor pre-

dictivo para reestenosis varía entre el 37 y el 100% según la serie analizada<sup>85,86</sup>. Pueden ocurrir falsos positivos debidos a una revascularización incompleta o a placas fisuradas no reconocidas angiográficamente, y falsos negativos por la incapacidad de una prueba de esfuerzo para identificar enfermedad de un vaso.

Otra postura alternativa es usar la prueba de esfuerzo en pacientes seleccionados considerados como de alto riesgo, ya que el beneficio en el pronóstico del control de esta posible isquemia todavía no ha sido demostrado. Pacientes de alto riesgo podrían ser aquellos con mala función ventricular, enfermedad de tres vasos, enfermedad proximal de la descendente anterior, muerte súbita recuperada previa, diabetes mellitus, ocupaciones con riesgo a terceros y resultado de angioplastia subóptimo. A pesar de esto, hay que recordar que el test de ejercicio es bastante insensible para detectar reestenosis (40%), en comparación con la ecocardiografía de estrés<sup>87</sup> o la ergometría isotópica<sup>88</sup>.

En resumen, la escasa sensibilidad del test de esfuerzo (comparado con las técnicas de imagen), así como su incapacidad para localizar la isquemia, limita su utilidad en el manejo de pacientes después de una revascularización. A pesar de los numerosos trabajos publicados en esta área, no existen datos suficientes para justificar un régimen particular en este contexto.

#### *Indicaciones de prueba de esfuerzo en pacientes revascularizados*

- Clase I: evaluación de los síntomas sugestivos de isquemia en pacientes revascularizados.
- Clase IIa: como parte de los datos para recomendar una actividad física o iniciar un programa de rehabilitación a pacientes revascularizados.
- Clase IIb: detección de reestenosis en pacientes seleccionados como de alto riesgo, en los primeros meses postangioplastia.
- Clase III: localización de isquemia para determinar el vaso responsable. De forma rutinaria, para una monitorización de pacientes asintomáticos postangioplastia o poscirugía de revascularización, sin una indicación específica.

#### **La prueba de esfuerzo en mujeres**

El diagnóstico de enfermedad coronaria en mujeres es más difícil que en varones debido a una menor prevalencia de cardiopatía isquémica (casi la mitad de mujeres de menos de 65 años con clínica de angina en el estudio CASS tenían coronarias normales)<sup>89</sup>. Desde un punto de vista del análisis de Bayes, la baja prevalencia de cardiopatía isquémica es una limitación importante para un test diagnóstico no invasivo. Además, los resultados del test (capacidad de esfuerzo, anormalidades del segmento ST, test de imagen) pueden estar influidos por el sexo.

#### *Exactitud del análisis del electrocardiograma en mujeres*

La depresión del segmento ST en el esfuerzo es menos sensible en mujeres que en varones, lo cual refleja la menor prevalencia de enfermedad coronaria severa en mujeres y la incapacidad de muchas mujeres de alcanzar la máxima capacidad aeróbica<sup>90</sup>. La reducida menor sensibilidad del test de esfuerzo en mujeres (menos del 10%) no parece justificar su desestimación en este sentido<sup>91</sup>. Por otro lado, la PE es considerada, en general, como menos específica en mujeres que en varones, aunque esta consideración no es uniforme.

El enfoque estándar del test de esfuerzo con respeto a la respuesta del segmento ST nos hace considerar las categorías de resultado positivo o negativo. La exactitud del test de esfuerzo en mujeres puede mejorarse si se tienen en cuenta, además, otras consideraciones, como la relación entre el segmento ST y la frecuencia cardíaca<sup>92</sup>. La exclusión del análisis de las derivaciones de la cara inferior y la identificación de tests falsos positivos basados en alteraciones de la repolarización persistentes pueden incrementar el valor predictivo positivo, pero pueden comprometer el valor predictivo negativo del test<sup>93</sup>. La prueba de esfuerzo aporta, además, información sobre la capacidad de esfuerzo, la respuesta hemodinámica al esfuerzo y la presencia de síntomas cardíacos, que también deben ser analizados en los resultados, aparte del segmento ST. A pesar de todas las limitaciones que tiene la prueba de esfuerzo en mujeres, recientemente se ha validado en una serie amplia su utilidad<sup>94</sup>.

La conclusión es que el diagnóstico de cardiopatía isquémica en mujeres presenta dificultades con respecto a los varones, especialmente en mujeres premenopáusicas. La exactitud del test de esfuerzo en mujeres tiene importantes limitaciones. Los médicos deben reconocer la influencia sobre la sensibilidad del esfuerzo submáximo, y estos pacientes deberían ser sometidos a un test farmacológico. Con respecto a la posibilidad de falsos positivos, hay que plantearse, ante un determinado caso, la práctica de una prueba de imagen antes de decidir realizar a una coronariografía. Basándose en estas consideraciones, algunos autores han postulado una técnica de imagen como evaluación inicial ante una mujer con dolor torácico de posible origen cardíaco<sup>29</sup>, aunque no hay datos suficientes para justificar esta estrategia como rutinaria. Hay que hacer constar que una PE negativa en mujeres tiene un excelente valor predictivo negativo.

#### *Indicaciones de prueba de esfuerzo en mujeres (diagnóstica, pronóstica, posinfarto y en revascularización)*

Las mismas que en varones.



## LAS PRUEBAS DE ESTRÉS CON IMAGEN EN LA CARDIOPATÍA ISQUÉMICA

Aunque la prueba de esfuerzo electrocardiográfica es el test más utilizado para el diagnóstico de la cardiopatía isquémica, presenta significativas limitaciones, como acabamos de comentar en el apartado anterior, por lo que se ha hecho necesario utilizar otros tests con mayor rendimiento diagnóstico<sup>95</sup>. Estas pruebas se basan en asociar una determinada técnica de imagen (ultrasónica o isotópica) a una situación de sobrecarga (ejercicio, fármacos), obteniéndose una significativa mejoría no sólo en el diagnóstico, sino también en la evaluación del pronóstico de la enfermedad coronaria. A continuación vamos a revisar algunos de los aspectos más sobresalientes de estas técnicas de imagen.

### Ecocardiografía de estrés

La ecocardiografía de estrés supone la utilización de los ultrasonidos como técnica de imagen que se asocia a una situación de sobrecarga (ejercicio físico o fármacos), permitiendo objetivar las consecuencias de la isquemia miocárdica, habitualmente comprobando una anomalía regional de la función sistólica, pero también una disfunción global sistólica o regional y/o global diastólica.

La metodología de la prueba, los requerimientos técnicos y humanos, los protocolos utilizables y los criterios de interpretación de los hallazgos superan el ámbito de este trabajo, y son tratados con profundidad en otras publicaciones<sup>96-99</sup>. Baste aquí recordar que, como acabamos de señalar, tenemos dos opciones de estrés: el esfuerzo físico similar al de la PE convencional y el estrés farmacológico con dobutamina, dipiridamol, adenosina o ATP como los fármacos más habituales.

### Eficacia diagnóstica

La eficacia diagnóstica de las diferentes técnicas de ecocardiografía de estrés ha sido establecida en numerosos estudios. Es superior a la prueba de esfuerzo con electrocardiograma y similar a las de perfusión con isótopos. Es independiente de la edad y del sexo. Las más utilizadas son las de esfuerzo y las farmacológicas con dobutamina y dipiridamol. En los pacientes que no pueden realizar ejercicio, se recomiendan las farmacológicas, constituyendo una posible alternativa la estimulación auricular. Para la detección de enfermedad coronaria, la sensibilidad oscila entre el 72 y 97% y la especificidad entre 64 y 100%<sup>100-103</sup>. Estas variaciones dependen de la población estudiada (número de vasos afectados, tipo de lesión, localización y severidad de las lesiones, arteria coronaria afectada, protocolo, criterios de valoración, etc.).

Entre las técnicas ecocardiográficas de estrés, la de esfuerzo es, posiblemente, la más sensible, aunque sin presentar diferencias muy significativas con respecto a las farmacológicas. Requiere una mayor dotación material y su realización e interpretación entraña una mayor dificultad.

### Criterios de severidad

La positividad de la ecocardiografía de estrés viene determinada por la aparición de alteraciones de la contractilidad o el empeoramiento de alteraciones que existían en el examen basal. En la mayoría de los casos, la respuesta positiva significa que el paciente tiene enfermedad coronaria, lo cual es un dato importante para la valoración de la actitud terapéutica. Sin embargo, existen muy diversos grados de la enfermedad coronaria. El análisis cuidadoso de la respuesta positiva puede ayudar a determinar la severidad de la enfermedad. Existen varios parámetros que deben ser considerados al establecer la severidad de una respuesta positiva.

El primer parámetro estudiado fue el tiempo libre de isquemia, es decir, el tiempo que transcurre entre el comienzo de la infusión del fármaco o del ejercicio y la aparición de alteraciones regionales de la contractilidad. El tiempo libre de isquemia está en relación con la severidad anatómica<sup>104</sup> y funcional<sup>105</sup> de la isquemia, y también con el pronóstico<sup>105</sup>. En pacientes con enfermedad de un vaso, el tiempo libre de isquemia está en relación con la severidad del vaso<sup>104</sup>.

La severidad en las alteraciones de la contractilidad producidas durante el estrés puede tener importancia a la hora de valorar la severidad de la respuesta isquémica. La aparición de hipocinesia se corresponde con una isquemia más leve que la presencia de acinesia o discinesia.

La extensión de las alteraciones de la contractilidad es esencial para graduar la respuesta positiva. El índice de puntuación de la contractilidad (*wall motion score index*) se correlaciona de forma directa con la extensión y la severidad de la enfermedad coronaria<sup>102</sup>. Además, la aparición de alteraciones de la contractilidad en zonas irrigadas por arterias diferentes (isquemia heterozonal) determina la presencia de enfermedad multivaso. Por último, la aparición de alteraciones de la contractilidad en regiones del ventrículo derecho se asocia con enfermedad más proximal de la arteria coronaria derecha<sup>106</sup>.

Además, se han descrito como índices de isquemia severa la aparición de la misma con dosis bajas de dobutamina (< 10 µg/kg/min) y/o con frecuencia cardíaca inferior a 120 lat/min<sup>106</sup>.

Debe tenerse en cuenta que el tratamiento antiangiñoso, fundamentalmente los betabloqueadores<sup>107</sup>, puede hacer variar todos los parámetros descritos, por lo que la estratificación de la respuesta positiva puede ser

difícil o incluso imposible.

### *La ecocardiografía de estrés en el diagnóstico de la cardiopatía isquémica*

La PE con electrocardiograma sigue siendo el método de elección en muchas situaciones. Sin embargo, la ecocardiografía de estrés constituye la indicación primordial en otras circunstancias clínicas.

En este punto parece importante referirse a una situación especial, como es el valor diagnóstico en el sexo femenino. Como es sabido, una cuidadosa historia clínica no suele ser suficiente para establecer de forma precisa la existencia de enfermedad coronaria en las mujeres. Además, la importancia de los factores de riesgo es diferente en ambos sexos, e incluso hay factores de riesgo que únicamente intervienen en la mujer. Otros problemas específicos del diagnóstico de enfermedad coronaria en la mujer se refieren a las limitaciones de las pruebas no invasivas que, en el caso de la ergometría y las pruebas isotópicas, se concretan en una baja especificidad. Por último, la menor prevalencia de enfermedad coronaria en la mujer premenopáusica hace que el valor predictivo de los resultados positivos sea menor. En los últimos años ha crecido el interés por la utilización de la ecocardiografía de estrés en la mujer. Tanto la ecocardiografía de esfuerzo<sup>108</sup> como la ecocardiografía de estrés farmacológico con dipiridamol<sup>109</sup> y con dobutamina<sup>110</sup> han demostrado su utilidad en la mujer. Su especificidad es superior que la de la ergometría y las pruebas de perfusión miocárdica, sin que la sensibilidad se resienta<sup>111</sup>. Aunque el número de mujeres incluidas en los estudios no es muy numeroso, muchos autores consideran que la prueba de elección en la mujer premenopáusica para descartar la enfermedad coronaria debe ser la ecocardiografía de estrés<sup>108,111</sup>.

#### *Indicaciones.*

– Clase I: poblaciones en las que la ergometría tiene una utilidad limitada: pacientes con sospecha de enfermedad coronaria y/o ECG basal patológico y prueba de esfuerzo convencional no concluyente. Cuando se desee precisar la localización y extensión de la isquemia miocárdica. Cuando existe discordancia entre la clínica y la PE-ECG (asintomáticos con PE positiva y dolor sugestivo con PE negativa). Pacientes que no pueden realizar ejercicio físico (dobutamina y dipiridamol).

– Clase IIa: valoración del significado funcional de una lesión coronaria. Pacientes del sexo femenino con probabilidad intermedia.

– Clase IIb: diagnóstico de isquemia miocárdica en pacientes seleccionados con una probabilidad alta o intermedia de enfermedad coronaria.

– Clase III: valoración rutinaria de todos los pacien-

tes que tienen un ECG basal normal. Valoración de personas asintomáticas con baja probabilidad de enfermedad coronaria.

### *Evaluación pronóstica tras un infarto agudo de miocardio*

La necesidad de identificar a los pacientes que tienen una alta probabilidad de padecer acontecimientos de origen cardíaco después de un infarto agudo de miocardio para ofrecer diferentes alternativas terapéuticas no está satisfactoriamente resuelta con la ergometría. En este contexto, la ecocardiografía de estrés realizada entre 2 y 10 días después del infarto ha demostrado ser segura y puede ser de gran ayuda<sup>112</sup>. Hay dos aspectos que pueden ser investigados con un ecocardiograma de estrés: la existencia de isquemia a distancia, que representa enfermedad multivaso, o de isquemia en la zona del infarto y la presencia de viabilidad. La identificación de isquemia identifica a pacientes con alta probabilidad de padecer acontecimientos<sup>113-118</sup> por lo que una actitud en la que se incluya coronariografía y revascularización estaría justificada. La demostración de viabilidad la comentaremos a continuación.

Cuando el paciente no puede realizar una prueba de esfuerzo o tiene alteraciones del electrocardiograma basal que impiden una adecuada interpretación del mismo, la ecocardiografía de estrés es una alternativa válida, y se recomienda llevarla a cabo antes del alta y se puede realizar en el mismo rango de días que para la prueba de esfuerzo convencional.

Debido a que la ecocardiografía de estrés tiene un rendimiento superior para la identificación de isquemia que la ergometría convencional es aconsejable, siempre que sea posible, realizar una ecocardiografía de esfuerzo, pues así se conjuga la valoración funcional con la valoración del electrocardiograma y de la contractilidad durante el esfuerzo. La ecocardiografía con dobutamina es un método muy aconsejable para la valoración pronóstica de un paciente que ha sufrido un infarto agudo de miocardio, ya que permite valorar la viabilidad y la isquemia miocárdica. Los territorios con alteraciones basales de la contractilidad que son viables presentan una mejoría de la contractilidad, que generalmente se produce con dosis bajas de dobutamina, aunque a veces se necesitan dosis mayores. El empeoramiento de la contractilidad significa isquemia. Por último, puede producirse una mejoría con posterior empeoramiento, respuesta que se conoce como respuesta bifásica<sup>112,118,119</sup> y que denota la presencia de viabilidad con isquemia.

#### *Indicaciones*

– Clase I: pacientes que tienen ECG basal o tras el esfuerzo que impide una adecuada interpretación. Pa-

cientes que no pueden realizar prueba de esfuerzo convencional (ecocardiografía con dobutamina).

- Clase IIa: pacientes que pueden realizar PE convencional
- Clase IIb: todos los pacientes con infarto agudo de miocardio que precisen estratificación pronóstica.
- Clase III: pacientes con esperanza de vida limitada por cualquier causa.

### *Valoración pronóstica en la cardiopatía isquémica estable*

En este contexto es esencial valorar no sólo la positividad de la prueba, sino también la severidad de la isquemia desencadenada, teniendo en cuenta los criterios de severidad ecocardiográficos que acabamos de comentar y especialmente dos aspectos: el tiempo necesario para desencadenar la isquemia y la extensión de la misma. El desencadenamiento precoz y en zonas extensas de miocardio de alteraciones de la contractilidad durante el estrés identifica a los pacientes con alto riesgo de padecer acontecimientos isquémicos.

### *Indicaciones*

- Clase I: pacientes con cardiopatía isquémica crónica que tienen alteraciones electrocardiográficas basales. Pacientes con cardiopatía isquémica crónica que no puede realizar esfuerzo (ecocardiografía con dobutamina o dipiridamol).
- Clase IIa: pacientes con cardiopatía isquémica crónica y con coronariografía previa en quienes interesa conocer la repercusión funcional de sus lesiones.
- Clase IIb: pacientes con cardiopatía isquémica crónica.
- Clase III: valoración rutinaria de todos los pacientes con cardiopatía isquémica crónica.

### *Papel de la ecocardiografía de estrés antes y después de la revascularización*

La ecocardiografía de estrés desempeña un doble papel antes de la revascularización. Por una parte, establece la severidad funcional de una lesión que angiográficamente puede ser límite; por otro lado, ayuda en la identificación de la lesión causante de la clínica de un paciente con enfermedad multivasa al determinar la región en la que las alteraciones de la contractilidad aparecen antes en el tiempo. Esto puede ser importante al planear la estrategia de revascularización.

Después de la revascularización, la ecocardiografía de estrés ha demostrado su utilidad en la identificación de la reestenosis<sup>87,120-122</sup>. Está aceptado que la detección de reestenosis durante los tres primeros meses mediante la realización de una técnica que provoque isquemia miocárdica (ya sea ECG, eco o isótopos) tiene un bajo rendimiento, por lo que se aconseja su utili-

zación pasado este período de tiempo<sup>123,124</sup>. Si el paciente no puede realizar ejercicio o si existen alteraciones del ECG que impiden su interpretación, la ecocardiografía de estrés es obligada.

Después de la cirugía coronaria, la valoración del ECG puede ser dificultosa. Si los síntomas persisten o reaparecen, la ecocardiografía de estrés es una buena alternativa a la ergometría convencional<sup>125-128</sup>. La búsqueda de viabilidad en zonas con alteraciones severas de la contractilidad es esencial para planear una adecuada revascularización, de forma que siempre debe incluirse revascularización de las regiones en las que se demuestre viabilidad.

### *Indicaciones*

- Clase I: valoración de la repercusión funcional de una lesión cuya severidad angiográfica es dudosa. Identificación de la lesión responsable.
- Clase IIa: detección de reestenosis en pacientes seleccionados como de alto riesgo, en los primeros meses postangioplastia. Pacientes con sospecha de angina, ECG basal patológico y prueba de esfuerzo convencional no concluyente.
- Clase IIb: sospecha clínica de estenosis-oclusión de los puentes aortocoronarios.
- Clase III: valoración rutinaria de los pacientes revascularizados

### **Los estudios isotópicos en la valoración diagnóstica y pronóstica de la cardiopatía isquémica**

La descripción detallada de los requisitos, metodología, técnicas, protocolos, criterios diagnósticos e indicaciones de las pruebas isotópicas para el diagnóstico de enfermedad coronaria y para la valoración pronóstica de la cardiopatía isquémica se tratan en publicaciones recientes<sup>129</sup>.

En general, la práctica de una exploración con radionúclidos se acompaña invariablemente de la realización de una prueba de esfuerzo o de la administración de fármacos como maniobras de provocación con la finalidad de poner de manifiesto las regiones miocárdicas isquémicas. A este respecto, conviene señalar que cuando la práctica de ejercicio físico no es posible en los estudios gammagráficos de perfusión se prefiere, en general, la administración de fármacos vasodilatadores como el dipiridamol, la adenosina o el ATP, mientras que para las exploraciones encaminadas a valorar la contractilidad ventricular (ecocardiografía, ventriculografía isotópica) es más común la utilización de fármacos inotrópicos como la dobutamina y la arbutamina.

Las indicaciones de la cardiología nuclear para la valoración diagnóstica y pronóstica de la cardiopatía isquémica son muy parecidas, prácticamente superpo-

nibles a las de la ecocardiografía de estrés. Su eficacia diagnóstica también es similar, aunque hay que tener en cuenta la experiencia de cada grupo con una y otra exploración<sup>SSD2,101,103,130</sup>.

A favor de los estudios ecocardiográficos estaría una especificidad más alta, una menor agresividad y una mayor disponibilidad en el mismo servicio de cardiología, lo cual se traduciría en una reducción del coste<sup>99</sup>. Las ventajas de los estudios radioisotópicos se centran en una sensibilidad más alta y en una menor subjetividad en su interpretación, lo que redundaría en una mayor reproducibilidad<sup>131</sup>.

En resumen, se hace prácticamente imposible señalar a una u otra técnica como más aconsejable para una determinada situación, puesto que lo que va a determinar su utilización será, sobre todo, la disponibilidad de los equipos ecocardiográficos y de las gammacámaras en cada centro, de la experiencia de los diferentes especialistas en cada una de las exploraciones y, en el caso de la cardiología nuclear, del buen entendimiento entre los médicos nucleares y los cardiólogos.

### Diagnóstico de viabilidad miocárdica

Podemos definir como «miocardio viable» a aquel no necrótico, con capacidad contráctil disminuida como consecuencia de un proceso isquémico, pero que es potencialmente recuperable. Se aceptan tres situaciones de origen isquémico vinculadas a la pérdida potencialmente reversible de la capacidad contráctil: la disfunción isquémica aguda, el aturdimiento miocárdico y la hibernación<sup>132</sup>. El fenómeno de aturdimiento miocárdico consiste en una disfunción ventricular postisquémica, por tanto, con flujo coronario normal, en el que la recuperación contráctil normalmente acontece de forma espontánea en un período variable de tiempo (hasta varias semanas después del episodio isquémico)<sup>133,134</sup>. La hibernación, por el contrario, sería la disfunción miocárdica persistente, parcial o completamente reversible, que ocurre como consecuencia de una limitación crónica del flujo coronario<sup>135</sup>. La recuperación de la contractilidad precisa de la revascularización de los segmentos disfuncionantes y puede retrasarse hasta varios meses tras el procedimiento<sup>136</sup>.

Cada vez son mejor conocidas las implicaciones clínicas y pronósticas de la existencia de tejido miocárdico viable<sup>137,138</sup>, por lo que resulta de gran importancia conocer si un segmento con disfunción contráctil es viable, es decir, con capacidad de recuperación funcional espontánea o tras la revascularización.

### Indicaciones de estudio de viabilidad

– Clase I: valoración de la posibilidad de revascularización quirúrgica frente al trasplante cardíaco en pacientes con severa disfunción sistólica. Indicación de revascularización en pacientes con disfunción severa y

arterias coronarias adecuadas para la revascularización.

– Clase II: valoración pronóstica de pacientes con mala función ventricular (FE < 35%) postinfarto agudo de miocardio.

– Clase III: valoración rutinaria de pacientes con infarto de miocardio previo. Para el diagnóstico de miocardio viable en la práctica clínica se recurre a la búsqueda de tres aspectos diferentes: una reserva contráctil del tejido disfuncionante, un estado metabólico conservado y una reserva de flujo coronario con integridad de la membrana citoplasmática. La reserva contráctil podemos evaluarla mediante ecocardiografía y la ventriculografía isotópica de estrés farmacológico. El estado metabólico mediante marcadores, como el FDG<sup>100</sup> detectado mediante PET. Por último, la reserva del flujo coronario y la integridad de la membrana citoplasmática mediante la gammagrafía de perfusión con trazadores como el talio 201 o compuestos tecnecios (metoxi-isobutil isonitrilo y tetrofosmina)<sup>139</sup>.

### Ecocardiografía de estrés farmacológico

La ecocardiografía con dobutamina es la técnica más ampliamente utilizada en el laboratorio de ecocardiografía para el estudio de la viabilidad miocárdica<sup>97</sup>. Su fundamento se basa en que esta amina puede estimular la contracción de células miocárdicas que basalmente se encuentran hipocontráctiles o asinérgicas.

El análisis de la respuesta puede realizarse de forma cualitativa o semicuantitativa. La respuesta bifásica (mejora a dosis bajas y empeoramiento a altas dosis o tras atropina) es la que mejor predice la recuperación tras la revascularización, ya que más de un 70% de los segmentos revascularizados recuperan la contractilidad<sup>140</sup>. El empeoramiento (hipocinesia que empeora a acinesia o discinesia) se relaciona con isquemia del territorio afectado y se asocia a una mejoría posrevascularización en un 35% de los casos. En cambio, la mejoría progresiva es la respuesta del miocardio aturrido postinfarto agudo de miocardio sin isquemia residual, que generalmente se recupera de forma espontánea<sup>119</sup>. La mejoría a altas dosis se ha relacionado con la presencia de viabilidad «subepicárdica» y, aunque no predice una mejoría de la contractilidad en reposo tras la revascularización, sí se ha observado mejoría durante el ejercicio.

Además de la respuesta cualitativa, para la toma de decisiones clínicas no sólo nos interesa conocer la existencia de viabilidad, sino también su cuantificación. El análisis se realiza de forma semicuantitativa dividiendo al ventrículo izquierdo en 16 segmentos, de acuerdo con la Sociedad Americana de Ecocardiografía, y puntuando cada segmento de 1 a 4 de acuerdo con la motilidad y el engrosamiento sistólico: 1 para la contractilidad normal, 2 hipocinesia, 3 acinesia y 4 discinesia. A partir de estos datos se obtiene el índice



de motilidad regional (IMR)<sup>98</sup>, que resulta de sumar las puntuaciones, dividiendo el resultado entre el número de segmentos visualizados. Se estima que debe haber viabilidad en al menos cuatro segmentos miocárdicos y/o que el IMR mejore más de 0,25 para que se observe una mejoría en la fracción de eyección posrevascularización. Por tanto, aunque no haya todavía una evidencia suficiente, ésta sería la masa crítica viable a tener en cuenta a la hora de tomar una decisión clínica.

### *Estudios isotópicos*

Como ya hemos comentado, en la práctica clínica la cardiología nuclear ofrece dos opciones fundamentales para el estudio de la viabilidad: la tomografía computarizada de emisión de fotones (SPECT) con talio -201 o con compuestos tecnecios. La descripción de una y otra técnica y el análisis detallado de sus diferencias superan los objetivos de este trabajo, si bien conviene recordar que su sensibilidad y especificidad en la predicción de la recuperación funcional posrevascularización son similares<sup>141</sup> y se basa en el análisis de la captación del radionúclido por zonas con disfunción contráctil severa (hipocinesia severa, acinesia y discinesia). Las técnicas básicas de uno y otro son, para el talio: estudio de esfuerzo/redistribución/reinyección o bien reposo/redistribución, y con los compuestos tecnecios se utiliza sólo el reposo o bien esfuerzo/reposo.

### *Tomografía por emisión de positrones*

Es la única técnica no invasiva que permite valorar el metabolismo miocárdico y cuantificar el flujo sanguíneo regional. La experiencia en España con la tomografía por emisión de positrones es todavía muy escasa. El elevado coste de las instalaciones hace que sus indicaciones sean muy restringidas, sobre todo en el campo del estudio de la perfusión miocárdica.

Para la valoración de la viabilidad miocárdica se emplean marcadores del metabolismo de los glúcidos (<sup>18</sup>F-fluorodesoxiglucosa) y de los ácidos grasos (ácidos grasos marcados con <sup>11</sup>C) cuya incorporación a las células miocárdicas vivas tiene lugar incluso con reducciones muy severas del flujo coronario<sup>142,143</sup>. El patrón de viabilidad con PET consiste en demostrar la presencia de metabolismo preservado en regiones con severa reducción de la perfusión (patrón de discordancia o *mismatch*). Es importante evaluar no sólo la presencia o no de miocardio viable, sino su extensión en los territorios miocárdicos susceptibles de revascularización.

En resumen, en relación con el estudio de la viabilidad podemos establecer las recomendaciones siguientes:

- Tanto la eco con dobutamina<sup>144</sup> como la tomogam-

agrafía con talio -201 o con compuestos tecnecios son adecuados para el estudio de la viabilidad miocárdica.

- Es deseable cuantificar la extensión del territorio viable siempre que sea posible.

## **LA PRUEBA DE ESFUERZO EN OTROS PROCESOS PATOLÓGICOS**

La aplicación diagnóstica de la PE, entendida en sentido amplio, no se limita a la cardiopatía isquémica, aunque sea ésta la principal. Hay otras afecciones en las que también aporta información diagnóstica útil, si bien su aplicabilidad y criterios de valoración están menos sistematizados que en el caso anterior.

Pretendemos analizar en este apartado los criterios de aplicación y valoración de la prueba de esfuerzo en la hipertensión, las arritmias, las miocardiopatías y las valvulopatías. Se entiende que trataremos de los pacientes con las citadas afecciones sin cardiopatía isquémica o, al menos, sin que ésta sea el objeto del diagnóstico.

### **La prueba de esfuerzo en la hipertensión arterial**

En el contexto de la hipertensión arterial, la PE es un método diagnóstico que se utiliza poco, generalmente restringida a los pacientes con sospecha de enfermedad coronaria. Su aplicabilidad, en cambio, podría extenderse a otras situaciones.

#### *Diagnóstico de la hipertensión*

La prueba de esfuerzo puede ser útil para el diagnóstico de la propia hipertensión. Como es sabido, la presión arterial no es un valor estático, sino que varía a lo largo del día, en distintas épocas del año y en relación con circunstancias exógenas concretas.

*Individuos basalmente normotensos.* No existe ninguna sistematización de la respuesta de la presión arterial al esfuerzo. De hecho, en el reciente informe del VI Joint National Committee estadounidense<sup>145</sup> no se cita en ningún momento la prueba de esfuerzo. Por tanto, la discusión que sigue se basa en publicaciones que han utilizado definiciones diversas. En el único trabajo español relevante publicado se cita como límite para considerar como respuesta hipertensiva la elevación de las cifras al máximo esfuerzo por encima de 220/105 mmHg<sup>146</sup>.

Se ha demostrado que la elevación patológica de la presión arterial sistólica durante el esfuerzo (aunque con el sesgo citado de la falta de sistematización) es un factor pronóstico para el desarrollo de hipertensión arterial establecida. En cuanto a la hipertensión arterial «límitrofe», la aparición de una respuesta hipertensiva

al esfuerzo hace prever que estos individuos van a ser hipertensos establecidos en pocos años y que van a desarrollar mayor hipertrofia ventricular que los hipertensos «en el límite» con respuesta normal de la presión arterial<sup>147</sup>, de forma que su diagnóstico permitiría realizar una vigilancia y un control más estrechos.

De este modo, aunque debe insistirse en la carencia de sistematización en directrices internacionales, el análisis de la respuesta tensional al esfuerzo podría ser útil en individuos normotensos con alto riesgo de desarrollar hipertensión arterial. En esta categoría se incluirían los pacientes con historia familiar de hipertensión arterial, los que presentan hipertensión lábil y los que padecen el denominado síndrome cardiovascular dismetabólico.

### *Diagnóstico de las complicaciones de la hipertensión*

*Estudio de la isquemia miocárdica.* En este contexto, la prueba de esfuerzo tiene las mismas indicaciones y metódica que en los pacientes normotensos. Es preciso recordar, no obstante, que el descenso del segmento ST, la respuesta anormal de la fracción de eyección o los defectos de perfusión observados en los estudios isotópicos no siempre indican afectación de las arterias coronarias epicárdicas, sino que pueden deberse a disfunción microvascular<sup>148</sup>. Por este motivo, las pruebas de esfuerzo son frecuentemente anormales en ausencia de enfermedad de las arterias coronarias epicárdicas. Por otra parte, la presencia de una respuesta hipertensiva en pacientes con sospecha de enfermedad coronaria es un indicador de enfermedad coronaria de menor gravedad y con menor riesgo de mortalidad<sup>149</sup>.

*Estudio de la capacidad funcional en pacientes con cardiopatía hipertensiva.* En la cardiopatía hipertensiva hay menor tolerancia al ejercicio, que se debe a múltiples factores como son las alteraciones hemodinámicas centrales y periféricas, la presencia de disfunción diastólica o la disfunción sistólica ventricular izquierda.

Como se verá más adelante, la prueba de esfuerzo con análisis del intercambio de gases puede emplearse en pacientes con insuficiencia cardíaca o disfunción ventricular para evaluar la capacidad funcional, la respuesta al tratamiento y el pronóstico.

*Estudio de la aparición de arritmias.* En los pacientes hipertensos son frecuentes las arritmias ventriculares, sobre todo si existe hipertrofia ventricular izquierda. La interacción de la isquemia miocárdica silente con las arritmias ventriculares malignas contribuye al riesgo de muerte súbita de estos pacientes. Otros factores que explican la mayor frecuencia de arritmias son el uso de diuréticos, que pueden producir hipopo-

tasemia e hipomagnesemia, y el estiramiento excesivo de las fibras miocárdicas debido al mayor estrés de la pared.

No hay estudios sistemáticos sobre el valor de la prueba de esfuerzo en este campo, y nos remitimos a un apartado posterior dedicado a las arritmias en general.

### *Evaluación terapéutica*

*El ejercicio como tratamiento antihipertensivo.* La prueba de esfuerzo es útil para mejorar la prescripción de ejercicio en estos pacientes, ya que el máximo beneficio se consigue entrenando cerca del umbral anaeróbico. La PE proporciona también al individuo un nivel basal a partir del cual modificar en el futuro el programa de ejercicio, según la capacidad física que presenta. Al seleccionar el nivel de entrenamiento óptimo, se consigue mejor la adaptación de las funciones metabólicas y hemodinámicas, mejorando el consumo máximo de oxígeno sin malestar somático excesivo, riesgos de lesión del músculo esquelético o fatiga crónica.

*Valoración de la eficacia del tratamiento antihipertensivo.* No existe ninguna regulación sobre esta cuestión partiendo de la prueba de esfuerzo como la hay con otros métodos (p. ej., monitorización ambulatoria). No obstante, existen trabajos en los que se ha utilizado la respuesta al esfuerzo como método para valorar la eficacia de los fármacos antihipertensivos<sup>150,151</sup>.

### *Aspectos prácticos*

*Contraindicaciones.* Las contraindicaciones absolutas y relativas de la prueba de esfuerzo en esta enfermedad son las mismas que en otros procesos patológicos. Respecto a la presión arterial, y aunque no hay evidencias definitivas, la existencia de una presión arterial basal superior a 240/130 mmHg se considera una contraindicación absoluta, mientras que cifras superiores a 200/110 mmHg pero menores que las anteriores se consideran contraindicación relativa, que obliga a extremar las precauciones<sup>8</sup>.

*Precauciones.* Huelga destacar la necesidad de realizar un estricto control de la presión arterial con determinaciones incluso más frecuentes que en otras indicaciones, sobre todo cuando el paciente se aproxima al esfuerzo máximo.

Específicamente, se debe que detener la prueba cuando se alcancen presiones arteriales superiores a 250 mmHg de sistólica o 130 mmHg de diastólica, con los matices correspondientes a la edad o la copatología de cada paciente<sup>146</sup>. Tampoco en este campo existen evidencias definitivas, e incluso las directrices estadounidenses<sup>8</sup> recomiendan la detención con 115

mmHg de presión diastólica.

*Metódica.* No existen guías universalmente aceptadas dirigidas al estudio del paciente hipertenso. Es conveniente utilizar protocolos que permitan aumentar la carga de manera lenta, de forma que el sujeto alcance su ejercicio máximo en unos 10 min. Este tipo de protocolos proporcionan excelentes correlaciones entre el consumo máximo de oxígeno estimado y el calculado<sup>152</sup>. Es importante, además, que los pacientes estén familiarizados con el protocolo y motivados para realizar el máximo esfuerzo.

Respecto al procedimiento de medición de la presión arterial, puede hacerse con el método indirecto, con esfigmomanómetro o automático, o a través de la medición directa mediante cateterismo de la arteria radial. En cuanto a la medición con esfigmomanómetro, en situación basal la presión arterial sistólica se infraestima, como promedio, en 4,5 mmHg, y la diastólica se sobrestima en 5,1 mmHg durante el esfuerzo, la presión arterial sistólica se infraestima unos 15-18 mmHg y la diastólica varía entre -2 y +4 mmHg respecto a la intraarterial<sup>153</sup>. Además, la diastólica es muy difícil de medir durante el esfuerzo y hasta en el 12% de pacientes es imposible. Los métodos automáticos parecen ser inexactos y poco fiables para la medición de la presión arterial durante el esfuerzo.

### *Normas estandarizadas*

No existen directrices aceptadas sobre las indicaciones de la prueba de esfuerzo en el diagnóstico de la hipertensión arterial. Por ello, las que se citan a continuación deben tomarse como una propuesta provisional –no avalada por estudios contrastados– derivada del acuerdo entre expertos nacionales.

### *Indicaciones de la prueba de esfuerzo en la hipertensión arterial*

- Tipo I: Diagnóstico de isquemia miocárdica.
- Tipo IIa: Prescripción de entrenamiento físico terapéutico.
- Tipo IIb: Diagnóstico de la hipertensión arterial (HTA) en situaciones «prehipertensivas» (historia familiar, elevación ocasional, síndrome cardiovascular dismetabólico). Diagnóstico de la HTA en casos «límitrofes». Valoración de la severidad de la HTA. Valoración de la capacidad funcional. Valoración de la eficacia del tratamiento.

### **La prueba de esfuerzo en las arritmias**

Es bien conocido que el ejercicio puede inducir una gran variedad de trastornos del ritmo, tanto de manera incidental en sujetos normales como en los que tienen una enfermedad cardíaca conocida<sup>154</sup>. Por este motivo,

la prueba de esfuerzo debe tomarse en consideración como exploración complementaria en algunas situaciones específicas en pacientes con sospecha o ya diagnosticados de arritmias.

De manera general, tanto la indicación de la prueba de esfuerzo como el valor de los hallazgos de arritmias incidentales serán más consistentes en los pacientes en los que los síntomas estén claramente relacionados con el ejercicio físico o desencadenados por éste<sup>27</sup>.

### *Arritmias supraventriculares*

Aunque tanto los extrasístoles supraventriculares como los extrasístoles ventriculares inducidos por el ejercicio pueden provocar el inicio de taquiarritmias supraventriculares, se considera que la prueba de esfuerzo es un método diagnóstico de valor muy limitado en pacientes con crisis de palpaciones paroxísticas o sospecha de taquicardia paroxística supraventricular. Únicamente estaría justificada la realización de esta prueba en el infrecuente caso de que los síntomas se desencadenen con preferencia durante el ejercicio físico, si existe sospecha por otros datos de que su patogenia sea isquémica o en las arritmias de esfuerzo tratadas con fármacos u otras técnicas<sup>27</sup>.

En los pacientes con síndrome de Wolff-Parkinson-White, la brusca desaparición de la preexcitación, junto con la prolongación del intervalo PR, durante el ejercicio se han venido considerando tradicionalmente como signo de buen pronóstico, al implicar un período refractario anterógrado de la vía accesoria largo –generalmente superior a 300 ms– y, por tanto, una baja probabilidad de muerte súbita por conducción rápida de taquiarritmias supraventriculares a través de la vía accesoria. Sin embargo, aunque se considera que la prueba de esfuerzo es el mejor método no invasivo para la evaluación del riesgo de muerte súbita en pacientes con síndrome de Wolff-Parkinson-White, se han descrito casos con bloqueo anterógrado de la vía accesoria durante el ejercicio y respuesta ventricular rápida durante la fibrilación auricular. Por este motivo, no debe considerarse la prueba de esfuerzo como el único método de evaluación del riesgo de muerte súbita en pacientes con síndrome de Wolff-Parkinson-White<sup>155</sup>.

### *Arritmias ventriculares*

El ejercicio físico puede desencadenar arritmias ventriculares, tanto en pacientes con corazón aparentemente sano como en los que padecen enfermedad estructural cardíaca. Las arritmias ventriculares inducidas por el ejercicio pueden clasificarse en dos grupos: las relacionadas con la isquemia miocárdica, que son las más infrecuentes, y las no relacionadas con la misma. En cuanto a las primeras, las arritmias ventriculares complejas (taquicardia ventricular sostenida, taqui-

cardias ventriculares polimorfas o incluso fibrilación ventricular) pueden aparecer en pacientes con enfermedad coronaria aterosclerótica severa o espasmo arterial coronario o, con menos frecuencia, en pacientes con miocardiopatía hipertrófica obstructiva u origen anómalo de las arterias coronarias. Con frecuencia, la arritmia va precedida de angina de pecho y/o de alteraciones isquémicas del segmento ST. Habitualmente, la aparición de estas arritmias ventriculares complejas comporta un pronóstico ominoso sin tratamiento. Tras el tratamiento (revascularización coronaria, etc.), la prueba de esfuerzo no debería ser indicada como único método de evaluación de la eficacia del mismo, a la vista de la baja reproducibilidad de las arritmias ventriculares inducidas por el ejercicio, debiéndose valorar la realización de otras exploraciones como el estudio electrofisiológico<sup>156</sup>.

En cuanto a las arritmias ventriculares de etiología no isquémica, la prueba de esfuerzo es un método útil en el diagnóstico clínico de algunas formas de taquicardias, que se desencadenan con frecuencia durante estados hiperadrenérgicos, como algunas formas de taquicardia ventricular idiopática (especialmente las taquicardias ventriculares con origen en el tracto de salida del ventrículo derecho o las taquicardias ventriculares fasciculares) o las taquicardias ventriculares polimorfas del síndrome del QT largo. Tras el diagnóstico clínico, la posterior caracterización de la arritmia debe realizarse mediante estudio electrofisiológico<sup>157</sup>.

Finalmente, las taquiarritmias ventriculares inducidas por el ejercicio pueden ser debidas al efecto proarrítmico de algunos fármacos antiarrítmicos, en especial de las clases IC y IA. Por este motivo, la PE se puede emplear como método diagnóstico no invasivo para desenmascarar respuestas proarrítmicas en estos pacientes.

### **Bradiarritmias**

El bloqueo auriculoventricular de segundo o tercer grado inducido por ejercicio es un hallazgo poco frecuente en las pruebas de esfuerzo. Aunque puede estar localizado en cualquier parte del sistema de conducción, su aparición casi siempre se debe a severos trastornos intrínsecos de la conducción infrahisiana o, con menos frecuencia, a isquemia muy severa.

Finalmente, la PE es un método útil para valorar la respuesta cronotropa en una gran variedad de situaciones clínicas, entre ellas el bloqueo auriculoventricular completo congénito, los pacientes con sospecha de insuficiencia cronotropa por disfunción sinusal, los pacientes portadores de marcapasos con función de respuesta adaptativa de la frecuencia (R) o para la determinación de la frecuencia cardíaca máxima sinusal en pacientes portadores de un desfibrilador automático implantable, para la programación adecuada de los parámetros del mismo.

### **Normas estandarizadas**

A continuación se presenta un resumen de las directrices anteriores en relación con la indicación de la prueba de esfuerzo en las distintas arritmias. Parte de ellas son modificación de las publicadas recientemente por el Comité *ad hoc* ACC/AHA estadounidense, ya citado con anterioridad<sup>27</sup>.

#### **Indicaciones de la prueba de esfuerzo en pacientes con arritmias**

- Clase I: diagnóstico de cardiopatía isquémica.
- Clase IIa: inducción por el esfuerzo de arritmias relacionadas con la actividad física. Estudio de la reserva cronotropa en la ENS. Programación de marcapasos con modulación de frecuencia. Programación de desfibrilador automático.
- Clase IIb: estudio de la refractariedad en el síndrome Wolff-Parkinson-White en pacientes adultos. Valoración de la eficacia de la terapia instaurada. Estudio del efecto proarrítmico. Estudio de arritmias ventriculares desencadenadas por estados hiperadrenérgicos.

### **La prueba de esfuerzo en la disfunción ventricular izquierda**

La disminución de la tolerancia al ejercicio es uno de los síntomas principales que presentan los pacientes que padecen insuficiencia cardíaca. De ahí la utilidad de realizar la prueba de esfuerzo con análisis del intercambio de gases en el proceso de evaluación de este tipo de pacientes. Estas técnicas proporcionan una determinación más precisa, reproducible, objetiva y fisiológica de la tolerancia al ejercicio. El consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) al pico de esfuerzo es una medida de la limitación funcional del sistema cardiovascular y el mejor índice de la capacidad de ejercicio, aparte de ser una estimación indirecta del gasto cardíaco máximo<sup>3,158</sup>. Dado que este aspecto ha sido tratado específicamente en el apartado Pruebas de esfuerzo con análisis de los gases espirados (ergoespirometría) de este trabajo, remitimos al lector a ese apartado. Baste recordar aquí que un consumo de oxígeno pico inferior a 14 ml/kg/min es considerado una indicación relativa de trasplante cardíaco. Si esta cifra es inferior a 10 ml/kg/min la indicación es clara<sup>159</sup>.

Mención aparte merece la miocardiopatía hipertrófica. Hasta hace poco se consideraba como una contraindicación para la prueba de esfuerzo. Hoy día, en cambio, ésta puede emplearse como método diagnóstico útil en ciertos casos. En este sentido, reputados autores<sup>160</sup> encuentran muy útil la práctica de una prueba de esfuerzo para analizar la respuesta de la presión arterial; la respuesta anormal de ésta supondría un signo de mal pronóstico para muerte súbita.



### La prueba de esfuerzo en las valvulopatías

La prueba de esfuerzo tiene un valor muy relativo en la valoración de las valvulopatías (considerando únicamente las valvulopatías significativas). Las razones son varias. Por un lado, la prueba de esfuerzo está contraindicada en algunas de ellas (caso de la estenosis aórtica grave). Por otro, la gran mayoría se acompañan de alteraciones basales del electrocardiograma que impiden analizar la respuesta del mismo para detectar isquemia miocárdica. Esto hace que se considere inadecuada la prueba de esfuerzo para el diagnóstico de la isquemia en las valvulopatías significativas. Finalmente, la gran información diagnóstica que aporta la ecocardiografía hace poco útil o redundante la derivada de la prueba de esfuerzo.

Únicamente tiene utilidad la prueba de esfuerzo con análisis del intercambio de gases en la valoración funcional de algunas valvulopatías. Es el caso, por ejemplo, de la estenosis aórtica con síntomas atípicos o discordantes con la afectación anatómica o hemodinámica, en especial en pacientes ancianos que con frecuencia están asintomáticos por inactividad. En los niños con estenosis aórtica moderada también puede ser útil la prueba de esfuerzo para valorar la capacidad funcional y encontrar un signo de severidad, como es la incapacidad para elevar la presión arterial durante el ejercicio<sup>161</sup>.

Lo mismo sucede con la estenosis mitral, cuya indicación quirúrgica principal es la presencia de síntomas limitantes. Cuando éstos son dudosos o discrepantes con el área valvular, el cálculo del comportamiento del gasto cardíaco con el ejercicio puede tener utilidad<sup>162</sup>.

En el caso de la regurgitación aórtica, la prueba de esfuerzo añade poco a la fracción de eyección a la hora de indicar la cirugía. Algunos autores la han empleado para valorar la respuesta al tratamiento con inhibidores de la enzima conversiva de la angiotensina en casos poco avanzados<sup>163</sup>.

La regurgitación mitral es una valvulopatía que puede tener muy diversa repercusión, pronóstico y evolución. Por ello, la prueba de esfuerzo con análisis del intercambio de gases puede aportar datos (reducción de capacidad funcional, hipotensión de esfuerzo) relevantes para la indicación quirúrgica.

A continuación resumimos las indicaciones principales de la prueba de esfuerzo en las valvulopatías, que también están inspiradas en las directrices de la ACC/AHA estadounidenses<sup>27</sup>.

#### Indicaciones de la prueba de esfuerzo en pacientes con valvulopatías

- Clase I: ninguna.
- Clase IIa: valoración de la capacidad funcional en la estenosis mitral.
- Clase IIb: valoración de la capacidad funcional en

la valvulopatía aórtica. Valoración de la capacidad funcional en la regurgitación mitral.

– Clase III: diagnóstico de cardiopatía isquémica en cualquier valvulopatía.

### PRUEBAS DE ESFUERZO EN OTRAS POBLACIONES

#### La prueba de esfuerzo en individuos asintomáticos

##### Adultos

El diagnóstico precoz de la cardiopatía isquémica en pacientes asintomáticos puede evitar en muchos casos importantes costes sanitarios y reducir las complicaciones mejorando el pronóstico de estos pacientes, es decir, la propuesta de detección precoz de estos procesos puede no sólo prolongar la supervivencia, sino mejorar la calidad de vida<sup>164</sup>.

Programas de detección general con el intento de diagnosticar la enfermedad coronaria grave en individuos jóvenes asintomáticos y sin factores de riesgo tienen poca utilidad debido a la baja prevalencia de cardiopatía isquémica severa en este grupo poblacional. Sin embargo, la posibilidad de un falso positivo puede producir un estado de ansiedad en el paciente y generar implicaciones desfavorables en el ámbito laboral y de las compañías de seguros, por lo que el uso de la PE en individuos sanos asintomáticos no debe ser recomendado.

En individuos con factores de riesgo y prueba de esfuerzo positiva<sup>165</sup> se ha demostrado que aquellos que tenían uno o dos factores de riesgo y más de dos alteraciones en la prueba de esfuerzo (dolor torácico, tiempo de ejercicio menor de 6 min, detención de la prueba antes del 90% de la frecuencia cardíaca máxima o depresión del ST), presentaban 30 veces más riesgo de acontecimientos coronarios. Este grupo estaba constituido por sólo el 10% de la población analizada; en los demás, los resultados de la prueba de esfuerzo no demostraron un buen valor predictivo. Basándose en consideraciones pronósticas, la prueba de esfuerzo en individuos asintomáticos con uno o más factores de riesgo (varones de más de 40 años o mujeres de más de 50 años) puede aportar una información pronóstica importante. El incremento del número de factores de riesgo aumenta la sensibilidad de la prueba.

En las personas cuyo trabajo implica seguridad pública, como pilotos de aviones y helicópteros, conductores de camiones y autobuses, conductores de trenes y metros, bomberos buceadores profesionales etc., la prueba de esfuerzo permite definir su capacidad funcional y detectar un posible problema coronario. Aun-

que no hay suficientes datos que justifiquen esta medida, en algunos casos pueden estar ordenados en sus estatutos de trabajo.

### Indicaciones de la prueba de esfuerzo en adultos sanos

- Clase I: ninguna.
- Clase IIa: ninguna.
- Clase IIb: evaluación de individuos con múltiples factores de riesgo. Evaluación de varones mayores de 40 años y mujeres mayores de 50 años asintomáticos que: *a)* deseen comenzar a realizar ejercicios físicos vigorosos, especialmente si eran sedentarios; *b)* tienen trabajos u ocupaciones que impliquen seguridad pública, y *c)* presenten alto riesgo de cardiopatía isquémica (insuficiencia renal crónica, trasplantados renales, diabéticos con vasculopatía periférica, etc.).
- Clase III: valoración rutinaria de pacientes asintomáticos

### Ancianos

En esta población es necesario conocer los efectos del envejecimiento sobre las variables que se miden en la PE para garantizar la seguridad y el desarrollo efectivo de la prueba en el anciano<sup>10</sup>. En la senectud, la FC en reposo suele estar disminuida o no cambia respecto al adulto<sup>10</sup>, pero tienen limitaciones para elevarla con el ejercicio, lo que dificulta poder alcanzar la FC máxima, lo cual parece ser debido a una degeneración senil del tejido de conducción y a una reducción en el número y sensibilidad de los receptores cardíacos betaadrenérgicos<sup>166</sup>.

El razonamiento para realizar una PE en ancianos sanos es similar al considerado para la población adulta en iguales condiciones de salud<sup>10</sup>. El ergómetro de elección para la prueba de esfuerzo se hará de manera individualizada<sup>10,167</sup>. Usualmente son capaces de realizar una PE máxima en el tapiz rodante, cicloergómetro o subir escalones.

La PE estaría indicada para prescribir un ejercicio individualizado en personas de edad avanzada, que padezcan enfermedades pulmonares crónicas estables moderadas o severas (EPOC)<sup>168-170</sup> y vayan a integrarse en un programa riguroso de ejercicio como parte de la rehabilitación pulmonar. Otra enfermedad que se beneficiaría de un programa de rehabilitación de este tipo sería la enfermedad vascular periférica<sup>171,172</sup>.

Como normas generales, los ancianos necesitan un mayor tiempo de adaptación para una intensidad de trabajo<sup>173</sup>. Un protocolo óptimo combinaría un período prolongado de calentamiento (al menos de 3 min), con un inicio del ejercicio a bajas cargas de trabajo, así como pequeños incrementos de trabajo (0,5-1,0 MET por estadio). Al tener menor fuerza y presentar una mayor fatigabilidad conviene elegir un protocolo con

una duración total de 8-12 min. Si se realiza en tapiz se recomienda aumentar la pendiente antes que la velocidad del mismo<sup>10</sup>.

### Indicaciones de la prueba de esfuerzo en ancianos

- Clase I: ninguna.
- Clase IIa: ancianos con enfermedades crónicas que se puedan beneficiar de la prescripción individualizada del ejercicio dentro de un programa de rehabilitación (EPOC, enfermedad vascular periférica, etc.).
- Clase IIb: valoración de ancianos con múltiples factores de riesgo. Valoración en varones y mujeres mayores de 65 años sintomáticos: *a)* que desean comenzar a realizar ejercicio vigoroso (intensidad > 60% VO<sub>2</sub> máximo y especialmente si son sedentarios) *b)* quienes padezcan enfermedades crónicas que supongan un alto riesgo de padecer enfermedades coronarias (diabetes, insuficiencia renal crónica, etc.).
- Clase III: detección rutinaria en ancianos asintomáticos.

### Discapacitados

En una persona sana que no haya realizado un entrenamiento específico de las extremidades superiores, el máximo VO<sub>2</sub> alcanzado en un ergómetro de brazos no supera el 50-70% del alcanzado en el cicloergómetro. A cualquier valor absoluto de intensidad submáxima, el VO<sub>2</sub> es mayor, y el aumento de la FC y la presión arterial es más rápido en el ejercicio de las extremidades superiores que en el de las inferiores<sup>174</sup>.

Por otro lado, y en relación con lo anteriormente mencionado, parece lógico que la sensibilidad para detectar cardiopatía isquémica de la PE con ejercicio de brazos sea menor que la de PE en *treadmill*<sup>174</sup>.

Las PE de valoración clínica y/o funcional de los sujetos que se mueven en silla de ruedas pueden realizarse en ergómetros de manivela, ergómetros de silla de ruedas, o con la propia silla de ruedas sobre el tapiz rodante o sobre una pista a determinadas velocidades.

Tanto los protocolos (intensidad incremental, continuos o discontinuos, y submáximos o máximos) como los criterios de detención de la PE (parada voluntaria, signos o síntomas de alteración cardiovascular o respiratoria, haber alcanzado la potencia máxima requerida o una FC predeterminada) son similares a los de individuos sin ningún tipo de incapacidad física. Por ser más seguros y parecidos a la actividad cotidiana, los protocolos de ejercicio submáximo y discontinuo son probablemente la mejor opción.

La FC máxima es 10-20 lat/min inferior a la que puede alcanzarse con ejercicio de las extremidades inferiores, por lo que los valores estimados a partir de la fórmula 220-edad deben ser reducidos en 10-20 lat/min. La mayoría de los protocolos recomiendan

una frecuencia de 50-75 rpm, una resistencia inicial de 5-10 vatios (similar a la potencia desarrollada en el ritmo de movimiento habitual de la vida diaria) e incrementos de 10-20 vatios.

En resumen, las indicaciones de PE en los discapacitados son las mismas que las de los adultos sin incapacidades, manteniendo los mismos subgrupos: asintomáticos, deportistas y cardiopatas.

## Pruebas de esfuerzo en niños

### Niños con cardiopatía

Los protocolos de pruebas de esfuerzo en niños cardiopatas se encuentran en un proceso de desarrollo y el número de trabajos publicados en este sentido es más bien escaso, conociéndose sobre todo la respuesta al ejercicio en el niño sano<sup>14,15,175-178,180</sup>.

La prueba de esfuerzo en niños no sólo se utiliza para el diagnóstico de acontecimientos isquémicos (lo más raro), sino también para constatar la aparición de síntomas o arritmias inducidas por el ejercicio, respuesta hipertensiva, valoración de asma inducido por ejercicio y evaluación no invasiva de la capacidad funcional.

En los niños los criterios del protocolo de la prueba de esfuerzo son similares a los de los adultos<sup>178,179</sup>, aunque la duración de la prueba no debe pasar de 8-12 min, con el fin de que el niño no se aburra ni se desmotive. El protocolo empleado debe constar de incrementos progresivos y uniformes de velocidad y pendiente, con el fin de evitar que se minimice la adaptación de los más pequeños a los aumentos de ejercicio.

### Indicaciones de la prueba de esfuerzo en niños cardiopatas

– Clase I: en niños con cardiopatía congénita o adquirida, antes y/o después de la cirugía, para valorar la capacidad de ejercicio. Valoración del dolor precordial de tipo anginoso. Valoración periódica de arritmias tras cirugía de Fallot.

– Clase IIa: en valvulopatías congénitas o adquiridas, para valorar la severidad de la estenosis. Valoración de arritmias inducidas por el ejercicio. Valoración de la respuesta ventricular en niños con bloqueo auriculoventricular congénito completo. Valoración de arritmias y previo a la indicación de trasplante cardíaco en la miocardiopatía dilatada. Síndrome de Wolff-Parkinson-White con historia de palpitaciones inducidas por el ejercicio. Evaluación de respuesta de marcapasos al ejercicio. Miocardiopatía hipertrófica. Síncope sugestivo de afectación cardíaca.

– Clase IIb: valoración de la eficacia del tratamiento con betabloqueadores. Valoración de la respuesta hipertensiva o del gradiente residual en postoperados de

coartación de aorta. Seguimiento de las alteraciones coronarias en niños con enfermedad de Kawasaki. Valoración de la respuesta al tratamiento médico, ablación por radiofrecuencia y/o quirúrgico en niños con taquiarritmias inducidas por el ejercicio.

– Clase III: valoración de extrasístoles auriculares o ventriculares. Síndrome de Marfan. Hipertensión pulmonar severa. Cardiopatías congénitas cianóticas previa a la cirugía. Síndrome de QT largo.

### Niños sin cardiopatía

La prueba ergométrica en niños y/o adolescentes no diagnosticados de cardiopatía puede realizarse como valoración previa al inicio de un programa de entrenamiento con el fin de detectar una cardiopatía no diagnosticada o para obtener información sobre la aptitud física para un determinado deporte. También para efectuar una evaluación de una sintomatología en un niño y/o adolescente en el que, a través de una exploración física, o incluso de algunas exploraciones complementarias básicas, no se han detectado signos de cardiopatía.

### Indicaciones de la prueba de esfuerzo en niños sin cardiopatía

– Clase I: como parte del proceso diagnóstico de dolor torácico.

– Clase IIa: evaluación de palpitaciones con el ejercicio físico. Evaluación de síncope de esfuerzo en niños no diagnosticados de cardiopatía.

– Clase IIb: evaluación de niños o adolescentes con historia familiar de muerte súbita inexplicable relacionada con el ejercicio en individuos jóvenes.

– Clase III: previamente al inicio de un programa de entrenamiento en niños y adolescentes sanos. Valoración del dolor torácico no anginoso.

## Pruebas de esfuerzo en deportistas

El ejercicio físico somete al organismo a un estrés adicional al habitual de la vida diaria que puede perjudicar o desestabilizar procesos patológicos que contraindiquen la práctica deportiva. Por otra parte, las PE deben aportar al deportista datos que le permitan planificar y mejorar su entrenamiento para optimizar su rendimiento deportivo.

Las PE suponen una herramienta fundamental para la valoración del deportista<sup>181-184</sup> desde dos puntos de vista: a) tutela del estado de salud de los atletas mediante la prevención y el diagnóstico precoz, y b) apoyo científico-médico al proceso del entrenamiento.

El ergómetro más utilizado para valorar  $VO_{2\text{máx}}$  y la capacidad aeróbica es la cinta rodante, ya que la carrera es un gesto biomecánico natural que no requiere habilidades motrices especiales, siendo un ejercicio diná-

mico en el que se movilizan grandes grupos musculares. No obstante, la moderna valoración funcional tiende a la realización de pruebas de esfuerzo, reproduciendo el gesto biomecánico del deportista para favorecer la motivación del mismo y buscar la mayor especificidad y aplicabilidad en la valoración<sup>185,186</sup>.

Los protocolos de esfuerzo utilizados para deportistas son incrementales, iniciándose a bajas cargas con aumentos suaves y progresivos que permiten la adaptación al ergómetro y sirven de calentamiento. Estas pruebas deben tener una duración óptima entre 8 y 12 min, y siempre deben ser máximas. Actualmente se están utilizando protocolos en rampa para evitar cambios bruscos de los parámetros fisiológicos como consecuencia de una inadecuada adaptación al incremento de la carga en cada estadio.

Además de los protocolos de esfuerzo incrementales, existen otro tipo de protocolos denominados de estado estable, cuyo objetivo es valorar la existencia de una estabilidad metabólica a una intensidad de trabajo constante, útiles para confirmar el umbral anaeróbico. Estos protocolos están orientados a programar el entrenamiento más que a valorar la respuesta cardiovascular a un esfuerzo máximo.

### *Indicaciones de la prueba de esfuerzo en deportistas*

– Clase I: valoración de deportistas con sospecha de cardiopatía o cardiopatía diagnosticada como indicación de aptitud para la práctica deportiva. Deportistas con alteraciones electrocardiográficas basales con objeto de establecer su relación con el entrenamiento físico. Evaluación de la capacidad funcional en deportistas de competición, prescripción de cargas de trabajo y valoración de la progresión tras un programa de entrenamiento físico. Deportistas con sospecha de asma inducido por el ejercicio

– Clase IIa: deportistas asintomáticos, mayores de 35 años y con dos o más factores de riesgo, como valoración de la aptitud para la práctica deportiva. Deportistas asintomáticos menores de 35 años con historia familiar de muerte súbita inexplicable relacionada con el ejercicio en familiares de primer grado jóvenes.

– Clase IIb: orientación sobre el ritmo de competición en deportistas que preparan una prueba de larga duración.

– Clase III: deportistas menores de 35 años para detección de cardiopatía.

### **AGRADECIMIENTO**

Al Dr. A. Loma-Osorio (Hospital Txagorritxu, Vitoria) por su ayuda en la elaboración del manuscrito, especialmente en el apartado Bibliografía. A la empresa Sanofi Winthrop S.A. por su apoyo en la celebración de la reunión de los participantes.

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. Chaitman B. Las pruebas de esfuerzo. En: Braunwald E, editor. Tratado de Cardiología. Medicina Cardiovascular (4.ª ed.). Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España, 1993; 177-197.
2. Reyes M, Iñiguez A, Goicolea A, Funes B, Castro A. El consentimiento informado en cardiología. Rev Esp Cardiol 1998; 51: 782-796.
3. Fletcher GF, Flipse T, Malouf J, Kligfield P. En: Rourke R, editor. Situación actual de la prueba de esfuerzo electrocardiográfica. Curr Probl Cardiol 1999; 1: 1-125.
4. Alegría Ezquerro E, Aljarde Guimerá M, Cordo Mollar JC, Chorro Gascó FJ, Pajarón López A. Utilidad de la prueba de esfuerzo y de otros métodos basados en el electrocardiograma en la cardiopatía isquémica crónica. Rev Esp Cardiol 1997; 50: 6-14.
5. European Society Working Group on Exercise Physiology, Physiopathology and Electrocardiography. Guidelines for cardiac exercise testing. Eur Heart J 1993; 14: 969-988.
6. American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Assessment of Cardiovascular Procedures: Guidelines for exercise testing. J Am Coll Cardiol 1986; 8: 725-738.
7. Aljarde M, Vidal JM, Palazuelos V. Indicaciones y técnicas actuales de la prueba de esfuerzo. En: Normas de Actuación Clínica en Cardiología. Madrid: Sociedad Española de Cardiología, 1996; 384-393.
8. Fletcher GF, Balady G, Froelicher VF, Hartley LH, Haskell WL, Pollock ML. Exercise standards: a for healthcare professionals from the American Heart Association Writing Group. Special Report. Circulation 1995; 91: 580-615.
9. Ellestad M. Pruebas de esfuerzo. Bases y aplicación clínica. En: Ellestad M, editor. Las pruebas de esfuerzo. Ediciones Consulta. 1988.
10. American College of Sports Medicine. Guidelines for exercise testing and prescription (5.ª ed.). Baltimore: Williams & Wilkins, 1995.
11. Howley ET, Bassett JR DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. Med Sci Sports Exerc 1995; 27: 1292-1301.
12. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ, Casaburi R. Principles of exercise testing and interpretation (2.ª ed.). Filadelfia: Lea & Febiger, 1994; 95-111.
13. Fernhall B, Kohrt W. The effect of training specificity on maximal and submaximal physiological responses to treadmill and cycle ergometry. J Sports Med Phys Fitness 1990; 30: 268-275.
14. Rost R. Exercise testing in pediatric cardiology. En: Torg JS, Shephard RJ, editores. Current therapy in sports medicine (3.ª ed.). St. Louis: Mosby, 1995; 653-658.
15. Rowland TW. Aerobic exercise testing protocols. En: Rowland TW, editor. Pediatric laboratory exercise testing. Clinical guidelines. Champaign, IL: Human Kinetics, 1993; 19-41.
16. Turley KR, Rogers DM, Harper KM, Kujawa KI, Wilmore JH. Maximal treadmill versus cycle ergometry testing in children: differences, reliability, and variability of responses. Ped Exerc Sci 1995; 7: 49-60.
17. Zhang YY, Johnson MC, Chow N, Wasserman K. Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. Med Sci Sports Exerc 1991; 23: 625-630.
18. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc 1982; 14: 377-381.
19. Froelicher VF, Umann TM. Exercise testing: clinical applications. En: Pollock ML, Schmidt DH, editores. Heart disease and rehabilitation (3.ª ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, 1995; 57-79.
20. Jeukendrup A, Saris WHM, Brouns F, Kester ADM. A new validated endurance performance test. Med Sci Sports Exerc 1996; 28: 266-270.
21. Cahalin LP, Mathier MA, Semigran MJ, Dec GW, DiSalvo TG.



- The six-minute walk test predicts peak oxygen uptake and survival in patients with advanced heart failure. *Chest* 1996; 110: 325-332.
22. Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 1384-1387.
  23. American College of Sports Medicine. Resource manual for guidelines for exercise testing and prescription (2.<sup>a</sup> ed.). Filadelfia: Lea & Febiger, 1993.
  24. Wiener SP, Ewing Garber C, Manfredi TG. A comparison of exercise performance on bicycle and rowing ergometers in female master recreational rowers. *J Sports Med Phys Fitness* 1995; 35: 176-180.
  25. Spirduso WW. Physical functioning of the old and oldest-old. En: Spirduso WW, editor. *Physical dimensions of aging*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1995; 329-358.
  26. Franklin BA, DeBusk RF, Gordon NF, Hanson P, Pollock ML. Exercise testing update: with or without CAD - when is activity safe? *Phys Sports Med* 1991; 19: 111-120.
  27. Gibbons RJ, Balady GJ, Beasley JW, Bricker JT, Duvernoy WFC, Froelicher VF et al. ACC/AHA guidelines for exercise testing. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing). *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 260-315.
  28. Azpitarte Almagro J, Cabadés O'Callaghan A, López Merino V, De los Reyes López M, San José Garagarza JM, en representación del Grupo de Estudio de Angina de Pecho de la Sección de Cardiopatía Isquémica y Unidades Coronarias de la Sociedad Española de Cardiología. Angina de pecho. Concepto y clasificación. *Rev Esp Cardiol* 1995; 48: 373-382.
  29. Azpitarte Almagro J, Arós Borau F, Cabadés O'Callaghan A, López Bescós L, Valls Grima F. Las exploraciones no invasivas en el manejo de los pacientes con cardiopatía isquémica crónica. Recomendaciones para su utilización. *Rev Esp Cardiol* 1997; 50: 145-156.
  30. Cordo JC, Asín E, Fernández C, García M, Magriñá J, Marín E et al. Grupo de Estudio de Angina de Pecho de la Sociedad Española de Cardiología. Métodos Diagnósticos en la Angina de Pecho. *Rev Esp Cardiol* 1995; 48: 383-393.
  31. Diamond GA, Forrester JS. Analysis of probability as an aid in the clinical diagnosis of coronary-artery disease. *N Engl J Med* 1979; 300: 1350-1358.
  32. Pryor DB, Harrell FE Jr, Lee KL, Califf RM, Rosali RA. Estimating the likelihood of significant coronary artery disease. *Am J Med* 1983; 75: 771-780.
  33. Diamond GA. A clinical relevant classification of chest discomfort. *J Am Coll Cardiol* 1983; 1: 574-575.
  34. Marín Huerta E, Rodríguez Padial L, Pey J, Fernández Palomeque C, Fernández Avilés F, Asín E. Utilidad de la prueba de esfuerzo para identificar sujetos de alto riesgo. Correlación con la coronariografía. *Rev Esp Cardiol* 1985; 38: 84-92.
  35. Marín Huerta E, Hernández E, Castro JM, Del Río A, Asín E, Cerezo L et al. Utilidad y limitaciones de la prueba de esfuerzo en pacientes con dolor precordial atípico. *Rev Esp Cardiol* 1982; 35: 323-330.
  36. Yamada H, Do D, Morise A, Froelicher VF. Multivariable equations to predict CAD. *Prog Cardiovasc Dis* 1997; 39: 457-481.
  37. Lee KL, Pryor DB, Harrell FE Jr, Califf RM, Behar VS, Floyd WL et al. Predicting outcome in coronary disease: statistical models versus expert clinicians. *Am J Med* 1986; 80: 553-560.
  38. Detrano R, Bobbio M, Olson H, Shandling A, Ellestad MH, Alegria E et al. Computer probability estimates of angiographic coronary artery disease: transportability and comparison with cardiologists' estimates. *Comput Biomed Res* 1992; 25: 468-485.
  39. Gianrossi R, Detrano R, Nulvihill D, Lehmann K, Dubach P, Colombo A et al. Exercise-induced ST depression in the diagnosis of coronary artery disease: a meta-analysis. *Circulation* 1989; 80: 87-98.
  40. Ellestad MM. Stress testing. Principles and practice. FA Davis Company, 1986; 311.
  41. Whinnery JE, Froelicher VF, Stewart AJ, Longo MR Jr, Triebwasser JH, Lancaster MC et al. The electrocardiographic response to maximal treadmill exercise in asymptomatic men with left bundle branch block. *Am Heart J* 1977; 94: 316-324.
  42. Whinnery JE, Froelicher VF Jr, Longo MR, Jr, Triebwasser JH. The electrocardiographic response to maximal treadmill exercise in asymptomatic men with right branch bundle block. *Chest* 1977; 71: 335-340.
  43. Detrano R, Gianrossi R, Froelicher V. The diagnostic accuracy of the exercise electrocardiogram: a meta-analysis of 22 years of research. *Prog Cardiovasc Dis* 1989; 32: 173-206.
  44. Sketch MH, Moss AN, Butler ML, Nair CK, Mohiuddin SM. Digoxin-induced positive exercise-tests: their clinical and prognostic significance. *Am J Cardiol* 1981; 48: 655-669.
  45. Herbert WG, Dubach P, Lehmann KG, Froelicher VF. Effect of beta blockade on the interpretation of the exercise ECG: ST level versus delta ST/HR index. *Am Heart J* 1991; 122: 993-1000.
  46. Miranda CP, Liu J, Kadar A, Janosi A, Froning J, Lehmann KG et al. Usefulness of exercise-induced ST segment depression in the inferior leads during exercise testing as a marker for coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1992; 69: 303-307.
  47. Rijneke RD, Ascoop CA, Talmon JL. Clinical significance of upsloping ST segments in exercise electrocardiography. *Circulation* 1980; 61: 671-678.
  48. Stuart RJ, Ellestad MH. Upsloping ST segments in exercise stress testing: six-year follow-up study of 438 patients and correlation with 248 angograms. *Am J Cardiol* 1976; 37: 19-22.
  49. Manvi KN, Ellestad MH. Elevated ST segments with exercise in ventricular aneurysm. *J Electrocardiol* 1972; 5: 317-323.
  50. Haines DE, Beller GA, Watson DD, Kaiser DL, Sayre SL, Gibson RS. Exercise-induced ST segment elevation 2 weeks after uncomplicated myocardial infarction: contributing factors and prognostic significance. *J Am Coll Cardiol* 1987; 9: 996-1003.
  51. Margonato A, Chierchia SI, Xuereb RG, Xuereb M, Fragasso G, Cappelletti A et al. Specificity and sensitivity of exercise-induced ST segment elevation for detection of residual viability: comparison with fluorodeoxyglucose and positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 1032-1038.
  52. Aljjarde-Guimerá M, Evangelista A, Galve E, Olivé S, Anivarro I, Soler Soler J. Useless diagnostic value of exercise-induced R wave changes in coronary artery disease. *Eur Heart J* 1983; 4: 614-621.
  53. Pryor DB, Shaw L, McCants CB, Lee KI, Mark DB, Harrell FE Jr et al. Value of the history and physical in identifying patients at increased risk for coronary artery disease. *Ann Intern Med* 1993; 118: 81-90.
  54. Chang JA, Froelicher VF. Clinical and exercise test markers of prognosis in patients with stable coronary artery disease. *Curr Prol Cardiol* 1994; 19: 535-587.
  55. Applegate RJ, Herrington DM, Little WC. Coronary angiography: more than meets the eye. *Circulation* 1994; 87: 1399-1401.
  56. Smith RF, Johnson G, Ziesche S, Bhat G, Blankenship K, Cohn JN. Functional capacity in heart failure: comparison of methods for assessment and their relation to other indexes of heart failure: the V-HeFT VA Cooperative Studies Group. *Circulation* 1993; 87: V1-88-VI-93.
  57. Mark DB, Hlatky MA, Harrell FE Jr, Lee KL, Califf RM, Pryor DB. Exercise treadmill score for predicting prognosis in coronary artery disease. *Ann Intern Med* 1987; 106: 793-800.
  58. McNeer JF, Margolis JR, Lee KL, Kisslo JA, Peter RH, Kong Y et al. The role of the exercise test in the evaluation of patients for ischemic heart disease. *Circulation* 1978; 57: 64-70.
  59. Braunwald E, Jones RH, Mark DB, Brown J, Brown L, Cheitlin MD et al. Diagnosing and managing unstable angina. *Circulation* 1994; 90: 613-622.

60. Larsson H, Areskog M, Areskog NH, Nylander E, Nyman I, Swahn E et al. Should the exercise test (ET) be performed at discharge or one month later after an episode of unstable angina or non-Q-wave myocardial infarction? *Int J Card Imaging* 1991; 7: 7-14.
61. Azpitarte J, Navarrete A, Sánchez Ramos J. ¿Es realmente útil la prueba de esfuerzo realizada después de un infarto de miocardio para mejorar el pronóstico de los pacientes? Argumentos a favor. *Rev Esp Cardiol* 1998; 51: 533-540.
62. Bardají A. ¿Es realmente útil la prueba de esfuerzo realizada después de un infarto de miocardio para mejorar el pronóstico de los pacientes? Argumentos en contra. *Rev Esp Cardiol* 1998; 51: 541-546.
63. Rouleau JL, Talajic M, Sussex B, Potvin L, Warnica W, Davies RF et al. Myocardial infarction patients in the 1990s-their risk factors, stratification and survival in Canada: the Canadian Assessment of Myocardial Infarction (CAMI) Study. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 1119-1127.
64. Villella A, Maggioni AP, Villella M, Giordano A, Turazza FM, Santoro E et al. Prognostic significance of maximal exercise testing after myocardial infarction treated with thrombolytic agents: the GISSI-2 database. Gruppo Italiano per lo Studio della Sopravvivenza Nell'Infarto. *Lancet* 1995; 346: 523-529.
65. Krone RJ, Dwyer EM, Greenberg H, Miller JP, Gillespie JA. Risk stratification in patients with first non-Q wave infarction: limited value of the early low level exercise test after uncomplicated infarcts: the Multicenter Post-Infarction Research Group. *J Am Coll Cardiol* 1989; 14: 31-37.
66. Ronnevik PK, Von der Lippe G. Prognostic importance of pre-discharge exercise capacity for long-term mortality and non-fatal myocardial infarction in patients admitted for suspected acute myocardial infarction and treated with metoprolol. *Eur Heart J* 1992; 13: 1468-1472.
67. Topol EJ, Burek K, O'Neill WW, Kewman DG, Kander NH, Shea MJ et al. A randomized controlled trial of hospital discharge three days after myocardial infarction in the era of reperfusion. *N Engl J Med* 1988; 318: 1083-1088.
68. Nielsen JR, Mickley H, Damsgaard EM, Froland A. Pre-discharge maximal exercise test identifies risk for cardiac death in patients with acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1990; 65: 149-153.
69. Evangelista Masip A, Alijarde M, Galve E, Larrousse E, Noguera L, Soler Soler J. Valor pronóstico de la prueba de esfuerzo limitada por síntomas en la fase precoz del infarto de miocardio. *Rev Esp Cardiol* 1984; 37: 425-430.
70. Senaratne MP, Hsu LA, Rossall RE, Kappagoda CT. Exercise testing after myocardial infarction: relative values of the low level pre-discharge and the post-discharge exercise test. *J Am Coll Cardiol* 1988; 12: 1416-1422.
71. Stone PH, Turi ZG, Muller JE, Parker C, Hartwell T, Rutherford JD et al. Prognostic significance of the treadmill exercise test performance 6 months after myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1986; 8: 1007-1017.
72. Juneau M, Colles P, Thérout P, De Guise P, Pelletier G, Lam J et al. Symptom-limited versus low level exercise testing before hospital discharge after myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1992; 20: 927-933.
73. Hamm LF, Crow RS, Stull GA, Hannan P. Safety and characteristics of exercise testing early after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1989; 63: 1193-1197.
74. Jain A, Myers GH, Sapin PM, O'Rourke RA. Comparison of symptom-limited and low level exercise tolerance tests early after myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 1816-1820.
75. Thérout P, Waters DD, Halper C, Debaisieux JC, Mizgala HF. Prognostic value of exercise testing soon after myocardial infarction. *N Engl J Med* 1979; 301: 341-345.
76. DeBusk RF, Haskell W. Symptom-limited vs heart-rate-limited exercise testing soon after myocardial infarction. *Circulation* 1980; 61: 738-743.
77. Froelicher VF, Perdue S, Pewen W, Risch M. Application of meta-analysis using an electronic spread sheet for exercise testing in patients after myocardial infarction. *Am J Med* 1987; 83: 1045-1054.
78. Abboud L, Hir J, Eisen I, Markiewicz W. Angina pectoris and ST-segment depression during exercise testing early following acute myocardial infarction. *Cardiology* 1994; 84: 268-273.
79. Ciaroni S, Delonca J, Righetti A. Early exercise testing after myocardial infarction in the elderly: clinical evaluation and prognostic significance. *Am Heart J* 1993; 126: 304-311.
80. Griffith LS, Varnauskas E, Wallin J, Bjurö T, Ejdeback J. Correlation of coronary arteriography after acute myocardial infarction with pre-discharge limited exercise test response. *Am J Cardiol* 1988; 61: 201-207.
81. Shaw LJ, Peterson ED, Kesler K, Hasselblad V, Califf RM. A meta-analysis of pre-discharge risk stratification after acute myocardial infarction with stress electrocardiographic, myocardial perfusion, and ventricular function imaging. *Am J Cardiol* 1996; 78: 1327-1337.
82. Madsen JK, Grande P, Saunamäki K, Thayssen P, Kassis E, Eriksen U et al. Danish multicenter randomized study of invasive versus conservative treatment in patients with inducible ischemia after thrombolysis in acute myocardial infarction (DANAMI). *Circulation* 1997; 96: 748-755.
83. Marín Huerta E, Valle Tudela V, Abeytúa Jiménez M, Fernández Palomeque C, Maroto Montero JM, Sagastagoitia Gorostiza JD et al. Estratificación pronóstica después del infarto de miocardio: prevención secundaria y rehabilitación. *Rev Esp Cardiol* 1994; 47 (Supl 1): 49-61.
84. Sanz E, Domingo E, Moreno V, Ángel J, Anivarro I, Alio J et al. Evolución clínica y angiográfica después de la angioplastia coronaria. Análisis de los factores predictivos de re-estenosis. *Rev Esp Cardiol* 1992; 45: 568-577.
85. Roth A, Millwer HI, Keren G, Soffer B, Kerbel S, Sheps D et al. Detection of restenosis following PTCA in single vessel coronary disease: the value of clinical assessment and exercise tolerance testing. *Cardiology* 1994; 84: 106-113.
86. El-Tamini H, Davies GJ, Hackett D, Fragasso G, Crea F, Maseri A. Very early prediction of restenosis after successful angioplasty: anatomic and functional assessment. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15: 259-264.
87. Hecht HS, DeBord L, Shaw R, Dunlap R, Ryan C, Stertzer SH et al. Usefulness of supine bicycle stress echocardiography for detection of restenosis after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am J Cardiol* 1993; 71: 293-296.
88. Hecht HS, Shaw RE, Chin HL, Ryan C, Stertzer SH, Myler RK. Silent ischemia after coronary angioplasty: evaluation of restenosis and extent of ischemia in asymptomatic patients by tomographic thallium-201 exercise imaging and comparison with symptomatic patients. *J Am Coll Cardiol* 1991; 17: 670-677.
89. Kennedy JW, Killip T, Fischer LD, Alderman EL, Gillespie MJ, Mock MB. The clinical spectrum of coronary artery disease and its surgical and medical management: 1974-1979, The Coronary Artery Surgery Study. *Circulation* 1982; 66: 16-23.
90. Hlatky MA, Pryor DB, Harrell FE Jr, Califf RM, Mark DB, Rosati RA. Factors affecting sensitivity and specificity of exercise electrocardiography: multivariable analysis. *Am J Med* 1984; 77: 64-71.
92. Morise AP, Diamond GA. Comparison of the sensitivity and specificity of exercise electrocardiography in biased and unbiased populations of men and women. *Am Heart J* 1995; 130: 741-747.
92. Okin PM, Kligfield P. Gender-specific criteria and performance of the exercise electrocardiogram. *Circulation* 1995; 92: 1209-1216.
93. Pratt CM, Francis MJ, Divine GW, Young JB. Exercise testing in women with chest pain: are there additional exercise characteristics that predict true positive test results? *Chest* 1989; 95:

- 139-144.
94. Alexander KP, Shaw LJ, DeLong ER, Mark DB, Peterson ED. Value of exercise treadmill testing in women *J Am Coll Cardiol* 1998; 32: 1657-1664.
  95. San Román JA, Vilacosta I, Castillo JA, Rollán MJ, Hernández M, Peral V et al. Selection of the optimal stress test for the diagnosis of coronary artery disease. *Heart* 1998; 80: 370-376.
  96. Requerimientos y equipamiento del Laboratorio de Ecocardiografía/Doppler: Aplicación clínica. En: Guías de Actuación clínica de la Sociedad Española de Cardiología.
  97. Alonso Gómez AM, Paré Bardera C, Payá Serrano R, Placer Peralta LJ, San Román Calvar JA. Papel de la ecocardiografía Doppler en el manejo de la cardiopatía isquémica crónica. *Rev Esp Cardiol* 1997; 50: 15-25.
  98. Bourdillon PD, Broderick TM, Sawada SG, Armstrong WF, Ryan T, Dillon JC et al. Regional wall motion index for infarct and noninfarct regions after reperfusion in acute myocardial infarction: comparison with global wall motion index. *J Am Soc Echo* 1989; 2: 398-407.
  99. Hoffmann R, Lethen H, Marwick T, Rambaldi R, Fioretti P, Pingitore A et al. Standardized guidelines for the interpretation of dobutamine echocardiography reduce interinstitutional variance in interpretation. *Am J Cardiol* 1998; 82: 1520-1524.
  100. Armstrong W, O'Donnell W, Ryan T, Feigenbaum H. Effect of prior myocardial infarction and extent and location of coronary disease on accuracy of exercise echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1987; 10: 531-538.
  101. Quiñones MA, Verani MS, Haichin RM, Mahmarian JJ, Suárez J, Zoghbi WA. Exercise echocardiography versus TI-201 single-photon emission computed tomography in the evaluation of coronary artery disease. Analysis of 292 patients. *Circulation* 1992; 85: 1026-1031.
  102. Marcovitz PA, Armstrong WF. Accuracy of dobutamine stress echocardiography in detecting coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1992; 69: 1269-1273.
  103. Marwick T, D'Hondt A-M, Baudhuin T, Willemart B, Wijns W, Detry J-M et al. Optimal use of dobutamine stress for the detection and evaluation of coronary artery disease: combination with echocardiography or scintigraphy, or both? *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 159-167.
  104. Segar DS, Brown SE, Sawada SG, Ryan T, Feigenbaum H. Dobutamine stress echocardiography: correlation with coronary lesion severity as determined by quantitative angiography. *J Am Coll Cardiol* 1992; 19: 1197-1202.
  105. Picano E, Lattanzi F, Masini M, Distanti A, L'Abbate A. Different degrees of ischemic threshold stratified by dipyridamole-echocardiography test. *Am J Cardiol* 1987; 59: 71-73.
  106. ACC/AHA Guidelines for coronary angiography: executive summary and recommendations. *Circulation* 1999; 99: 2345-2357.
  107. San Román JA, Vilacosta I, Rollán MJ, Castillo JA, Sánchez-Harguindey L, Fernández-Avilés F. Impact of betablockers on dobutamine-atropine stress echocardiography. *Echocardiography* 1996; 13: 373-379.
  108. Marwick TH, Anderson T, Williams MJ, Haluska B, Melin JA, Pashkow F et al. Exercise echocardiography is an accurate and cost-efficient technique for detection of coronary artery disease in women. *J Am Coll Cardiol* 1995; 26: 335-341.
  109. Masini M, Picano E, Lattanzi F, Distanti A, L'Abbate A. High dose dipyridamole echocardiography test in women: correlation with exercise electrocardiography test and coronary arteriography. *J Am Coll Cardiol* 1988; 112: 682-685.
  110. Dionisopoulos PN, Collins JD, Smart SC, Knickelbine TA, Sagar KB. The value of dobutamine stress echocardiography for the detection of coronary artery disease in women. *J Am Soc Echocardiogr* 1997; 10: 811-817.
  111. Peral V, Vilacosta I, San Román JA, Castillo JA, Batlle E, Hernández M et al. Prueba no invasiva de elección para el diagnóstico de enfermedad coronaria en mujeres. *Rev Esp Cardiol* 1997; 50: 421-427.
  112. Smart SC, Knickelbine T, Stoiber TR, Carlos M, Wynsen JC, Sagar KB. Safety and accuracy of dobutamine-atropine stress echocardiography for the detection of residual stenosis of the infarcted related artery and multivessel disease during the first week after acute myocardial infarction. *Circulation* 1997; 95: 1394-1401.
  113. Jaarsma W, Visser CA, Funke AJ, Res JC, Van Eenige MJ, Roos JP. Usefulness of two-dimensional exercise echocardiography shortly after myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1986; 57: 86-90.
  114. Picano E, Landi P, Bolognese L, Chiaranda G, Chiarella F, Seveso G et al. Prognostic value of dipyridamole echocardiography early after uncomplicated myocardial infarction: a large scale multicenter trial. *Am J Med* 1993; 11: 608-618.
  115. Carlos ME, Smart SC, Wynsen JC, Sagar KB. Dobutamine stress echocardiography for risk stratification after myocardial infarction. *Circulation* 1997; 95: 1402-1410.
  116. Sicari R, Picano E, Landi P, Pingitore A, Bigi R, Coletta C et al. Prognostic value of dobutamine-atropine stress echocardiography early after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1997; 29: 254-260.
  117. Greco CA, Salustri A, Seccareccia F, Ciavatti M, Biferali F, Valtorta F et al. Prognostic value of dobutamine echocardiography early after uncomplicated acute myocardial infarction: a comparison with exercise electrocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1997; 29: 261-267.
  118. De la Torre MM, San Román JA, Bermejo J, Garcimartín I, Paniagua J, Sanz O et al. Valor pronóstico de la ecocardiografía con dobutamina después de un infarto agudo de miocardio. *Rev Esp Cardiol* 1999; 52: 237-244.
  119. Afridi I, Kleiman NS, Raizner AE, Zoghbi WA. Dobutamine echocardiography in myocardial hibernation. Optimal dose and accuracy in predicting recovery of ventricular function after myocardial coronary angioplasty. *Circulation* 1995; 91: 663-670.
  120. McNeill AJ, Fioretti PM, El-Said SM, Salustri A, De Feyter PJ, Roelandt JR. Dobutamine stress echocardiography before and after coronary angioplasty. *Am J Cardiol* 1992; 69: 740-745.
  121. Heinle SK, Lieberman EB, Ancukiewicz M, Waugh RA, Bashore TM, Kisslo J. Usefulness of dobutamine echocardiography for detecting restenosis after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am J Cardiol* 1993; 72: 1220-1225.
  122. Dávila-Román VG, Wong AK, Li D, Shelton ME, Lasala JM, Hopkins WE et al. Usefulness of dobutamine stress echocardiography for the prospective identification of the physiologic significance of coronary narrowings of moderate severity in patients undergoing evaluation for percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am J Cardiol* 1995; 76: 245-249.
  123. Hoffmann R, Lethen H, Flachskampf A, Hanrath P. Exercise echocardiography performed early and late after percutaneous transluminal coronary angioplasty for prediction of restenosis. *Eur Heart J* 1995; 16: 1872-1879.
  124. Rosanio S, Tocchi M, Stouffer GA. Use of stress testing to evaluate patients with recurrent chest pain after percutaneous coronary revascularization. *Am J Med Sci* 1998; 316: 46-52.
  125. Sawada SG, Judson WE, Ryan T, Armstrong WF, Feigenbaum H. Upright bicycle exercise echocardiography after coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* 1989; 64: 1123-1129.
  126. Crouse LJ, Vacek JL, Beauchamp GD, Porter CB, Rosamond TL, Kramer PH. Exercise echocardiography after coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* 1992; 70: 572-576.
  127. Kafka H, Leach AJ, FitzGibbon GM. Exercise echocardiography after coronary artery bypass surgery: correlation with coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 1019-1024.
  128. Hoffmann R, Lethen H, Falter F, Flachskampf FA, Hanrath P. Dobutamine stress echocardiography after coronary artery bypass grafting. Transthoracic vs biplane transesophageal imaging. *Eur Heart J* 1996; 17: 222-229.



129. Requerimientos y equipamiento de la Unidad de Medicina Nuclear: Aplicación clínica. En: Guías de Actuación Clínica de la Sociedad Española de Cardiología.
130. Takeuchi M, Araki M, Nakashima Y, Kuroiwa A. Comparison of dobutamine stress echocardiography and stress thallium-201 single-photon emission computed tomography for detecting coronary artery disease. *J Am Soc Echocardiogr* 1993; 6: 593-602.
131. Hoffmann R, Lethen H, Marwick T, Arnese MR, Fioretti P, Pingitore A et al. Analysis of interinstitutional observer agreement in interpretation of dobutamine stress echocardiograms. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 330-336.
132. Barrabés Riu JA, García-Dorado D, Martín JA, Coma Canella I, Valle Tudela V. Papel de las exploraciones no invasivas en el manejo de la cardiopatía isquémica. III. Estimación de la viabilidad miocárdica. *Rev Esp Cardiol* 1997; 50: 75-82.
133. Heyndrickx GR, Millard RW, McRitchie RJ, Maroko PR, Vatner SF. Regional myocardial functional and electrophysiological alterations after brief coronary artery occlusion in conscious dogs. *J Clin Invest* 1975; 56: 978-985.
134. Braunwald E, Kloner RA. The stunned myocardium: prolonged, post-ischemic ventricular dysfunction. *Circulation* 1982; 66: 1146-1149.
135. Rahimtoola SH. The hibernating myocardium. *Am Heart J* 1989; 117: 111-121.
136. Chatterjee K, Swan HJC, Parmley WW, Sustaita H, Marcus HS, Matloff J. Influence of direct myocardial revascularization on left ventricular asynergy and function in patients with coronary heart disease with and without previous myocardial infarction. *Circulation* 1973; 47: 276-286.
137. Previtalli M, Festiveau R, Lanzarini L, Cavalotti C, Klersy C. Prognostic value of myocardial viability and ischemia detected by dobutamine stress echocardiography early after acute myocardial infarction treated with thrombolysis. *J Am Coll Cardiol* 1998; 32: 380-386.
138. Picano E, Sicari R, Landi P, and EDIC Study Group. Prognostic value of myocardial viability in medically treated patients with global left ventricular dysfunction early after an acute uncomplicated myocardial infarction. *Circulation* 1998; 98: 1078-1084.
139. Udelson JE. Steps forward in the assessment of myocardial viability in left ventricular dysfunction. *Circulation* 1998; 97: 833-838.
140. Cornel J, Bax J, Elhendy A, Maat APWM, Kimman G-JP, Geleijnse ML et al. Biphasic response to dobutamine predicts improvement of global left ventricular function after surgical revascularization in patients with stable coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1998; 31: 1002-1010.
141. Grupo Español de Cardiología Nuclear. Valoración de la viabilidad miocárdica mediante tecnecio-99m isonitrilo y talio-201. Resultados del protocolo multicéntrico español. *Rev Esp Cardiol* 1997; 50: 320-330.
142. Berman DS, Kiat H, Van Train KF, Friedman J, García EV, Maddahi J. Comparison of SPECT using technetium-99m agents and thallium-201 and PET for the assessment of myocardial perfusion and viability. *Am J Cardiol* 1990; 66: E72-E79.
143. Schwaiger M, Hicks R. The clinical role of metabolic imaging of the heart by positron emission tomography. *J Nucl Med* 1991; 32: 565-578.
144. Nishino M, Tanouchi J, Tanaka K, Ito T, Kato J, Iwai K et al. Dobutamine stress echocardiography at 7.5 mg/kg/min using color tissue Doppler imaging M-mode safely predicts reversible dysfunction early after reperfusion in patients with acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1999; 83: 340-344.
145. The Sixth Report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. *Arch Intern Med* 1997; 157: 2413-2446.
146. Grima A. La ergometría en el diagnóstico y pronóstico de la hipertensión arterial. *Rev Esp Cardiol* 1995; 48 (Supl 4): 40-44.
147. Fragola PV, Romitelli S, Moretti A, Michisanti M, Cannata D. Precursors of established hypertension in borderline hypertensives. A two-year follow-up. *Int J Cardiol* 1993; 39: 113-119.
148. Bruschi JE Jr, Cannon RO, Schenke WH, Bonow RO; Leon MB, Maron BJ et al. Angina due to coronary microvascular disease in hypertensive patients without left ventricular hypertrophy. *N Engl J Med* 1988; 319: 1302-1307.
149. Lauer MS, Pashkow FJ, Harvey SA, Marwick TH, Thomas JD. Angiographic and prognostic implications of an exaggerated exercise systolic blood pressure response and rest systolic blood pressure in adults undergoing evaluation for suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1995; 26: 1630-1636.
150. Pool PE, Seagren SC, Salel AF. Effects of diltiazem on serum lipids, exercise performance and blood pressure: randomized, double-blind, placebo-controlled evaluation for systemic hypertension. *Am J Cardiol* 1985; 56: H86-H91.
151. Tomten SE, Kjeldsen SE, Nilsson S, Westheim AS. Effect of alpha 1-adrenoceptor blockade on maximal VO<sub>2</sub> and endurance capacity in well-trained athletic hypertensive men. *Am J Hypertens* 1994; 7: 603-608.
152. Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M et al. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol* 1991; 17: 1334-1342.
153. Gould BA, Hornung RS, Altman DG, Cashman PM, Raftery EB. Indirect measurement of blood pressure during exercise testing can be misleading. *Br Heart J* 1985; 53: 611-615.
154. Sung RJ, Lauer MR. Exercise-induced cardiac arrhythmias. En: Zipes DP, Jalife J, editores. *Cardiac electrophysiology: from cell to bedside*. Filadelfia: WB Saunders, 1995; 1013-1023.
155. Candinas RA, Podrid PJ. Evaluation of cardiac arrhythmias by exercise testing. *Herz* 1990; 15: 21-27.
156. Berntsen RF, Gunnes P, Rasmussen K. Pattern of coronary artery disease in patients with ventricular tachycardia and fibrillation exposed by exercise induced ischemia. *Am Heart J* 1995; 129: 733-738.
157. Mont L, Seixas T, Brugada P, Brugada J, Simonis F, Rodríguez LM et al. Clinical and electrophysiologic characteristics of exercise-related idiopathic ventricular tachycardia. *Am J Cardiol* 1991; 68: 897-900.
158. Mayo Clinic Cardiovascular Working Group on Stress Testing. Cardiovascular stress testing: A description of the various types of stress tests and indications for their use. *Mayo Clin Proc* 1997; 71: 43-52.
159. Mudge GH, Goldstein S, Addonizio LJ, Caplan A, Mancini D, Levine TB et al. 24th Bethesda Conference: Cardiac transplantation. Task Force 3: Recipient guidelines/prioritization. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 21-31.
160. Spirito P, Seidman CE, McKenna WJ, Maron BJ. The management of hypertrophic cardiomyopathy. *N Engl J Med* 1997; 336: 775-785.
161. James FW, Schwartz DC, Kaplan S, Spilkin SP. Exercise electrocardiogram, blood pressure, and working capacity in young patients with valvular or discrete subvalvular aortic stenosis. *Am J Cardiol* 1982; 50: 769-775.
162. Arós LF, Loma-Osorio A, Belló MC, Camacho I, Martínez J, Zabalza O et al. A. Las pruebas de esfuerzo con control hemodinámico: respuesta en la valvulopatía mitral. *Rev Esp Cardiol* 1986; 39: 269-273.
163. Schön HR, Dorn R, Barthel P, Schömig A. Effects of 12 months quinapril therapy in asymptomatic patients with chronic aortic regurgitation. *J Heart Valve Dis* 1994; 3: 500-509.
164. Sox HC, Littenberg B, Garber AM. The role of exercise testing in screening for coronary artery disease. *Ann Intern Med* 1989; 110: 456-469.
165. Bruce RA, DeRouen TA, Hossack KF. Value of maximal exercise tests in risk assessment of primary coronary heart disease events in healthy men: five years' experience of the Seattle heart watch study. *Am J Cardiol* 1980; 46: 371-378.
166. McLaren PF, Nurhayati Y, Boutcher H. Stroke volume response to cycle ergometry in trained and untrained older men. *Eur J*



- Appl Physiol 1997; 75: 537-542.
167. Shephard RJ. Exercise in old age. En: Shephard RJ, Miller HS, editores. Exercise and the heart in health and disease. Nueva York: 1992; 187-231.
  168. Casaburi R, Porszasz J, Burns MR, Carithers ER, Chang R, Cooper CH. Physiologic benefits of exercise training in rehabilitation of patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. Am J Respir Crit Care Med 1997; 155: 1541-1551.
  169. Olopade CH, Beck K, Viggiano RW, Bruce A. Exercise limitation and pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease. Mayo Clin Proc 1992; 67: 144-157.
  170. O'Donnell D, McGuire M, Samis L, Webb C. The impact of exercise reconditioning on breathlessness in severe chronic airflow limitation. Am J Respir Crit Care Med 1995; 152: 2005-2013.
  171. Womack CH, Sieminski D, Katzel L, Yataco A, Gardner A. Improved walking economy in patients with peripheral arterial occlusive disease. Med Sci Sports Exerc 1997; 10: 1286-1290.
  172. Barnard J. Physical activity, fitness and claudication. En: Bouchard C, Shephard RJ, Stephens T, editores. Physical activity, fitness and health. International proceedings and consensus statement. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1994; 633-655.
  173. Balady GJ, Weiner DA, Rose L, Ryan TJ. Physiologic responses to arm ergometry exercise relative to age and gender. J Am Coll Cardiol 1990; 16: 130-135.
  174. Balady GJ, Weiner DA, Rothendler JA, Ryan TJ. Arm exercise-thallium imaging testing for the detection of coronary artery disease. J Am Coll Cardiol 1987; 9: 84-88.
  175. James FW, Blomqvist CG, Freed MD, Miller WW, Moller JH, Nugent EW et al. Standards for exercise testing in the pediatric age group. American Heart Association council on cardiovascular disease in the young. Circulation 1982; 66: 1377-1397.
  176. Colan SD. Exercise testing. En: Fyler DC, editor. Nadas, Pediatric Cardiology. Filadelfia: Hanley & Belfus Inc. 1992; 249-263.
  177. Fletcher GF, Froelicher VF, Hartley LH, Haskell WL, Pollock ML. Exercise standards. A statement for health professionals from the American Heart Association. Circulation 1990; 82: 2286-2322.
  178. Ellestad MH. Pruebas de esfuerzo en pediatría. En: Ellestad MH, editor. Pruebas de esfuerzo. Bases y aplicación clínica. Barcelona: Ediciones Consulta, 1988; 371-389.
  179. Pina IL, Balady GJ, Hanson P, Labovitz AJ, Madonna DW, Myers J. Guidelines for clinical exercise testing laboratories: a statement for healthcare professionals from the Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation, American Heart Association. Circulation 1995; 91: 912-921.
  180. Freed MD. Exercise testing in children: a survey of techniques and safety. Circulation 1981; 64 (Supl 4): 278.
  181. Rich BS. Sudden death screening. Med Clin North Am 1994; 78: 267-286.
  182. Maron BJ, Shirini J, Pollic LC, Mathenge R, Roberts WC, Mueller FO. Sudden death in young competitive athletes. JAMA 1996; 276: 199-204.
  183. Thompson PD. The cardiovascular complications of vigorous physical activity. Arch Intern Med 1996; 156: 2297-2302.
  184. Dal Monte A. Exercise testing and ergometers. En: Dirix A, Knuttgen HG, Tittel K, editores. The Olympic book of sports medicine. IOC-FIMS. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1988.
  185. Dal Monte A. La valutazione funzionale dell'atleta. Florencia: Sansoni Editori Nuova, 1983.
  186. Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. J Appl Physiol 1981; 50: 217-221.

#### ABREVIATURAS

ECG: electrocardiograma.  
 FC: frecuencia cardíaca.  
 PE: prueba de esfuerzo.  
 PA: presión arterial.  
 VO<sub>2</sub>: consumo de oxígeno.

**ANEXO 1. Conjunto mínimo de datos a recoger**

En toda prueba de esfuerzo (PE) es preciso recoger un mínimo de datos en torno a dos conceptos: los datos de filiación del paciente y los datos de la ergometría. El juego de datos que, como mínimo, es conveniente o necesario recoger y almacenar en toda PE, podemos denominarlo conjunto mínimo de datos de ergometría (CMDE). Los datos referentes al paciente deben identificarlo de forma unívoca, de manera que se minimice la posibilidad de confundir entre más de un paciente. Sería preciso almacenar:

1. Los apellidos y nombre del paciente.
2. El sexo.
3. La fecha de nacimiento, a partir de la cual se puede calcular la edad en cada momento concreto.
4. Un número identificador: habitualmente el número de la historia clínica o bien otro número de similares características.

Los datos de la ergometría deben identificar una PE concreta entre todas las que el paciente pueda haber hecho, y deberían permitir la comprensión del procedimiento exploratorio<sup>179</sup>. Por tanto, podrían ser:

1. Un identificador de la PE: la fecha en la que se realiza y, eventualmente, un número identificador adecuado.
2. Las razones que han llevado a iniciar el procedimiento exploratorio.
3. La situación del paciente antes de comenzar el procedimiento (incluida la edad), teniendo en cuenta el ECG inicial.
4. El método y protocolo de la PE.
5. El número de etapas de preesfuerzo, esfuerzo y recuperación realizadas.
6. Los datos para cada etapa: a) los datos físicos, duración y carga, o bien el número o el identificador de la etapa si pertenece a un protocolo normalizado, y b) los datos fisiológicos del paciente, la frecuencia cardíaca, la presión arterial; los datos ECG, la desviación del segmento ST y la pendiente del mismo; la presencia y tipo de arritmias y la sintomatología que presenta el sujeto.
7. Los datos para las conclusiones: a) razón de finalización de la PE; b) positividad del comportamiento ECG en cuanto al ST; c) presencia y distribución de arritmias durante la PE; d) comportamiento de la presión arterial, y e) capacidad funcional o de ejercicio máxima del sujeto en la PE.
8. Incidencias ocurridas durante la PE.
9. El personal sanitario y técnico que ha realizado y asistido a la PE.
10. El paciente habrá firmado el consentimiento informado.

Del conjunto de todos estos datos se debe poder deducir una conclusión adecuada, que se archivaría junto al resto de los datos de la PE.

**TABLA 1. Contraindicaciones para la realización de pruebas de esfuerzo**

<b>Absolutas</b>
Infarto de miocardio reciente (menos de 3 días)
Angina inestable no estabilizada con medicación
Arritmias cardíacas incontroladas que causan deterioro hemodinámico
Estenosis aórtica severa sintomática
Insuficiencia cardíaca no estabilizada
Embolia pulmonar
Pericarditis o miocarditis aguda
Diseccción aórtica
Incapacidad física o psíquica para realizar la PE
<b>Relativas</b>
Estenosis valvular moderada
Anormalidades electrolíticas
Hipertensión arterial severa (PAS > 200 y/o PAD > 110 mmHg)
Taquiarritmias o bradiarritmias
Miocardiopatía hipertrófica u otras formas de obstrucción al tracto de salida de ventrículo izquierdo
Bloqueo auriculoventricular de segundo o tercer grado

PAD: presión arterial diastólica; PAS: presión arterial sistólica.

**TABLA 2. Criterios de finalización de pruebas de esfuerzo**

<b>Absolutos</b>
El deseo reiterado del sujeto de detener la prueba
Dolor torácico anginoso progresivo
Descenso o falta de incremento de la presión sistólica pese al aumento de la carga
Arritmias severas/malignas: fibrilación auricular taquicárdica, extrasistolia ventricular frecuente, progresiva y multiforme, rachas de taquicardia ventricular, flúter o fibrilación ventricular
Síntomas del sistema nervioso central: ataxia, mareo o síncope
Signos de mala perfusión: cianosis, palidez
Mala señal electrocardiográfica que impida el control del trazado
<b>Relativos</b>
Cambios llamativos del ST o del QRS (cambios importantes del eje)
Fatiga, cansancio, disnea y claudicación
Taquicardias no severas incluyendo las paroxísticas supraventriculares
Bloqueo de rama que simule taquicardia ventricular

**TABLA 3. Escala de Borg**

Escala de 15 grados		Escala de 10 grados	
Valor	Apreciación	Valor	Apreciación
6		0	Nerd
7	Muy muy leve	Medio	Muy muy leve
8			(apenas apreciable)
9	Muy leve	1	Muy leve
10		2	Leve
11	Considerablemente leve	3	Moderada
12		4	Algo fuerte
13	Medianamente dura	5	Fuerte o intensa
14		6	
15	Dura	7	Muy fuerte
16		8	
17	Muy dura	9	
18		10	Muy muy fuerte (submáxima)
19	Muy muy dura		
20			

A la izquierda la escala original de esfuerzo percibido en 15 grados (de 6 a 20) y a la derecha la más nueva de 10 categorías.

**TABLA 4. Parámetros a evaluar en una prueba de esfuerzo convencional**

Parámetros electrocardiográficos
Depresión del segmento ST
Elevación del segmento ST
Arritmias y/o trastornos de la conducción
Parámetros hemodinámicos
Frecuencia cardíaca y presión arterial
Producto FC × PA sistólica
Parámetros clínicos
Angina
Signos de disfunción ventricular izquierda (mareo, palidez, sudor frío, cianosis)
Disnea, claudicación, etc.
Percepción subjetiva del esfuerzo
Capacidad funcional
Trabajo externo expresado en MET
Tiempo de ejercicio

FC: frecuencia cardíaca; PA: presión arterial; MET: unidades metabólicas (1 MET = 3,5 ml de O<sub>2</sub>/kg/min).

**TABLA 5. Clasificación clínica del dolor tóraco (Diamond, 1983)**

Criterios	Definiciones
Molestia opresiva en zona torácica anterior, cuello, mandíbula o brazos	Angina típica: cumple los tres criterios
Desencadenada por el esfuerzo o el estrés psíquico	Angina atípica: cumple dos criterios
Alivio claro con el reposo o con la nitroglicerina	Dolor torácico no anginoso: cumple un criterio

**TABLA 6. Términos útiles para la evaluación de una prueba de esfuerzo**

Verdadero Positivo (VP)	Resultado anormal en un individuo con la enfermedad
Falso positivo (FP)	Resultado anormal en un individuo sin la enfermedad
Verdadero negativo (VN)	Resultado normal en un individuo sin la enfermedad
Falso negativo (FN)	Resultado normal en un individuo con la enfermedad
Sensibilidad (S)	Porcentaje de pacientes con la enfermedad que tienen una prueba anormal $S = VP / (VP + FN)$
Especificidad (E)	Porcentaje de pacientes sin la enfermedad que tienen una prueba normal $E = VN / (VN + FP)$
Valor predictivo positivo (VP+)	Porcentaje de pacientes con una prueba anormal que tienen la enfermedad $VP+ = VP / (VP + FP)$
Valor predictivo negativo (VP-)	Porcentaje de pacientes con una prueba normal que no tienen la enfermedad $VP- = VN / (VN + FN)$
Precisión diagnóstica (PD)	Porcentaje de resultados verdaderos positivos $PD = (VP + VN) / \text{total de pruebas}$
Índice de probabilidad (IP)	Probabilidad de que el resultado de una prueba sea verdadero IP para una prueba anormal = $S / (1 - E)$ IP para una prueba normal = $E / (1 - S)$
Riesgo relativo	Proporción de enfermos en sujetos con una prueba positiva Proporción de enfermos en sujetos con una prueba negativa

**TABLA 7. Causas de falsos positivos y falsos negativos en la prueba de esfuerzo**

Falsos positivos	Falsos negativos
Electrocardiográficas	Nivel insuficiente de esfuerzo
Alteraciones basales del ECG	No alcanzar la FC submáxima
Trastornos de la conducción	Limitaciones
Síndrome de preexcitación	musculoesqueléticas o vasculares
Cardiopatías	Personas entrenadas físicamente (si se realizan PE submáximas)
Valvulopatías	
Prolapso mitral	
Miocardopatías	De origen coronario
Hipertrofia ventricular izquierda	Enfermedad de un vaso
Enfermedades pericárdicas	Lesiones de escasa significación
	Circulación colateral suficiente
Hipertensión arterial	Ciertos fármacos
Alteraciones metabólicas y electrolíticas	Nitratos
	Betabloqueadores
Alteraciones vasorreguladoras	Aspectos técnicos de valoración
Hiperventilación	N.º insuficiente de derivaciones
Ortostatismo	Error de interpretación
Ejercicio excesivo repentino	
Ansiedad	
Efecto de ciertos fármacos	
Digital, diuréticos, antidepresivos, estrógenos	
Otros	
Anemia	
Hipoxemia	
<i>Pectum excavatum</i>	
Mujeres	
Defectos técnicos de interpretación	

ECG: electrocardiograma; FC: frecuencia cardíaca; N.º: número; PE: prueba de esfuerzo.

**TABLA 8. Criterios de anormalidad de la prueba de esfuerzo**

Anormalidad	Criterios
Clínica	Angina durante la prueba Signos de disfunción ventricular izquierda (hipotensión o falta de progresión de la presión arterial, mareo, palidez, sudor frío, náuseas)
Electrocardiográficos (criterios no absolutos, que deben matizarse en el contexto clínico de cada paciente)	Descenso del punto J respecto del nivel basal de 0,1 mV o más, seguido de un segmento ST horizontal o descendente a los 60-80 ms Descenso del punto J respecto del nivel basal seguido de un segmento ST lentamente ascendente que a los 60-80 ms continúa deprimido al menos 0,15 mV por debajo de la línea isoeletrica Elevación del segmento ST más de 0,1 mV en ausencia de necrosis previa (excepto aVR) Inversión de la onda U



TABLA 9. Probabilidad pretest de enfermedad coronaria por edad, sexo y sintomatología

Edad (años)	Sexo	Angina típica	Angina atípica	Dolor no anginoso	Asintomático
30-39	Varón	Intermedio	Intermedio	Bajo	Muy bajo
	Mujer	Intermedio	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
40-49	Varón	Alto	Intermedio	Intermedio	Bajo
	Mujer	Intermedio	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
50-59	Varón	Alto	Intermedio	Intermedio	Bajo
	Mujer	Intermedio	Intermedio	Bajo	Muy bajo
60-69	Varón	Alto	Intermedio	Intermedio	Bajo
	Mujer	Alto	Intermedio	Intermedio	Bajo

Alto: > 90%; intermedio: 10-90%; bajo: < 10%; muy bajo: < 5%.

TABLA 10. Criterios de mal pronóstico en la prueba de esfuerzo

1. Síntomas (disnea o angina) limitantes del ejercicio a cargas bajas (estadio I en el protocolo de Bruce para la mayoría de pacientes)
2. Frecuencia cardíaca menor a 100 lat/min al comienzo de los síntomas limitantes (en ausencia de tratamiento bradicardizante)
3. Parámetros en relación con el segmento ST:
  - Comienzo de la depresión a una frecuencia cardíaca espontánea menor de 100 lat/min o 4-5 MET
  - Magnitud de la depresión > 0,2 mV (salvo situaciones especiales)
  - Duración de la depresión hasta el sexto minuto de la recuperación
  - Elevación del segmento ST (a excepción de aVR y en derivaciones con infarto previo)
4. Inversión de la onda U
5. Desarrollo de taquicardia ventricular
6. Disminución de la presión arterial sistólica más de 10 mmHg que se mantiene a pesar de incrementar la intensidad del ejercicio, acompañada de síntomas de bajo gasto