

# CARDIOLOGÍA

---

## PRUEBA DE ESFUERZO CONVENCIONAL.

**Delgado Montero, Antonia.**

Coordinador: **Francisco Fernández-Avilés Díaz,**



# Índice

---

## **1 Prueba de esfuerzo convencional.**

- 1.1 Metodología.
- 1.2 Valoración de la prueba de esfuerzo.

## **2 Ergoespirometría.**

- 2.1 Fisiología del ejercicio.
- 2.2 Parámetros obtenidos en una ergoespirometría.
- 2.3 Pasos para evaluar una ergoespirometría.

## **3 Test de los 6 minutos.**

## **4 Pruebas de imagen de estrés farmacológico.**

- 4.1 Mecanismos fisiopatológicos.
- 4.2 Metodología.

## **5 Indicaciones de las pruebas de estrés.**

- 5.1 Valor diagnóstico de las pruebas de estrés.
- 5.2 Valor pronóstico de las pruebas de estrés.

## **6 Bibliografía.**

# 1. Prueba de esfuerzo convencional

La realización de un esfuerzo bajo control médico permite valorar la respuesta cardiovascular ante dicho esfuerzo y detectar alteraciones con fines diagnósticos, terapéuticos o pronósticos (Tabla 1).

Objetivo diagnóstico	Objetivo pronóstico
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudio de dolor torácico</li> <li>- Estudio de síntomas sugestivos de cardiopatía isquémica</li> <li>- Factores de riesgo para enfermedad coronaria</li> <li>- Grupos de población de alto riesgo o profesiones con riesgo para la vida de los demás (pilotos, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valoración funcional de cualquier cardiopatía, isquémica, reumática o congénita</li> <li>- Arritmias y trastornos de conducción</li> <li>- Miocardiopatías</li> <li>- Hipertensión arterial</li> <li>- Seguimiento de rehabilitación cardíaca</li> <li>- Resultado de un tratamiento</li> <li>- Farmacológico</li> <li>- Quirúrgico</li> <li>- Intervencionista</li> <li>- Valoración o estratificación pronóstica</li> <li>- Iniciar un programa de entrenamiento físico</li> </ul>

**Tabla 1.** Indicaciones generales de la prueba de esfuerzo.

## 1.1. Metodología

El tapiz rodante, cinta sin fin o treadmill es el método de esfuerzo más ampliamente utilizado, el ejercicio es más fisiológico y se utiliza un mayor número de grupos musculares; como inconvenientes el aparato es más costoso y voluminoso, y el registro del ECG puede artefactarse por el movimiento. Los protocolos en cinta rodante producen un consumo de oxígeno un 10-20% mayor que los protocolos en cicloergómetro. Los protocolos que se utilizan habitualmente son escalonados o multietapas, compuestos de varios estadios generalmente de unos 2-3 minutos de duración, con progresivo aumento de la carga (pendiente y velocidad); el nivel de esfuerzo más alto alcanzado es el que se corresponde con la capacidad funcional del paciente en estudio, como ocurre con el protocolo de Bruce (estadios de 3 minutos) o Naughton (estadios de 2 minutos). Se han incorporado protocolos en rampa o continuos, en el que los incrementos de cargas son en intervalos de 10-15 segundos, permitiendo mejor adaptación al esfuerzo y una medición más exacta del consumo de oxígeno y METS alcanzados.

El cicloergómetro es un equipo menos voluminoso en el que el registro del ECG permanece más estable, existen también protocolos escalonados (WHO) o en rampa, la respuesta cronotropa suele ser menos intensa y se logra un mayor incremento de la PA.

Fase	Duración (min)	Velocidad (km/h)	Pendiente (porcentaje)	MET
1	3	2.7	19	4.6
2	3	4	12	7
3	3	5.5	14	10.3
4	3	6.8	16	13.6
5	3	8.1	18	15
6	3	8.8	20	17
7	3	9.7	22	19.5

**Tabla 2a.** Protocolo de Bruce.

Fase	Duración (min)	Velocidad (km/h)	Pendiente (porcentaje)	MET
1	2	3.2	0	2.5
2	2	3.2	3.5	3.5
3	2	3.2	7	4.5
4	2	3.2	10.5	5.4
5	2	3.2	14	6.4
6	2	3.2	17.5	7.4
7	2	3.2	21	8.3

**Tabla 2b.** Protocolo de Naughton.

La duración óptima de la prueba está estimada entre 6 y 12 min, en general debe estar limitado por la aparición de fatiga o síntomas habiendo alcanzado la frecuencia cardíaca (FC) más alta posible, aunque el objetivo a alcanzar dependerá de la indicación de la prueba. Se define como FC máxima teórica aquella calculada como 220 menos la edad del paciente en años, y sirve como un indicador relativo de haber alcanzado un ejercicio máximo, aunque no debe ser el criterio único utilizado. Al 85% de la FC máxima teórica se le define como FC submáxima, y es la mínima FC que se trataba de alcanzar clásicamente para considerar la prueba concluyente. Para valorar el grado de fatiga alcanzado en una prueba se usa la escala de percepción subjetiva de esfuerzo mediante la escala de Borg (Tabla 3).

Escala de Borg		Escala modificada de Borg	
Valor	Apreciación	Valor	Apreciación
6		0	Nada
7	Muy muy leve	1	Muy leve
8		2	Leve
9	Muy leve	3	Moderada
10		4	Algo fuerte
11	Considerablemente leve	5	Fuerte o intensa
12	Medianamente dura	6	
13		7	Muy fuerte
14	Dura	8	
15		9	
16	Muy dura	10	Muy muy fuerte
17			
18	Muy muy dura		
19			
20			

**Tabla 3.** Escalas para medir la percepción subjetiva de esfuerzo.

Durante el esfuerzo se monitoriza el registro de ECG, frecuencia cardíaca (FC), presión arterial (PA) y la aparición de síntomas. Se debe tener en cuenta las contraindicaciones para realizar la prueba (Tabla 4) y criterios de finalización (Tabla 5).

Contraindicaciones absolutas	Contraindicaciones relativas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Infarto agudo de miocardio (menos de 7-10 días*)</li> <li>- Angina inestable o prolongada</li> <li>- Miocarditis/pericarditis aguda</li> <li>- Arritmias graves (no controladas o no tratadas)</li> <li>- Insuficiencia cardíaca</li> <li>- Estenosis aórtica grave sintomática</li> <li>- Lesiones de tronco (o equivalentes) conocidas</li> <li>- HTA mayor de 230/130 mmHg</li> <li>- Bloqueo auriculoventricular de 2º o 3er grado (sintomático)</li> <li>- Infecciones agudas, endocarditis</li> <li>- Hipertiroidismo</li> <li>- Anemia grave</li> <li>- Embolia reciente</li> <li>- Tromboflebitis aguda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estenosis valvular moderada</li> <li>- Anormalidades electrolíticas</li> <li>- Hipertensión arterial severa (PAS &gt;200 y/o PAD &gt;110 mmHg)</li> <li>- Taquiarritmias o bradiarritmias</li> <li>- Miocardiopatía hipertrófica u otras formas de obstrucción al tracto de salida de ventrículo izquierdo</li> <li>- Bloqueo auriculoventricular de segundo o tercer grados</li> </ul>

**Tabla 4.** Contraindicaciones para la prueba de esfuerzo. HTA: hipertensión arterial, PAD: presión arterial diastólica, PAS: presión arterial sistólica, \*en guías americanas limitan a 2 días post IAM.

Absolutas	Relativas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Petición del paciente</li> <li>- Angina grave (mayor que la habitual)</li> <li>- Elevación del segmento ST sin ondas Q o complejos QS de infarto previo</li> <li>- Infarto agudo de miocardio (o sospecha)</li> <li>- Caída de la presión arterial acompañada de síntomas o a valores inferiores a los basales</li> <li>- Aparición de arritmias graves: extrasistolia ventricular de densidad creciente, apareada o en salvas, taquicardia ventricular sostenida, bloqueo auriculoventricular de 2º o 3er grado</li> <li>- Signos de hipoperfusión: palidez, cianosis, piel fría y húmeda</li> <li>- Síntomas del SNC: ataxia, vértigo, problemas visuales o confusión</li> <li>- Problemas técnicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descenso horizontal o de pendiente descendente del segmento ST de más de 2 mm en presencia de angina</li> <li>- Descenso horizontal o de pendiente descendente del segmento ST de más de 3 mm sin angina</li> <li>- Respuesta hipertensiva, PAS &gt;250 mmHg o PAD &gt;130 (para algunos autores PAS hasta 260 mmHg)</li> <li>- Cualquier dolor torácico de intensidad creciente</li> <li>- Intensa fatiga muscular o disnea</li> <li>- Arritmias supraventriculares</li> <li>- Claudicación intermitente o calambres musculares de las piernas</li> <li>- Aparición de bloqueo de rama izquierda indistinguible de taquicardia ventricular</li> <li>- Anormal respuesta cronotrópica (imposibilidad de aumentar FC o aumento desproporcionado a la carga)</li> <li>- Falta de adaptación o de colaboración</li> </ul>

**Tabla 5.** Criterios de finalización de la prueba de esfuerzo.

La aparición de complicaciones mayores es rara, se estima una mortalidad inferior a 1 por 50000 pruebas; la incidencia de complicaciones no fatales, como infarto de miocardio, es menor de 4 por 10000, y la de arritmias ventriculares graves es aproximadamente del 0,05 %, y en pacientes con historia de taquicardia o fibrilación ventricular, del 2 %. Las complicaciones menores ocasionales pueden ser una respuesta cronotropa excesiva o insuficiente, extrasistolia ventricular, arritmias supraventriculares o hipertensión arterial.

## 1.2. Valoración de la prueba de esfuerzo

La interpretación de la prueba de esfuerzo nos aportará información sobre

- Diagnóstico de isquemia miocárdica (basada en respuesta electrocardiográfica y clínica).
- Valoración de la capacidad funcional.
- Estratificación pronóstica.

### Respuesta electrocardiográfica

Con electrocardiograma en reposo normal:

- **Descenso del segmento ST:** Un descenso del segmento ST igual o mayor de 0,1 mV (1 mm) medido a los 80 milisegundos del punto J (unión del complejo QRS con el segmento ST) es el criterio diagnós-

tico por excelencia de isquemia miocárdica, y define la prueba como positiva eléctricamente. Es más específico el descenso de pendiente horizontal o descendente frente a la pendiente ascendente para diagnosticar isquemia. El descenso del ST exclusivamente en derivaciones inferiores tiene menor valor diagnóstico. Las derivaciones V4-V6 aportan el 80% de la información diagnóstica sobre la depresión del segmento ST inducida por el esfuerzo.

▮ Elevación del segmento ST. Indica isquemia transmural grave y es indicación de detener la prueba. Normalmente asocia lesiones obstructivas, en un número pequeño de casos los pacientes no tienen lesiones obstructivas y se debe a vasoespasmos (angina de Prinzmetal). Si la elevación del segmento ST ocurre en derivaciones con ondas Q o complejos QS indicativos de un infarto de miocardio previo, suelen expresar disquinesia segmentaria en el ventrículo izquierdo, aunque algunos estudios han propuesto que puede ser un marcador de viabilidad miocárdica residual en dichos territorios.

▮ Otras alteraciones: el aumento del voltaje de la onda R puede traducir isquemia miocárdica, pero la sensibilidad es mucho menor que el descenso del ST. Normalmente, el voltaje de la onda R suele disminuir ligeramente con el esfuerzo. La inversión de la onda T, la inversión de la onda U, etc., tienen una especificidad tan baja que prácticamente no se tienen en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

▮ En ocasiones se producen alteraciones eléctricas sugestivas de isquemia por otras causas (falsos positivos eléctricos) (Tabla 6).

Con ECG en reposo anormal (sobrecarga ventricular, fármacos...), presente en un tercio de los pacientes, los cambios adicionales en la repolarización no tienen valor diagnóstico ninguno.

Arritmias y trastornos de conducción. Hasta un 60% de los pacientes pueden desarrollar algún tipo de arritmia inducida por el esfuerzo, la más frecuente la extrasistolia ventricular aislada o en forma de bigeminismo, que no aumenta el riesgo ni requiere otras pruebas. Las arritmias ventriculares complejas (extrasistolia ventricular polimorfa, dobletes o taquicardia ventricular) especialmente con bajo nivel de carga (<5METS) sí pueden estar relacionadas con enfermedad coronaria grave y deben valorarse con otras exploraciones. Hay algunas discrepancias entre la aparición de TV con el esfuerzo y peor pronóstico. La aparición de arritmias supraventriculares con el esfuerzo no indica peor pronóstico y los pacientes deben ser valorados de forma habitual.

Bloqueos de rama inducidos por el esfuerzo. La aparición de bloqueo completo de rama izquierda del haz de His (BCRIHH) inducido por el esfuerzo puede asociarse a lesiones coronarias especialmente si aparece a FC bajas (<125 lpm) y si se acompaña de síntomas de angina. La aparición de bloqueo completo de rama derecha del Haz de His (BCRDHH) dependiente de la frecuencia es menos común, habitualmente no tiene relación con la existencia de cardiopatía orgánica y suele presentarse en pacientes con enfermedad pulmonar.

**RECUERDA**

El descenso del ST igual a mayor a 1 mm a 80 ms del punto J define la prueba como positiva eléctricamente.

Cardiopatía isquémica sin obstrucción coronaria	Espasmo coronario, trayecto intramiocárdico con milking de la arteria
Sobrecarga de volumen o presión sobre el ventrículo izquierdo	Estenosis aórtica, Miocardiopatía hipertrófica, Hipertensión arterial Insuficiencia aórtica, Insuficiencia mitral, shunts izquierda a derecha, fístulas arterio-venosas
Aporte disminuido de oxígeno	anemia, gasto cardíaco bajo (estenosis mitral), EPOC, hemoglobinopatías
Alteraciones metabólicas y electrolíticas	Hipopotasemia, Hiperglucemia
Acción de fármacos	Digital, Quinidina, Diuréticos
Alteraciones basales de la repolarización	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trastornos de conducción intraventricular (bloqueo de rama izquierda)</li> <li>- Preexcitación (Wolff-Parkinson-White)</li> <li>- Marcapasos</li> <li>- Hipertrofia ventricular izquierda</li> <li>- Ortostatismo e hiperventilación positivos</li> <li>- Presencia de descenso ST en ECG basal <math>\geq 0.1\text{mV}</math></li> </ul>
Miocardiopatía	
Prolapso de la válvula mitral	
Artefacto por equipo de registro inapropiado o defectuoso	
Sexo femenino (baja incidencia de la enfermedad/concentración de estrógenos)	

**Tabla 6.** Causas de falso positivo eléctrico.

## Respuesta clínica

▮ **Angina.** La aparición de angina típica define a una prueba de esfuerzo como **clínicamente positiva**. Hay un 30-40% de pacientes con isquemia silente, es decir con ausencia de clínica en una prueba de esfuerzo eléctricamente positiva.

▮ **Alteraciones hemodinámicas.** La aparición durante el esfuerzo de síntomas como disnea o fatiga muscular intensas y desproporcionadas al esfuerzo realizado, mareo, etc., pueden ser expresión de un gasto cardíaco inadecuado. La excesiva taquicardización con el esfuerzo submáximo puede deberse a desacondicionamiento, anemia, y, más raramente, a disfunción ventricular izquierda.

## Respuesta de PA con el esfuerzo

La presión arterial sistólica debe aumentar con el esfuerzo al menos 10 mmHg con cada MET sin sobrepasar los 210 mmHg al finalizar.

La hipotensión inducida por el esfuerzo se define como la caída de la presión arterial durante el esfuerzo hasta valores inferiores a los basales. Indica disfunción ventricular izquierda, por isquemia global del ventrículo izquierdo u otra causa, puede evolucionar hacia la presentación de síncope y es indicación de terminar la prueba. Se asocia frecuentemente a enfermedad de tres vasos o de tronco o a obstrucción en TSVI. En la recuperación, puede existir hipotensión sintomática debido a vasodilatación periférica sobre todo si el esfuerzo ha sido importante, lo que no tiene trascendencia clínica alguna.

La respuesta hipertensiva se considera como tal una presión arterial sistólica superior a los 210 mmHg y una presión arterial diastólica superior a 100 mmHg en el máximo esfuerzo o postesfuerzo inmediato, y se estima que entre un 10-25 % de los individuos con esta respuesta serán hipertensos en los siguiente 5-10 años. En sujetos normotensos es un factor predictivo de futura HTA en reposo.

## Capacidad funcional

Se suele expresar en tiempo de ejercicio y en equivalentes metabólicos (MET) que corresponden a 3,5 ml/kg/min de  $\text{VO}_2$  y que permiten la comparación entre los diferentes protocolos. También puede expresarse mediante el doble producto (DP), considerado un indicador del consumo miocárdico de oxígeno, que se calcula multiplicando el valor de la FC y de la presión arterial sistólica (PAS) al final del esfuerzo (normal  $>25000$ ).

## Estratificación pronóstica

La realización de una ergometría convencional aporta información pronóstica en relación con la capacidad funcional alcanzada, así como marcadores de isquemia que se han asociado a mayor mortalidad cardiaca. Tabla 7.

Criterios
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Síntomas (disnea o angina) limitantes del ejercicio a cargas bajas (estadio I en el protocolo de Bruce para la mayoría de los pacientes)</li> <li>- Síntomas limitantes a baja FC (&lt;100 latidos/min sin tratamiento frenador)</li> <li>- Parámetros en relación con el segmento ST:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comienzo de la depresión a una frecuencia cardíaca espontánea menor de 100 lat/min o 4-5 MET</li> <li>- Magnitud de la depresión &gt; 0,2 mV (salvo situaciones especiales)</li> <li>- Duración de la depresión hasta el sexto minuto de la recuperación</li> <li>- Elevación del segmento ST (a excepción de aVR y en derivaciones con infarto previo)</li> </ul> </li> <li>- Desarrollo de taquicardia ventricular</li> <li>- 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</li> </ul>

**Tabla 7.** Criterios de mal pronóstico en la prueba de esfuerzo.

Es habitual el uso del score de Duke en las ergometrías realizadas con protocolo de Bruce, que permite predecir la mortalidad anual en base a una puntuación obtenida de la duración del test, magnitud en la depresión del segmento ST y un índice de angina. Tabla 7.

Índice de Duke = Min - (5 x DST en mm) - (4 x IA)		
≥+5	Riesgo bajo	Supervivencia a 5 años 97%
<+5 y ≥-10	Riesgo intermedio	Supervivencia a 5 años 91%
<-10	Riesgo alto	Supervivencia a 5 años 72%

**Tabla 8.** Cálculo e interpretación del índice de Duke DST: descenso del ST, IA: índice de angina (0 sin angina, 1 angina en esfuerzo, 2 angina limitante), Min; tiempo de esfuerzo en minutos del protocolo de Bruce.

La respuesta cronotropa en el esfuerzo tiene poder pronóstico, que puede valorarse por diferentes parámetros: FC alcanzada, el porcentaje de FC máxima teórica para la edad alcanzado o el índice de respuesta cronotropa (IRC). El IRC se calcula en relación con la FC de reserva y se considera una respuesta normal cuando se utiliza el 80% o más de la FC de reserva. Se define incompetencia cronotropa como la incapacidad de utilizar al menos el 80% de la FC de reserva (FCR, 220-edad-FCB).

$$\text{IRC} = \text{FCM} - \text{FCB} / 220 - \text{edad} - \text{FCB}$$

**Tabla 9.** IRC: índice de respuesta cronotropa, FCB: FC basal o en reposo, FCM: FC máxima alcanzada.

Al finalizar el esfuerzo, la recuperación de la FC es consecuencia del incremento del tono parasimpático, considerándose anormal una recuperación de la FC ≤12 latidos en el primer minuto de la recuperación, que ha sido descrito como marcador pronóstico.

## 2. Ergoespirometría

La prueba de esfuerzo cardiopulmonar o ergoespirometría completa la prueba de esfuerzo en cinta o cicloergómetro con el análisis de gas espirado. El paciente respira aire ambiente portando una máscara que analiza las concentraciones de oxígeno que consume y el dióxido de carbono que genera, además de los volúmenes de aire movilizados. El consumo máximo de oxígeno depende del correcto funcionamiento e interacción entre los sistemas cardiovascular, pulmonar y musculoesquelético, por lo que la ergoespirometría nos permitirá analizar el funcionamiento de estos sistemas, además de facilitar parámetros con un valor pronóstico en diferentes cardiopatías.

Las utilidades de la ergoespirometría se describen en la tabla 10.

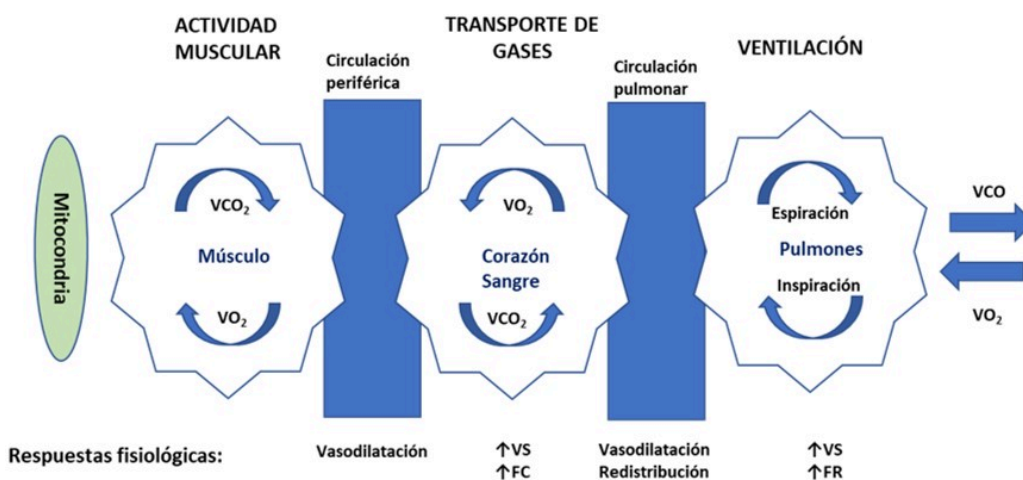
Utilidades de la ergoespirometría
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valoración objetiva de la capacidad funcional del paciente</li> <li>- Estudio de la fisiopatología que subyace a los procesos que limitan la capacidad cardiorrespiratoria</li> <li>- Estratificar riesgo individual</li> <li>- Parámetros pronósticos en IC, HTP</li> <li>- Indicación de trasplante, cirugía (valvulares, cardiopatías congénitas)</li> <li>- Planificar programas de ejercicio (rehabilitación cardiaca)</li> <li>- Valorar efectividad de las intervenciones terapéuticas</li> </ul>

**Tabla 10.** Utilidad de la ergoespirometría. IC: insuficiencia cardiaca, HTP: hipertensión pulmonar.

Las indicaciones y contraindicaciones de la prueba son similares a la ergometría convencional, añadido la evidencia de desaturación grave al esfuerzo (<80%). Para la interpretación, se analizan parámetros clínicos, electrocardiográficos, hemodinámicos (FC y PA), saturación, y los diversos parámetros obtenidos de la ergoespirometría.

### 2.1. Fisiología del ejercicio

Durante el ejercicio físico aumenta la demanda de oxígeno del músculo cardiaco y esquelético, lo que induce estímulos a nivel respiratorio, cardiaco y vascular periférico para lograr mantener el aporte energético adecuado utilizando los sustratos metabólicos necesarios y asegurar el flujo necesario hacia los órganos vitales (que se eleva hasta 10 veces respecto al reposo). Imagen 1.



**Imagen 1.** Representación gráfica del acoplamiento durante el ejercicio de la ventilación pulmonar, el transporte de gases y la respiración celular.

Para la actividad muscular se precisa de energía que se obtiene del adenosin trifosfato (ATP) mediante tres sistemas energéticos que se combinan a lo largo del ejercicio, dependiendo de la intensidad y duración de este:

1. Vía de los fosfágenos o sistema anaeróbico aláctico: utiliza las reservas de fosfocreatina del propio musculo, almacenada en las fibras rápidas musculares. Se obtiene ATP de forma rápida, sin precisar oxígeno, dura unos pocos segundos y permite realizar un ejercicio de muy alta intensidad en poco tiempo.
2. Vía anaeróbica láctica o vía de Embden-Meyerhof: utiliza los hidratos de carbono como sustrato dando lugar a ácido láctico e hidrogeniones que son tamponados por el bicarbonato produciéndose CO<sub>2</sub> para mantener el equilibrio acido-base. Permite realizar movimientos rápidos de intensidad submáxima.
3. Vía aeróbica o fosforilación oxidativa. Es la vía predominante de los ejercicios de intensidad moderada, ocurre en las mitocondrias y precisa de oxígeno, utilizando como sustrato principal los lípidos, los hidratos de carbono (glucolisis aeróbica u oxidación celular) y en menor medida proteínas.

Al comenzar un ejercicio se utiliza la vía de los fosfágenos que se agota rápidamente, pasando a predominar la vía aeróbica con mayor uso de lípidos, si el ejercicio se prolonga o aumenta su intensidad, pasa a predominar la glucolisis anaeróbica. En un ejercicio progresivo la zona de transición entre el metabolismo aeróbico y anaeróbico se denomina primer umbral ventilatorio o umbral anaeróbico (VT1), en este punto comienza a acumularse ácido láctico que va a ser tamponado por el bicarbonato, aumentando la producción de CO<sub>2</sub>. Se producen entonces algunas adaptaciones para eliminar esta mayor cantidad de CO<sub>2</sub> producido: aumenta el volumen corriente, la frecuencia respiratoria y la FC. Si continúa aumentando la intensidad del ejercicio se alcanza el segundo umbral ventilatorio (VT2) en el que aumenta mucho más el metabolismo anaerobio, la producción de CO<sub>2</sub> y aparece la acidosis por disminución del pH sanguíneo.

El aumento del consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) depende de dos factores según la fórmula de Fick:

$$VO_2 = GC \times D(a-v)O_2$$

$$GC = VS \times FC$$

GC: gasto cardiaco es el factor central, equivale al producto del volumen sistólico y la frecuencia cardiaca

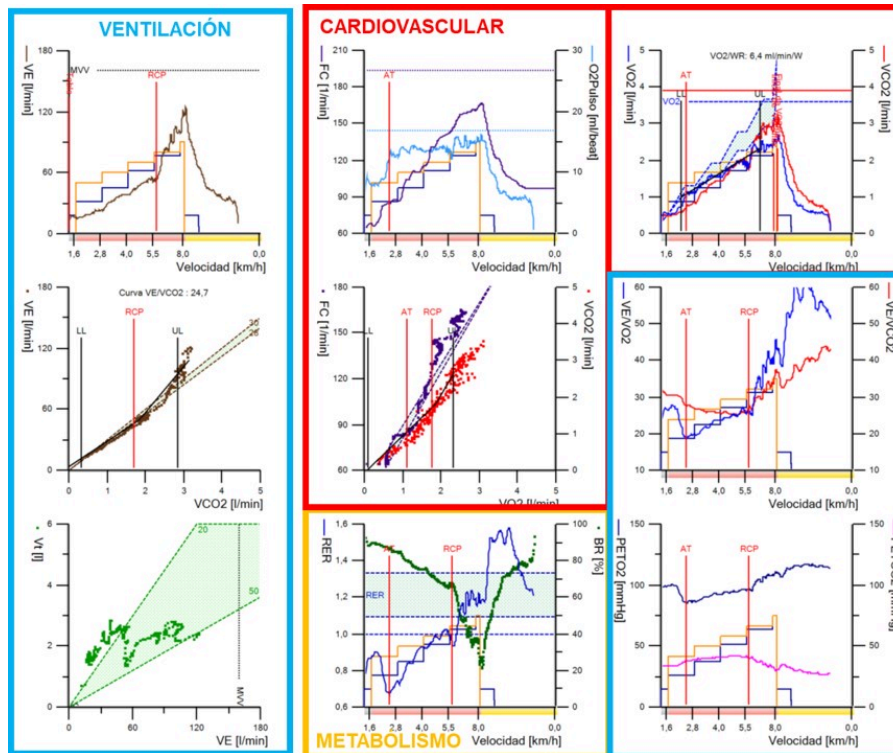
D(a-v)O<sub>2</sub>: diferencia arteriovenosa de oxígeno, que a su vez depende de factores que influyen en el O<sub>2</sub> en sangre arterial (ventilación, perfusión alveolar, difusión, transporte en la Hemoglobina) y en sangre venosa (utilización de oxígeno a nivel periférico).

El ejercicio, al producir un aumento de la demanda de oxígeno, hace que el organismo incremente su aporte, lo que se consigue elevando el gasto cardíaco y la diferencia arteriovenosa de éste. Se incrementa el volumen sistólico y la FC para acelerar el transporte de O<sub>2</sub> hacia los músculos y del CO<sub>2</sub> hacia los pulmones. El aparato respiratorio aumenta la ventilación por minuto (VE) para aumentar el intercambio de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, inicialmente lo consigue aumentando el volumen corriente (volumen tidal) y posteriormente de forma más importante la frecuencia respiratoria. La ventilación se hace más eficiente al reclutar alveolos bien ventilados y perfundidos, por lo que disminuye el espacio muerto pulmonar.

A nivel periférico se produce vasodilatación arterial y aumenta la extracción de oxígeno en el músculo periférico, que hace aumentar la diferencia arteriovenosa hasta un nivel de intensidad determinado, a partir del cual cualquier aumento del VO<sub>2</sub> se hará a expensas del GC.

## 2.2. Parámetros obtenidos en una ergoespirometría

Existen parámetros obtenidos de forma directa o indirecta, que hacen referencia a la capacidad funcional, a la respuesta cardiovascular, respiratoria o sobre el metabolismo energético. Para facilitar la interpretación de estos parámetros se representan gráficamente en sistemas como las nueve gráficas de Wasserman. Imagen 2.



**Imagen 2.** Las nueve gráficas de Wasserman. Se numeran de arriba abajo y de izquierda a derecha. Las gráficas 1, 4, 6, 7, 8, 9 hacen referencia a la ventilación, la 2, 3, y 5 al sistema cardiovascular, y la 8 a los procesos metabólicos energéticos.

### Consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ )

Máxima capacidad del organismo para extraer, transportar y utilizar oxígeno del aire inspirado por unidad de tiempo durante la realización de un esfuerzo. Se expresa en ml/min, ml/Kg/min o porcentaje del valor predicho para la edad, sexo, peso y altura del paciente. También puede expresarse en unidades metabólicas (MET) dividiendo el  $VO_2$  por 3.5. Se trata de un indicador de la capacidad de ejercicio del individuo. Para su determinación se debe alcanzar una meseta en la curva de  $VO_2$  en un ejercicio incremental (criterio de máxima intensidad).

EL  $VO_2$  pico es un marcador pronóstico universal, su valor depende de condicionantes genéticos, edad (máximo entre los 18 y 25 años), sexo, peso y composición corporal, grado de entrenamiento, situación musculoesquelética, función cardíaca y pulmonar; además está influenciado por la cantidad de masa muscular en movimiento durante el ejercicio (en tapiz el  $VO_2$  alcanzado es aproximadamente un 10% más que en cicloergómetro). Los valores normales en personas sedentarias oscilan en 30-40 mL/kg/min (mujer) o 35-45 mL/kg/min (hombre).

### Consumo pico de oxígeno ( $VO_{2pico}$ )

Cantidad de oxígeno que el organismo extrae del aire inspirado por una unidad de tiempo en un esfuerzo realizado hasta la máxima intensidad tolerada. Se utiliza cuando no se puede medir el  $VO_{2max}$ . Se expresa igual que  $VO_{2max}$ .

## Producción de dióxido de carbono ( $VCO_2$ )

Cantidad de  $CO_2$  eliminada por el organismo por unidad del tiempo (ml/min).

## Cociente respiratorio (RER) = $VCO_2/VO_2$

Es la relación entre el volumen de  $CO_2$  eliminado y el consumo de  $O_2$  (Respiratory gas Exchange Ratio). Indica las condiciones ventilatorias en cada nivel de ejercicio, siendo una medida objetiva del grado de esfuerzo realizado: en reposo se encuentra entre 0.7-0.8, un valor  $<1$  indica un esfuerzo pobre y más de 1.2 un esfuerzo excelente.

## Primer umbral ventilatorio (VT1) o Umbral anaeróbico

Intensidad de ejercicio o valor de  $VO_2$  por encima del cual comienza la producción anaeróbica de energía: aumenta 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. Habitualmente se sitúa en el 50-60% del  $VO_{2max}$  predicho. Se encuentra disminuido o adelantado ( $<40\%$ ) en pacientes con IC o con cualquier condición que limite la cantidad de  $O_2$  que llega a las mitocondrias para cubrir las necesidades metabólicas. Es un parámetro submáximo indicador de la capacidad funcional del sujeto independiente de la motivación. Un valor de  $VO_2$  en VT1  $<14$  ml/kg/min se asocia a mal pronóstico en la IC.

Se puede calcular el VT1 de forma invasiva midiendo los niveles de lactato o de modo no invasivo, por el método de los equivalentes, de las presiones parciales o del  $v$  slope (disociación de la pendiente de la recta  $VCO_2/VO_2$ ).

## Pulso de oxígeno ( $PO_2$ )

cantidad de oxígeno que se consume por cada latido ( $VO_2/FC$ ). Se valora tanto el número absoluto como la morfología de la curva. Es un indicativo del gasto cardiaco según la ecuación de Fick. El pulso de oxígeno tiene una relación directa con el volumen sistólico o volumen latido sobre todo en fases avanzadas del ejercicio ya que pasado el primer umbral llega un punto en que la diferencia arteriovenosa no puede aumentar más y entonces cualquier incremento o decremento del pulso de oxígeno va a reflejar cambios del volumen sistólico.

$$\begin{aligned}
 VO_{2max} &= GC \times D(a-v) \\
 GC &= VS \times FC \\
 \text{Pulso de } O_2 &= VO_{2max} / FC = VS \times D(a-v)O_2
 \end{aligned}$$

**Imagen 3.** La relación entre el  $PO_2$  y el volumen sistólico se entiende al dividir los dos lados de la ecuación de Fick por la frecuencia cardiaca (FC).

En sujetos sanos aumenta progresivamente durante la prueba hasta cerca del  $VO_{2max}$  donde hay una meseta fisiológica, la meseta precoz o incluso descenso indica una respuesta patológica.

## Equivalentes ventilatorios para el oxígeno ( $EqO_2 = VE/VO_2$ ) y para el $CO_2$ ( $EqCO_2 = VE/VCO_2$ )

Representan la cantidad de aire en ml que deben ventilarse para consumir un ml de oxígeno y eliminar un ml de  $CO_2$  respectivamente. Cuanto menor sea su valor, mayor **eficiencia ventilatoria**, estando alterados en patologías con alteración de la ventilación-perfusión (hipertensión pulmonar o enfermedad tromboembólica). El primer umbral ventilatorio se define como el punto más bajo del  $VE/VO_2$ , momento de máxima eficiencia ventilatoria, a partir del cual comienza a subir. En el segundo umbral ventilatorio empieza a aumentar el  $VE/VCO_2$ .

	$VE/VO_2$	$VE/VCO_2$
Normal	$\leq 40$ al final ejercicio	$\leq 34$ en VT1, $< 40$ al final
Insuficiencia cardíaca	$> 40$ a final ejercicio (mayor: peor situación clínica)	$> 34$ en VT1 (mayor: peor situación clínica)
Miopatía mitocondrial	$> 50$ a final ejercicio	
Hipertensión pulmonar	Aumento progresivo	Aumento progresivo

**Tabla 11.** Valores de normalidad y patológicos de los equivalentes ventilatorios.

## $PetO_2$ y $PetCO_2$

Representan la presión parcial de  $O_2$  o  $CO_2$  al final de la espiración. A menor  $PetO_2$ , y mayor  $PetCO_2$  mayor **eficiencia ventilatoria**. La  $PetO_2$  disminuye con ejercicio a medida que aumenta eficiencia respiratoria y comienza a aumentar desde el VT1. La  $PetCO_2$  en reposo se encuentra entre 36-42mmHg, aumenta desde el inicio ejercicio hasta VT1 y poco después alcanza una meseta disminuyendo a partir del VT2. Un valor en reposo  $< 33$  mmHg es un marcador de mal pronóstico.

## Pendiente (slope) $VE/VCO_2$

La pendiente del cociente entre la ventilación por minuto y la eliminación de  $CO_2$  es otro marcador de eficiencia ventilatoria. Este parámetro evalúa el correcto acoplamiento V/Q (ventilación/perfusión), que ofrece de manera visual cual es la necesidad de hiperventilación para eliminar el aumento del  $CO_2$  producido, que se produce paralelo al aumento de la carga de trabajo. Su valor normal es  $< 30$  con un ligero aumento con la edad. Se ha desarrollado una clasificación pronóstica en pacientes con IC denominado clase ventilatoria, relacionado con efectos adversos (muerte, hospitalización, tiempo hasta trasplante). La **clase ventilatoria** ha demostrado valor pronóstico en la IC, miocardiopatía hipertrófica, HTP y enfermedad intersticial pulmonar.

Clase ventilatoria	Slope $VE/VCO_2$	Riesgo de eventos adversos a 2 años
I	$< 30$	$< 5\%$
II	30-35.9	15%
III	36-44.9	30%
IV	$\geq 45$	$> 50\%$

**Tabla 12.** Clase ventilatoria.

## Respuesta oscilante de la ventilación

Constituye una respuesta anormal de la ventilación en el que se observan oscilaciones cíclicas en las gráficas de la ventilación. No se conoce bien su fisiopatología (bajo gasto, disfunción autonómica y alteraciones en los quimiorreceptores ventilatorios carotídeo y aórtico), pero constituye un marcador de mal pronóstico en pacientes con IC.

## Ventilación pulmonar por minuto (VE)

Es el volumen de aire espirado en lmin, calculado como volumen corriente ( $V_t$ ) x Frecuencia respiratoria (FR). Hace referencia a la capacidad ventilatoria del individuo y a su adaptación física al esfuerzo, al comienzo del esfuerzo aumenta por aumento del volumen corriente, posteriormente por aumento de FR.

## Vd/Vt: cociente espacio muerto fisiológico/volumen corriente

Pone de manifiesto alteraciones en el intercambio gaseoso y en la relación ventilación/perfusión, por lo que es un parámetro de eficiencia ventilatoria. A menor valor, mayor eficiencia.

## Reserva ventilatoria (BR)

Razón entre la ventilación máxima por minuto y la máxima ventilación voluntaria:  $1 - VE / MVV$ . La MVV o capacidad respiratoria máxima se puede medir por espirometría, o estimar a partir de edad, sexo y altura o a través de la fórmula  $VEF1 \times 40$ ; donde VEF1 es el volumen espiratorio forzado en 1 segundo. Su valor normal oscila entre 30-50%, valores inferiores al 20% se observan en afectación pulmonar o en ocasiones en atletas muy entrenados.

## Pendiente de la eficiencia del consumo de oxígeno (OUES)

Se deriva de la relación logarítmica del consumo de  $O_2$  y la ventilación, siendo un índice de la efectividad con la que el  $O_2$  es extraído del aire ambiente y transportado al organismo. Tiene valor pronóstico en IC o HTP cuando disminuye su valor absoluto o porcentaje del predicho (punto de corte normal  $>1.4$ ). Junto al valor de  $VO_2$  en el VT1 es una medida submáxima y objetiva de la capacidad funcional.

## 2.3. Pasos para evaluar una ergoespirometría

### ¿Prueba valorable? ¿Máxima o submáxima?

#### Criterios para considerar prueba máxima:

- ▮  $RER \geq 1.1$  (o  $RER > 1.09$  a los 2 minutos de la recuperación).
- ▮ Meseta en la relación  $VO_2$ /carga.
- ▮  $FC \geq 90\%$  de FCMT.
- ▮ Escala Borg  $\geq 8$ .
- ▮ Lactato postesfuerzo  $\geq 8$ mmol/L.

### Cálculo de umbrales

Método V slope, Equivalentes,  $PetO_2$  y  $PetCO_2$

### Capacidad funcional y valores pronósticos

- ▮ Tiempo esfuerzo y carga alcanzada

- └ VO<sub>2</sub> pico o máximo y en UA
- └ OUES
- └ Clase de Weber
- └ Clase ventilatoria

VO <sub>2</sub> respecto al predicho	Capacidad funcional
≥100% (85-100%)	normal
70 - 85%	disminución leve
50-75%	disminución moderada
<50%	disminución severa

**Tabla 13.** Capacidad funcional según el valor del consumo de O<sub>2</sub> alcanzado respecto al predicho.

CLASE WEBER	VO <sub>2</sub> max (ml/min/kg)	Máx GC (L/min/m <sup>2</sup> )	VO <sub>2</sub> en UA (ml/min/kg)
A	>20	>8	>14
B	16 -20	6 - 8	11 - 14
C	10 - 15	4 - 6	8 - 11
D	6 - 9	2 - 4	5 - 8

**Tabla 14.** Clasificación de Weber para la IC en función del VO<sub>2</sub>.

### Valoración cardiológica

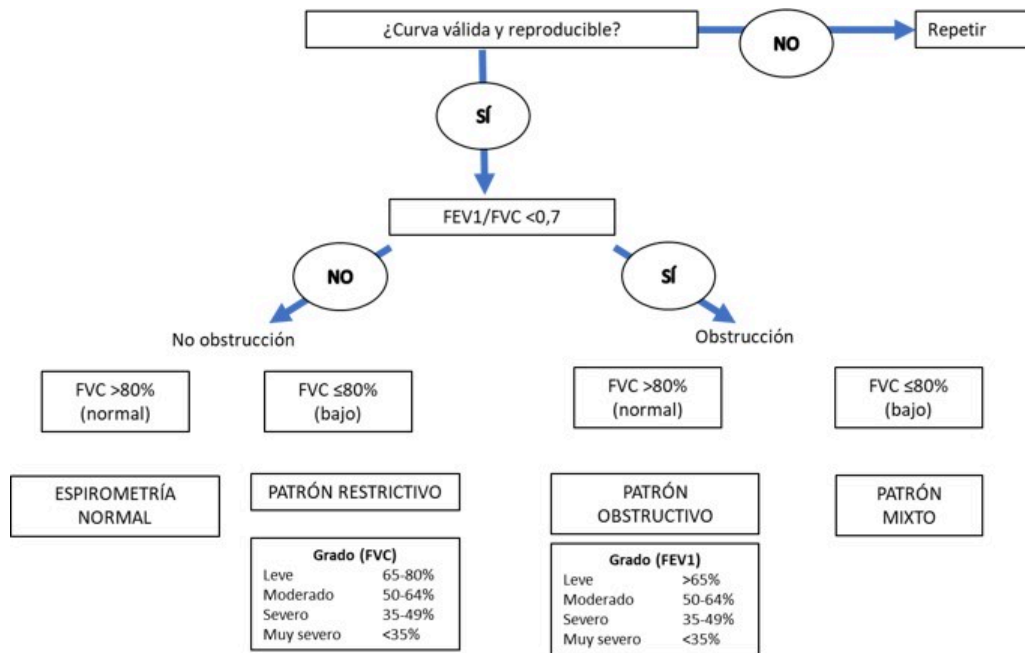
- └ Respuesta clínica.
- └ Respuesta eléctrica, arritmias.
- └ Respuesta hemodinámica (FC, PA).
- └ Pulso de oxígeno.

### Valoración respiratoria

- └ Espirometría (Imagen 4).
- └ SatO<sub>2</sub>.
- └ Ventilación basal y máxima.
- └ Reserva respiratoria.
- └ Eficiencia respiratoria (eqCO<sub>2</sub> en UA, eqO<sub>2</sub> en máximo esfuerzo).

### Variables relación ventilación/perfusión

- └ Slope VE/VCO<sub>2</sub>.
- └ EqCO<sub>2</sub>.
- └ PetCO<sub>2</sub>, PetO<sub>2</sub>.



**Imagen 4.** Algoritmo de interpretación de la espirometría. FEV1: Volumen de aire espirado en el primer segundo de la espiración forzada durante una capacidad vital forzada (litros). FVC: capacidad vital forzada, volumen de aire movilizado durante una espiración forzada tras una inspiración forzada (litros). FEV1/FVC: porcentaje de aire de la FVC que espiramos en el primer segundo.

Parámetros	Limitación cardiovascular	Limitación pulmonar
VO <sub>2</sub> pico	Reducido	Reducido
Umbral ventilatorio	Reducido (<40%)	Normal o reducido Pueden no alcanzarlo
FC pico	Aumento rápido	Puede estar reducido
Pulso de O <sub>2</sub>	Reducido, con ascenso en meseta	Puede estar reducido
Reserva ventilatoria	>20%	<15%
FEV1 postesfuerzo	Igual que en reposo	Puede disminuir frente al reposo
Saturación O <sub>2</sub>	normal	Reducida
Eficiencia ventilatoria VE/VCO <sub>2</sub> o	Aumento de equivalentes de O <sub>2</sub> y VCO <sub>2</sub> Aumento de Vd/Vt	Aumento de equivalentes de O <sub>2</sub> y VCO <sub>2</sub> Aumento de Vd/Vt

**Tabla 15.** Diagnóstico diferencial de la disnea por ergoespirometría.

### 3. Test de los 6 minutos

Prueba de baja complejidad para determinar de forma objetiva la capacidad funcional del paciente, en la que se mide la distancia caminada durante 6 minutos en un pasillo de 30 metros. Se monitoriza la saturación de oxígeno, la FC y se determina la sensación subjetiva de disnea y de esfuerzo percibido del paciente (mediante la escala de Borg). El objetivo principal es la distancia recorrida en metros, la cual ha demostrado asociarse con el riesgo de hospitalización y muerte en pacientes con enfermedades respiratorias crónicas y con hipertensión pulmonar (bajo riesgo de eventos >440m, alto riesgo de eventos <165m).

El valor mínimo de saturación de O<sub>2</sub> durante la prueba se relaciona con la severidad de la enfermedad y pronóstico en enfermedades respiratorias.

Se debe tener mismas precauciones y contraindicaciones que con una prueba de esfuerzo.

## 4. Pruebas de imagen de estrés farmacológico

La limitación de la prueba de esfuerzo convencional es su baja sensibilidad para detectar isquemia, especialmente en pacientes con enfermedad de 1 vaso, bloqueo de rama izquierda, o datos de hipertrofia en el ECG.

Las pruebas de imagen de estrés combinan la imagen ecocardiográfica con estrés físico, farmacológico o eléctrico, pudiendo detectar isquemia miocárdica (empeoramiento en la función de una región con contractilidad normal en reposo) o viabilidad (mejoría con bajos niveles de estrés de la función de una región anormal en reposo). La ecocardiografía de estrés farmacológica para la detección de isquemia miocárdica debe reservarse para aquellos pacientes con riesgo bajo o moderado que no son capaces de deambular.

### 4.1. Mecanismos fisiopatológicos

La isquemia miocárdica se produce cuando hay una alteración entre el suministro de flujo coronario y la demanda metabólica, inicialmente se producen alteraciones metabólicas, seguidas por alteración de la función diastólica, función contráctil sistólica, alteraciones del ECG y finalmente la angina clínica (denominado cascada isquémica, imagen 5). La isquemia comienza en el subendocardio y se extiende hacia el epicardio.



**Imagen 5.** Cascada isquémica.

Existen dos mecanismos de provocación de isquemia:

- Aumento de la demanda de oxígeno, mediante el aumento de la FC, contractilidad, PA, volumen sistólico... bien sea con esfuerzo físico, con estimulación auricular o con fármacos inotrópicos (dobutamina).

↗ Redistribución de flujo, con fármacos vasodilatadores agonistas de los receptores de la adenosina (Dipiridamol o Adenosina agonistas no selectivos o Regadenosón agonista selectivo de los receptores A2A), que producen fenómeno de robo coronario al causar flujo heterogéneo y reducción del flujo al subendocardio.

Según la respuesta visualizada antes el estrés podremos diagnosticar varios estados del miocardio, normalmente necesitamos visualizar dos segmentos adyacentes con similar respuesta.

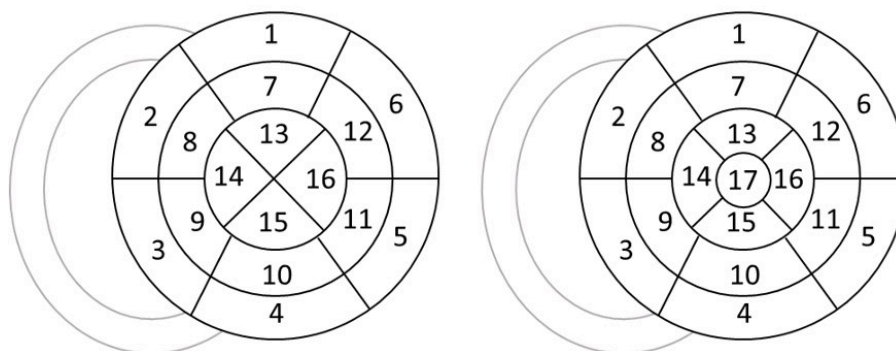
Miocardio en reposo ⇒ estrés	Diagnóstico
Normoquinético → Normo o Hiperquinético	Normal
Normoquinético → Hipo/A/Disquinético	Isquemia
Aquinético → Hipo/Normoquinético →Aquinético a altas dosis (Respuesta bifásica)	Viable (Aturdido) Hibernado (respuesta bifásica)
A/Disquinético → A/Disquinético	Necrosis

**Tabla 15.** Criterios diagnósticos en el ecocardiograma de estrés.

## 4.2. Metodología

El paciente debe realizar la prueba en ayunas de al menos 6 horas. Para la infusión de vasodilatadores se debe suspender las 12h previas las teofilinas o sustancias con cafeína/teína. Se debe valorar si retirar la medicación antianginosa (especialmente los BB) que pueden afectar a la capacidad diagnóstica de los tests.

Durante la realización de la prueba de estrés a todos los pacientes se les monitoriza la tensión arterial y ritmo cardiaco, obteniendo toma de TA y registro de ECG de forma basal y en cada estadio o etapa de la prueba. Las derivaciones electrocardiográficas de los miembros se colocan de forma habitual, pudiendo tener que desplazar las derivaciones precordiales para facilitar la obtención de una buena ventana acústica. Se adquieren las imágenes ecocardiográficas a lo largo de las etapas en 4 planos: paraesternal eje largo, paraesternal eje corto, apical 4 cámaras y apical 2 cámaras, pudiendo usar ecopotenciador para delimitar borde endocárdico. La evaluación de la contracción segmentaria se realiza según el modelo de 17 (o 16) segmentos que reflejan los territorios de perfusión coronaria y permite comparar las distintas técnicas de imagen entre sí. Imagen 6.



**Imagen 6.** Esquemas de segmentación del ventrículo izquierdo. Modelo de 16 segmentos (izquierda) y 17 segmentos (derecha) representado en ojo de buey. 1. anterior basal, 2. anteroseptal basal, 3. inferoseptal basal, 4. inferior basal, 5. inferolateral basal, 6. anterolateral basal, 7. anterior medio, 8. anteroseptal medio, 9. inferoseptal medio, 10. inferior medio, 11. inferolateral medio, 12. anterolateral medio, 13. anterior apical, 14. septal apical, 15. inferior apical, 16. lateral apical, 17. ápex. La inserción anterior del ventrículo derecho con el izquierdo define el borde entre los segmentos anterior y anteroseptal. El anillo más externo corresponde a los segmentos basales, el anillo medio representa los segmentos a nivel de los músculos papilares, y el anillo interno representa los segmentos distales.

La prueba finaliza al infundir la cantidad total del fármaco o alcanzar algún criterio diagnóstico o clínico descrito en la tabla 16. El paciente debe quedar vigilado en entorno hospitalario al menos 60-120 min tras la prueba.

Criterios absolutos (máximos) para terminar prueba	Criterios submáximos para terminar prueba
Alcanzar máxima dosis del fármaco Alcanzar FC objetivo Positividad ecocardiográfica (aquinesia de ≥2segmentos), eléctrica (descenso ST >2mV), clínica (angina)	Efectos secundarios limitantes: respuesta hipertensiva, arritmias supraventriculares, arritmias ventriculares complejas

**Tabla 16.** Criterios para terminar el ecocardiograma de estrés farmacológico.

La metodología específica con cada fármaco se describe en la tabla 17.

El eco de estrés con estimulación de marcapasos se realiza con menos frecuencia, no es preciso disponer de una vía venosa pero hay que asegurar que el tipo de marcapasos permite elevar la FC hasta el objetivo deseado. Se estimula a frecuencias cardiacas crecientes a partir de 100lpm en incrementos de 10 lpm cada 2 minutos hasta obtener la frecuencia cardiaca objetivo (85% de la FC máxima). Se adquieren imágenes ecocardiográficas de forma basal, tras alcanzar la FC objetivo y en la recuperación.

Tipo de estresor	Dobutamina	Vasodilatador	Ergobasina
Mecanismo de acción	Aumenta demanda Receptores adrenérgicos	Disminuye oferta Receptores adenosina A2	Vasoespasmó en sujetos susceptibles
Protocolo	Infusión intravenosa a dosis crecientes cada 3 min: inicio con 5 mcg/kg/min, incremento a 10, 20, 30, 40 mcg/kg/min. Atropina en forma de bolos de 0.25 mg (hasta un máximo de 1 mg)	<b>Dipiridamol</b> 0.84 mg/kg en bolos iv * dos dosis en 10 min 0.56 mg/kg en 4 minutos + 4 minutos descanso + 0.28 mg/kg en 2 minutos * dosis entera en 6 minutos <b>+/- atropina</b> <b>Adenosina</b> Infusión iv 140 µg/kg/min en 6 minutos <b>Regadenosón</b> bolo iv 0.4mg/5ml	Bolos crecientes de ergobasina en intervalos de 5 minutos hasta cuarta dosis o alcanzar una respuesta positiva: 0.05mg, 0.1 mg, 0.2 mg 0.4mg
Adquisición imágenes	4 planos en 4 etapas: Basal, dosis bajas (20 mcg/kg/min) dosis altas (40mcg/kg/min +/- atropina) y recuperación	4 planos 4 etapas: Basal, dosis bajas, dosis altas (tras atropina si se usa), recuperación (tras eufilina si se usa)	4 planos en 4 etapas: basal, dosis bajas (0.1mg), dosis altas (0.4mg) o alteraciones, recuperación
Antídoto	<b>Betabloqueante:</b> propranolol, metoprolol	<b>Eufilina</b> *No se suele requerir con adenosina (vida media muy corta) o regadenosón (vasodilatador potente muy selectivo de receptores Adenosina A2 con vida media corta)	Bolo de nitroglicerina iv. Valorar nifedipino 10mg sublingual para contrarrestar posibles efectos secundarios tardíos.
Efectos secundarios	Ansiedad, palpitaciones obstrucción dinámica en el tracto de salida del VI, hipotensión arterial, arritmias ventriculares Muerte 1/5000	Malestar general, náuseas, cefalea, calor, hipotensión, alteraciones del ritmo, broncoconstricción Muerte 1/10000	Malestar general, náuseas, vómitos
Contraindicaciones	HTA mal controlada EV de alta densidad o taquicardias complejas  Uropatía obstructiva, glaucoma ángulo cerrado (atropina)	Hipotensión severa Broncoespasmo (dipiridamol/adenosina) Disfunción sinusal, Bloqueo AV de 2º-3ºgrado	Enfermedad coronaria

**Tabla 17.** Tipos de fármacos en ecocardiogramas de estrés.

## 5. Indicaciones de las pruebas de estrés

Las guías europeas de diagnóstico y manejo de síndrome coronario crónico hacen referencia a la utilidad de los tests no invasivos funcionales o anatómicos en dos situaciones principales, en el diagnóstico de la enfermedad coronaria (EC) y en la evaluación pronóstica.

### RECUERDA



El uso de la ergometría convencional para confirmar o descartar EC tiene una precisión diagnóstica baja, y las guías de práctica clínica no lo recomiendan como primer test diagnóstico, favoreciendo las pruebas con imagen (funcionales o anatómicas).

### 5.1. Valor diagnóstico de las pruebas de estrés

Para el diagnóstico debe tenerse en cuenta la probabilidad clínica de EC, según la clínica del paciente, características del dolor, sexo, edad y otros factores de riesgo. En aquellos pacientes en que la clínica no excluya la EC deberá elegirse una prueba diagnóstica, idealmente no invasiva, con bajo riesgo de complicaciones, con una sensibilidad y VPN alto.

El uso de la ergometría convencional para confirmar o descartar EC tiene una precisión diagnóstica baja, y las guías de práctica clínica no lo recomiendan como primer test diagnóstico, favoreciendo las pruebas con imagen (funcionales o anatómicas). La utilidad de la ergometría en pacientes seleccionados se basa en el valor pronóstico y en la evaluación objetiva de la tolerancia al esfuerzo.

La elección de la prueba diagnóstica (funcional con esfuerzo o estrés farmacológico o anatómica) dependerá de la rentabilidad diagnóstica de cada prueba, la probabilidad clínica y características individuales de los pacientes, contraindicaciones relativas y experiencia del centro médico donde se realice. En casos de baja probabilidad clínica de EC se favorece el TC coronario. La evaluación funcional con pruebas de imagen se prefiere si la probabilidad clínica de EC es intermedia o alta o si ya tienen diagnóstico previo de EC.

Precisión diagnóstica	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)
Ergometría	45-50	85-90
Ecocardiograma de esfuerzo	80-85	80-88
Ecocardiograma de estrés con dobutamina	79-83	82-86
Ecocardiograma de estrés con vasodilatador	72-79	92-95
TC coronarias (test anatómico)	95-99	64-83

**Tabla 18.** Precisión diagnóstica de cada tipo de prueba no invasiva.

## 5.2. Valor pronóstico de las pruebas de estrés

Las pruebas de estrés aportan información pronóstica que puede determinar la elección de revascularización posterior. En todo paciente con sospecha o confirmación de EC debe valorarse riesgo de eventos para detectar aquellos con mayor riesgo que pueden beneficiarse de tratamiento de revascularización además del tratamiento médico. Para esta evaluación pronóstica está indicado realizar una valoración clínica, conocer la función basal del VI y apoyarse con datos anatómicos o funcionales de las pruebas no invasivas.

La ergometría convencional, a pesar del limitado poder diagnóstico, puede señalar marcadores de riesgo asociados a mortalidad por causa cardíaca: depresión del ST a baja carga con síntomas de angina, capacidad de esfuerzo disminuida, extrasistolia ventricular compleja, arritmias o respuesta de PA anormal. Se considera riesgo alto una mortalidad cardiovascular >3% según el score de Duke. En las pruebas de imagen de estrés de esfuerzo se asocia a alto riesgo de eventos la alteración de la contracción segmentaria en  $\geq 3$  /16 segmentos. En caso de RM de estrés farmacológico se asocia a alto riesgo de eventos la alteración de la contracción segmentaria en  $\geq 2$ /16 segmentos.

En la tabla 19 se resumen las recomendaciones de las últimas guías clínicas en cuanto al uso diagnóstico y pronóstico de las pruebas de estrés.

Uso de pruebas funcionales en EC	Clase de recomendación y nivel de evidencia
Ergometría convencional para evaluar tolerancia al esfuerzo, síntomas, arritmias, respuesta de PA y riesgo de eventos en pacientes seleccionados (siempre)	IC
Prueba de esfuerzo convencional si los tests con imagen no están disponibles, teniendo en cuenta la tasa de falsos negativos y falsos positivos de la ergometría	IIbB
Ergometría convencional en pacientes tratados para evaluar síntomas e isquemia	IIbC
Test funcional con imagen no invasivo o TC coronario como test inicial para diagnóstico de EC en pacientes sintomáticos cuando la clínica per se no descarta el diagnóstico	IB
La elección del tipo de test diagnóstico inicial se basa en la probabilidad clínica de EC, características del paciente y experiencia del centro	IC
Tests funcionales para detectar isquemia si el TC coronario muestra EC de significado funcional incierto o no es diagnóstico	IB
No realizar ergometría convencional con intensidad diagnóstica si existen alteraciones basales en el ECG (descenso ST $\geq 0.1$ mV) o tratamiento con digoxina	IIIC
Uso de pruebas de imagen funcionales (preferiblemente ejercicio) o TC coronario o de forma alternativa ergometría convencional para estratificación del riesgo en pacientes con sospecha o confirmación de EC	IB

**Tabla 19.** Recomendaciones en cuanto al uso de pruebas funcionales en la enfermedad coronaria (EC).

En adultos asintomáticos no se recomienda el cribado sistemático de isquemia con ergometrías, dado el bajo valor predictivo positivo y la alta tasa de falsos positivos. Se debe considerar realizar una prueba de esfuerzo máximo para personas sedentarias mayores de 35 años previo a la práctica de ejercicio intenso o deporte de competición (Recomendación de clase IIa, nivel de evidencia C).

## 6. Bibliografía

1. Arós F, Boraita A, Alegría E, Alonso AM, Bardají A, Lamiel R, et al. Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en pruebas de esfuerzo [Guidelines of the Spanish Society of Cardiology for clinical practice in exercise testing]. Rev Esp Cardiol. 2000 Aug;53(8):1063-94.



2. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al; American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Peripheral Vascular Disease; Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010 Jul 13;122(2):191-225.
3. Corrà U, Agostoni PG, Anker SD, Coats AJS, Crespo Leiro MG, de Boer RA, et al. Role of cardiopulmonary exercise testing in clinical stratification in heart failure. A position paper from the Committee on Exercise Physiology and Training of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail*. 2018 Jan;20(1):3-15.
4. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, Arena R, Balady GJ, Bittner VA, et al; American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology, Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, and Council on Epidemiology and Prevention. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2013 Aug 20;128(8):873-934.
5. Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, Chaitman BR, Fletcher GF, Froelicher VF, et al; American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *J Am Coll Cardiol*. 2002 Oct 16;40(8):1531-40.
6. Guazzi M, Adams V, Conraads V, Halle M, Mezzani A, Vanhees L, et al; European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation; American Heart Association. EACPR/AHA Scientific Statement. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Circulation*. 2012 Oct 30;126(18):2261-74.
7. Holland AE, Spruit MA, Troosters T, et al. An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease. *Eur Respir J*. 2014;44(6):1428-1446.
8. Knuuti J, Wijns W, Saraste A, Capodanno D, Barbato E, Funck-Brentano C, et al; ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J*. 2020 Jan 14;41(3):407-477.