

Archivos de medicina del deporte

Órgano de expresión de la Sociedad Española de Medicina del Deporte



Pruebas de esfuerzo en medicina del deporte

Documento de consenso de la Sociedad Española
de Medicina del Deporte (SEMED-FEMEDE)

Coordinadores:
Pedro Manonelles Marqueta
Luis Franco Bonafonte
José Naranjo Orellana



POSTGRADOS OFICIALES: **SALUD Y DEPORTE**



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA

Espíritu
UCAM
Espíritu Universitario

Miguel Ángel López

Campeón del Mundo en 20 km. marcha (Pekín, 2015)
Estudiante y deportista de la UCAM



- **Actividad Física Terapéutica** ⁽²⁾
- **Alto Rendimiento Deportivo:**
 - **Fuerza y Acondicionamiento Físico** ⁽²⁾
- **Performance Sport:**
 - **Strength and Conditioning** ⁽¹⁾
- **Audiología** ⁽²⁾
- **Balneoterapia e Hidroterapia** ⁽¹⁾
- **Desarrollos Avanzados de Oncología Personalizada Multidisciplinar** ⁽¹⁾
- **Enfermería de Salud Laboral** ⁽²⁾
- **Enfermería de Urgencias, Emergencias y Cuidados Especiales** ⁽¹⁾
- **Fisioterapia en el Deporte** ⁽¹⁾
- **Geriatría y Gerontología:**
 - **Atención a la dependencia** ⁽²⁾
- **Gestión y Planificación de Servicios Sanitarios** ⁽²⁾
- **Gestión Integral del Riesgo Cardiovascular** ⁽²⁾
- **Ingeniería Biomédica** ⁽¹⁾
- **Investigación en Ciencias Sociosanitarias** ⁽²⁾
- **Investigación en Educación Física y Salud** ⁽²⁾
- **Neuro-Rehabilitación** ⁽¹⁾
- **Nutrición Clínica** ⁽¹⁾
- **Nutrición y Seguridad Alimentaria** ⁽²⁾
- **Nutrición en la Actividad Física y Deporte** ⁽¹⁾
- **Osteopatía y Terapia Manual** ⁽²⁾
- **Patología Molecular Humana** ⁽²⁾
- **Psicología General Sanitaria** ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Presencial ⁽²⁾ Semipresencial

MÁS INFORMACIÓN:



968 27 88 01



ucam.edu



Sociedad Española de
Medicina del Deporte

Junta de Gobierno

Presidente:

Pedro Manonelles Marqueta

Vicepresidente:

Miguel E. Del Valle Soto

Secretario General:

Luis Franco Bonafonte

Tesorero:

Javier Pérez Ansón

Vocales:

Carlos de Teresa Galván

José Fernando Jiménez Díaz

Juan N. García-Nieto Portabella

Teresa Gaztañaga Aurrekoetxea

José Naranjo Orellana

Edita

Sociedad Española de Medicina del Deporte
Iturrana, 43 bis.

31007 Pamplona. (España)

Tel. 948 267 706 - Fax: 948 171 431

femede@femede.es

www.femede.es

Correspondencia:

Ap. de correos 1207

31080 Pamplona (España)

Publicidad

ESMON PUBLICIDAD

Tel. 93 2159034

Publicación bimestral

Un volumen por año

Depósito Legal

Pamplona. NA 123. 1984

ISSN

0212-8799

SopORTE válido

Ref. SVR 389

Indexada en: EMBASE/Excerpta Medica, Índice Médico Español, Sport Information Resource Centre (SIRC), Índice Bibliográfico Español de Ciencias de la Salud (IBECS), y Índice SJR (SCImago Journal Rank).

La Revista Archivos de Medicina del Deporte ha obtenido el Sello de Calidad en la V Convocatoria de evaluación de la calidad editorial y científica de las revistas científicas españolas, de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).

La dirección de la revista no acepta responsabilidades derivadas de las opiniones o juicios de valor de los trabajos publicados, la cual recaerá exclusivamente sobre sus autores.

Esta publicación no puede ser reproducida total o parcialmente por ningún medio sin la autorización por escrito de los autores.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Archivos de medicina del deporte

Revista de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

Afiliada a la Federación Internacional de Medicina del Deporte, Sociedad Europea de Medicina del Deporte y Grupo Latino y Mediterráneo de Medicina del Deporte

Director

Pedro Manonelles Marqueta

Editor

Miguel E. Del Valle Soto

Administración

M^a Ángeles Artázcoz Bárcena

Comité Editorial

Norbert Bachl. Centre for Sports Science and University Sports of the University of Vienna. Austria. **Ramón Balius Matas.** Consell Catalá de l'Esport. Generalitat de Catalunya. España. **Araceli Boraita.** Servicio de Cardiología. Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de deportes. España. **Josep Brugada Terradellas.** Hospital Clinic. Universidad de Barcelona. España. **Nicolas Christodoulou.** President of the UEMS MJC on Sports Medicine. Chipre. **Jesús Dapena.** Indiana University. Estados Unidos. **Franchek Drobnic Martínez.** Servicios Médicos FC Barcelona. CAR Sant Cugat del Vallés. España. **Tomás Fernández Jaén.** Servicio Medicina y Traumatología del Deporte. Clínica Centro. España. **Walter Frontera.** Universidad de Vanderbilt. Past President FIMS. Estados Unidos. **Pedro Guillén García.** Servicio Traumatología del Deporte. Clínica Centro. España. **Dusan Hamar.** Research Institute of Sports. Eslovaquia. **José A. Hernández Hermoso.** Servicio COT. Hospital Universitario Germans Trias i Pujol. España. **Pilar Hernández Sánchez.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Markku Jarvinen.** Institute of Medical Technology and Medical School. University of Tampere. Finlandia. **Peter Jenoure.** ARS Ortopédica, ARS Medica Clinic, Gravesano. Suiza. **José A. López Calbet.** Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. **Javier López Román.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Alejandro Lucía Mulas.** Universidad Europea de Madrid. España. **Emilio Luengo Fernández.** Servicio de Cardiología. Hospital General de la Defensa. España. **Nicola Maffully.** Universidad de Salerno. Salerno (Italia). **Pablo Jorge Marcos Pardo.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Alejandro Martínez Rodríguez.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Estrella Núñez Delicado.** Universidad Católica San Antonio. Murcia. España. **Sakari Orava.** Hospital Universitario. Universidad de Turku. Finlandia. **Eduardo Ortega Rincón.** Universidad de Extremadura. España. **Nieves Palacios Gil-Antuñano.** Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de Deportes. España. **Antonio Pelliccia.** Institute of Sport Medicine and Science. Italia. **José Peña Amaro.** Facultad de Medicina y Enfermería. Universidad de Córdoba. España. **Fabio Pigozzi.** University of Rome Foro Italico, President FIMS. Italia. **Per Renström.** Stockholm Center for Sports Trauma Research, Karolinska Institutet. Suecia. **Juan Ribas Serna.** Universidad de Sevilla. España. **Jordi Segura Noguera.** Laboratorio Antidopaje IMIM. Presidente Asociación Mundial de Científicos Antidopajes (WAADS). España. **Giulio Sergio Roi.** Education & Research Department Isokinetic Medical Group. Italia. **Luis Serratos Fernández.** Servicios Médicos Sanitas Real Madrid CF. Madrid. España. **Nicolás Terrados Cepeda.** Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias. Universidad de Oviedo. España. **José Luis Terreros Blanco.** Subdirector Adjunto del Gabinete del Consejo Superior de Deportes. España. **Juan Ramón Valentí Nin.** Universidad de Navarra. España. **José Antonio Vega Álvarez.** Facultad de Medicina. Universidad de Oviedo. España. **José Antonio Villegas García.** Académico de número de la Real Academia de Medicina de Murcia. España. **Mario Zorzoli.** International Cycling Union. Suiza.



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA



AEPSAD
AGENCIA ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN
DE LA SALUD EN EL DEPORTE

Campaña de aptitud física, deporte y salud



La **Sociedad Española de Medicina del Deporte**, en su incesante labor de expansión y consolidación de la Medicina del Deporte y, consciente de su vocación médica de preservar la salud de todas las personas, viene realizando diversas actuaciones en este ámbito desde los últimos años.

Se ha considerado el momento oportuno de lanzar la campaña de gran alcance, denominada **CAMPAÑA DE APTITUD FÍSICA, DEPORTE Y SALUD** relacionada con la promoción de la actividad física y deportiva para toda la población y que tendrá como lema **SALUD - DEPORTE - DISFRÚTALOS**, que aúna de la forma más clara y directa los tres pilares que se promueven desde la Medicina del Deporte que son el practicar deporte, con objetivos de salud y para la mejora de la aptitud física y de tal forma que se incorpore como un hábito permanente, y disfrutando, es la mejor manera de conseguirlo.

Archivos

de medicina del deporte

Volumen 33 - Suplemento 1 - 2016

Pruebas de esfuerzo en medicina del deporte. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED-FEMEDE)

**Pedro Manonelles Marqueta, Luis Franco Bonafonte,
José Naranjo Orellana (coordinadores);
Daniel Brotons Cuixart, José Calabuig Nogués, Carmen Calderón Soto,
Carlos De Teresa Galván, Miguel Del Valle Soto, Vicente Elías Ruiz,
Mercedes Galindo Canales, Piero Galilea Ballarini, Fernando Gutiérrez Ortega,
Fernando Huelin Trillo, Ricardo Jiménez Mangas, Emilio Luengo Fernández,
Begoña Manuz González, Fabio Pigozzi, Juan Ribas Serna,
Francisco Javier Rubio Pérez, Luis Segura Casado,
Nicolás Terrados Cepeda, Carmen Vaz Pardal**

Índice

Presentación	8
Introducción	8
Bases y fisiología de la prueba de esfuerzo	8
Definición y objetivos de la prueba de esfuerzo en medicina del deporte.....	8
Definición.....	8
Objetivos.....	8
Fisiología del ejercicio en la prueba de esfuerzo. Clases de ejercicio físico.....	9
Clases de ejercicio.....	9
Respuesta cardiovascular al ejercicio en sujetos normales.....	10
Requisitos para realizar una prueba de esfuerzo	12
Condiciones previas básicas.....	12
Personal de realización.....	12
Sala de ergometría.....	13
Medios materiales.....	13
Ergómetros.....	13
Electrocardiógrafo.....	13
Control de la presión arterial.....	13
Ergoespirómetro o analizador de gases espirados.....	14
Pulsioxímetro.....	14
Otros materiales.....	14
Ergómetros.....	15
Escalón (<i>step test</i>).....	15
Cicloergómetro.....	15
Tapiz rodante (<i>treadmill</i>).....	15
Ergómetro de brazos.....	15
Kayak-ergómetro.....	15
Remoergómetro.....	16
Ergómetro para canoa canadiense.....	16
Ergómetro para esquí nórdico.....	16
Ergómetro de natación.....	16
Protocolos.....	16
Protocolos para la valoración de la capacidad funcional.....	17
Protocolos en tapiz rodante.....	18
Protocolos en cicloergómetro.....	18
Protocolos en banco.....	19
Protocolos para control de salud.....	20
Protocolos de pruebas de esfuerzo en los niños.....	20
Protocolos de pruebas de esfuerzo en personas de edad avanzada.....	21
Protocolos de pruebas de esfuerzo en deportistas con discapacidad.....	21
Protocolos de uso frecuente en el laboratorio.....	21
Elección del protocolo.....	23
Seguridad.....	24
Equipación y protocolos para urgencias.....	25
Consentimiento informado.....	25

Procedimiento de realización de la prueba de esfuerzo	26
Indicaciones de la prueba de esfuerzo en medicina del deporte.....	26
Contraindicaciones de la prueba de esfuerzo en medicina del deporte.....	27
Criterios de detención de la prueba de esfuerzo.....	28
Preparación del sujeto.....	28
Preparación del electrocardiograma de esfuerzo.....	28
Preparación de la piel.....	28
Electrodos y cables.....	28
Derivaciones electrocardiográficas para la prueba de esfuerzo.....	29
Supervisión y respuestas clínicas	29
Percepción del esfuerzo.....	29
Capacidad funcional.....	30
Síntomas y signos físicos.....	30
Control del postesfuerzo.....	32
El electrocardiograma de esfuerzo	32
Hallazgos electrocardiográficos normales en la prueba de esfuerzo.....	32
Onda P.....	32
Segmento PR.....	32
Complejo QRS.....	32
Punto J y tendencia ascendente del segmento ST "upsloping ST".....	32
Onda T.....	32
Onda U.....	33
QT. Intervalo dinámico.....	33
Hallazgos electrocardiográficos anormales en la prueba de esfuerzo.....	33
Anomalías de la frecuencia cardiaca.....	33
Anomalías de la morfología del QRS.....	33
Anomalías de la repolarización.....	33
Arritmias y bloqueos.....	35
Electrocardiograma basal alterado (antes de la prueba de esfuerzo).....	35
Ergoespirometría	36
Parámetros a valorar y su interpretación.....	36
Consumo de oxígeno.....	36
Umbrales ventilatorios.....	37
Frecuencia cardiaca.....	38
Presión arterial.....	39
Carga de trabajo.....	40
Lactato.....	41
pH.....	41
Amonio.....	42
Interleucina 6.....	42
Gases en sangre.....	42
Interpretación.....	42
Aplicaciones.....	43

Diagnóstico y pronóstico de la prueba de esfuerzo	43	La prueba de esfuerzo en diabéticos.....	59
Valor pronóstico del electrocardiograma de esfuerzo.....	43	La prueba de esfuerzo en personas bajo tratamiento	59
Valor pronóstico de la capacidad máxima de ejercicio físico.....	43	Beta-bloqueantes.....	60
Respuesta cronotrópica anormal al ejercicio.....	44	Digital.....	60
Valor pronóstico de la anormalidad de la frecuencia cardíaca durante la recuperación del ejercicio físico.....	45	Amiodarona.....	60
Anomalías de la presión arterial durante el ejercicio y la recuperación.....	45	Nitritos, dihidropiridinas y otros vasodilatadores.....	60
Arritmias durante el ejercicio y la recuperación.....	45	Diuréticos.....	60
La prueba de esfuerzo en mujeres y niños	45	Marpasos.....	60
La prueba de esfuerzo en mujeres.....	45	Prótesis intracoronarias de <i>stent</i> o cirugía de revascularización.....	60
Capacidad funcional.....	46	La prueba de esfuerzo como apoyo al entrenamiento	60
Respuesta cronotrópica.....	46	Consideraciones previas.....	60
Recuperación de la frecuencia cardíaca.....	46	Tapiz rodante.....	61
Índices de riesgo.....	47	Cicloergómetro.....	61
Conclusiones.....	47	La prueba de esfuerzo en la evaluación del estado de forma.....	61
La prueba de esfuerzo en niños.....	47	La prueba de esfuerzo en la planificación del entrenamiento, la predicción del rendimiento y el control de la carga de entrenamiento.....	62
Ergómetros.....	47	Planificación del entrenamiento.....	62
Protocolos.....	47	Predicción del rendimiento.....	62
Criterios de maximalidad.....	48	Control de la carga de entrenamiento.....	62
Interpretación de los resultados.....	48	La prueba de esfuerzo en el control de la evolución del proceso de entrenamiento.....	63
Variables.....	49	La prueba de esfuerzo en otras situaciones	65
Niños con enfermedad cardíaca.....	49	Prescripción de ejercicio.....	65
La prueba de esfuerzo en personas mayores y en personas con discapacidad	50	Prescripción de ejercicio en el deporte de competición.....	65
La prueba de esfuerzo en personas mayores.....	50	Prescripción de ejercicio en el deporte saludable.....	65
La prueba de esfuerzo en personas con discapacidad.....	51	Prescripción de ejercicio: potencia aeróbica y capacidad. Resistencia aeróbica.....	66
La prueba de esfuerzo en personas con patología	52	Valoración de la respuesta terapéutica.....	68
La prueba de esfuerzo en las enfermedades cardiovasculares.....	52	Valoración de la respuesta terapéutica en la hipertensión arterial.....	68
Cardiopatía isquémica.....	52	Valoración de la respuesta terapéutica en la obesidad.....	68
Pruebas de esfuerzo en las arritmias.....	56	Valoración de la respuesta terapéutica en la diabetes.....	68
Enfermedades valvulares.....	56	Valoración de la respuesta terapéutica en la enfermedad arterial periférica.....	68
Prueba de esfuerzo en pacientes con hipertensión arterial.....	57	Valoración de la respuesta terapéutica en las dislipidemias.....	68
Respuestas de la presión arterial durante el esfuerzo.....	57	El informe de la prueba de esfuerzo	68
La prueba de esfuerzo en el diagnóstico y el pronóstico de la hipertensión arterial.....	57	Abreviaturas	70
Evaluación y seguimiento del tratamiento.....	58	Bibliografía	71
Indicaciones.....	58	Anexos	78
Contraindicaciones.....	58	Listado de autores	82
Protocolos en la prueba de esfuerzo.....	58		
Prueba de esfuerzo en pacientes obesos.....	58		
Diagnóstico de cardiopatía isquémica.....	58		
Diagnóstico diferencial ante una disnea de esfuerzo en el obeso.....	58		
Evaluación de la capacidad funcional y prescripción de ejercicio.....	59		
Protocolos de esfuerzo.....	59		

Presentación

Las pruebas de esfuerzo (PE) en Medicina del Deporte (MD) constituyen uno de los contenidos fundamentales de una especialidad que tiene como objeto primordial de su trabajo al deportista, sano o portador de algún tipo de patología, y que centra una gran parte de su actividad en la valoración de las consecuencias que tiene el ejercicio sobre el organismo.

Era necesario abordar la metodología de las PE en el ámbito de la MD, en primer lugar, porque era un tema inabordable; en segundo lugar, porque la demanda y las necesidades de este procedimiento, tanto en sanos como en enfermos, es cada vez mayor; y en tercer lugar, para aclarar aspectos que se refieren a las competencias de diversas profesiones.

Este trabajo constituye una herramienta de indudable valor para los profesionales de la MD y de las ciencias afines, pues define con precisión los fundamentos, los aspectos metodológicos, la utilidad y el ámbito de realización de las PE.

Introducción

La PE es un procedimiento de gran utilización en la MD debido a que la población diana del trabajo en MD es cada vez mayor por el creciente incremento de practicantes de actividad física-deportiva. Además, las PE se utilizan en áreas cada vez más amplias y numerosas, como entre otras el diagnóstico de patología, la valoración funcional, el soporte científico del entrenamiento, la detección de talentos deportivos y la prescripción de ejercicio, además de lo concerniente a la investigación en todos sus extremos.

En este trabajo se revisan en profundidad todos estos aspectos, y se utiliza la clasificación de recomendaciones del *American College of Cardiology* (ACC) y la *American Heart Association* (AHA) en lo que se refiere a los niveles de evidencia científica:

- *Clase I*: evidencia o acuerdo general en que el procedimiento o tratamiento es útil y efectivo.
- *Clase II*: la evidencia es más discutible 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 o acuerdo general en que el procedimiento o tratamiento no es útil y efectivo, y en algunos casos puede ser peligroso.

Las fuentes de evidencia se catalogan como:

- *Evidencia tipo A*: basada en estudios aleatorizados, controlados y prospectivos, con elevado número de pacientes, estadística de calidad.
- *Evidencia tipo B*: basada en estudios cortos, no necesariamente aleatorizados, cohortes observacionales o relatos de casos.
- *Evidencia tipo C*: opinión de expertos.

Aun a sabiendas de que el ejercicio de la MD tiene sus peculiares características (trabajo habitual con personas sanas, con altos niveles de

rendimiento físico y frecuentemente en el contexto de la competición, incluso del más alto nivel), la realización de PE en todos sus aspectos, así como su indicación e interpretación, debe hacerse no solo en el contexto individual del sujeto sino, lo que es más importante, en el contexto clínico del deportista/paciente, algo que es y que forma parte de la responsabilidad del médico. Por lo tanto, las recomendaciones que se hacen en el documento deben interpretarse como guías de apoyo que el facultativo correspondiente podrá aplicar o modificar según su conocimiento y experiencia para ajustarlas a cada deportista/paciente concreto.

Bases y fisiología de la prueba de esfuerzo

Definición y objetivos de la prueba de esfuerzo en medicina del deporte

Definición

Desde hace más de 60 años, la PE ha sido siempre una herramienta de diagnóstico médico tanto en el campo de la cardiología como en el de la neumología^{1,2}, hasta tal punto que no es posible encontrar una definición "oficial" de PE que no implique su uso convencional como procedimiento para la valoración diagnóstica y pronóstica de los pacientes con cardiopatía isquémica.

A lo largo del tiempo se han ido añadiendo posibilidades de estudio a esta prueba, de forma que en la actualidad su uso está ampliamente extendido en la MD y, por extensión, en la valoración funcional de deportistas de cualquier nivel. De hecho, en las últimas versiones de las guías clínicas de la AHA³ ya aparece entre los objetivos de una PE la "evaluación de la capacidad física y la tolerancia al esfuerzo" (aunque sigue entendiéndose desde un punto de vista clínico), e incluso su utilidad para la prescripción de actividad física⁴.

Se puede definir la PE, por tanto, como un procedimiento no invasivo que proporciona información de carácter diagnóstico sobre el funcionamiento cardiopulmonar y evalúa la capacidad individual para realizar ejercicio dinámico⁵. A partir de aquí, según la especialidad médica de la que se trate, se le podrán dar las aplicaciones que se deseen (cardiología, neumología, MD, medicina laboral, etc.), pero nunca perderá su carácter diagnóstico, incluso al realizarla a personas presuntamente sanas (como los deportistas), ya que constituye una pieza esencial del arsenal preventivo en MD para la detección de cardiopatías ocultas y otras causas que puedan limitar o contraindicar la práctica de ejercicio físico. Por tanto, con independencia de la finalidad de la PE, esta debe ser realizada en un laboratorio con el equipamiento básico y el personal adecuado para garantizar en todo momento la seguridad del sujeto que realiza la prueba (sea paciente o sujeto sano)⁵.

Objetivos

En MD, la PE se puede realizar con las siguientes finalidades:

- Valorar la capacidad individual para realizar ejercicio dinámico.
- Valorar las respuestas de diferentes sistemas al ejercicio (cardiocirculatorio, respiratorio, metabólico, etc.).
- Obtener datos de utilidad para la mejora del rendimiento.
- Obtener datos para prescribir ejercicio de forma individualizada.

- Valorar el estado de salud general del sujeto y, en su caso, detectar anomalías no conocidas que pudieran limitar o contraindicar la práctica de ejercicio.
- Valorar el comportamiento de ciertas patologías en relación al esfuerzo (pacientes con cardiopatías, hipertensión arterial [HTA], patologías musculares, enfermedades respiratorias, etc.).
- Diagnóstico, pronóstico y valoración de patologías directamente ligadas al esfuerzo (por ejemplo, asma inducida por el ejercicio). Además de estas finalidades, la PE debe hacerse siempre en¹:
- 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 antecedentes familiares de muerte súbita inexplicable relacionada con el ejercicio en familiares de primer grado jóvenes.

Por todas estas razones, la PE no puede ser realizada por personal no cualificado con la excusa de aislar alguna de sus funciones (por ejemplo, la valoración exclusiva del rendimiento deportivo), ya que todas van unidas, y son frecuentes los casos en los que un deportista, aparentemente sano, muestra en una PE alguna patología que desconocía y que se pone de manifiesto durante el ejercicio. Por esta razón, uno de los elementos fundamentales de la PE (aceptado por todas las sociedades científicas internacionales) es la correcta monitorización durante la prueba de un electrocardiograma (ECG) de 12 derivaciones^{1-3,6,7}, así como la existencia en la sala del equipamiento de emergencia adecuado y del personal cualificado para utilizarlo^{8,9}, todo ello con independencia de la finalidad con que se realice la prueba.

Por otra parte, en la valoración de deportistas, las PE deben realizarse preferentemente con el análisis simultáneo de ECG, ventilación y gases^{3,4}, salvo que el objetivo de la misma sea estrictamente la valoración cardiológica con una finalidad diagnóstica.

Fisiología del ejercicio en la prueba de esfuerzo. Clases de ejercicio físico

El ejercicio físico es una actividad que realizan todos los seres humanos, en mayor o en menor medida, desde que nacen hasta que mueren, y que implica la activación mecánica y metabólica de los diferentes órganos y sistemas del organismo como consecuencia de la actividad muscular. También es la actividad física planificada, estructurada, repetitiva e intencionada con el objetivo de mejorar o mantener uno o más de los componentes de la condición física¹⁰.

Durante el ejercicio se producen cambios adaptativos que afectan a los distintos órganos y sistemas, que provocarán respuestas funcionales dependiendo de la intensidad y la duración de la actividad física desarrollada.

El ejercicio físico provoca cambios funcionales en el organismo, que se pueden considerar como un estrés frente al que este responde con un síndrome adaptativo, que se manifiesta de forma aguda durante la realización del ejercicio y que se denomina "respuesta al esfuerzo", y de forma crónica, que se manifiesta por los cambios estructurales y funcionales de las adaptaciones agudas y que se denomina "adaptación al ejercicio"¹¹.

Estas respuestas y adaptaciones varían mucho en función de la intensidad, la duración y la frecuencia de la actividad física desarrollada, así como de otros factores o circunstancias ambientales.

Clases de ejercicio

Existen tres tipos de ejercicio en relación con las propiedades mecánicas de acción muscular¹²:

- *Dinámico/isotónico*: cuando produce el desplazamiento de una parte del cuerpo. Dentro de este tipo hay dos ejercicios diferentes.
 - Concéntrico: cuando se produce un acortamiento de las fibras musculares.
 - Excéntrico: cuando se produce un alargamiento de estas fibras, como al actuar en contra de la gravedad.
- *Isométrico*: cuando no hay modificación de la longitud de las fibras a pesar de que hay tensión muscular, lo que sucede cuando se aplica una fuerza a algo que no se puede mover.

Hay otras formas de clasificar al ejercicio físico, por ejemplo según el volumen de masa muscular implicada: ejercicios locales, regionales y globales; o según el tipo de trabajo realizado: fuerza, velocidad, potencia y resistencia (y sus combinaciones, como fuerza-resistencia o fuerza-velocidad).

La clasificación metabólica se refiere a la disponibilidad, o no, de oxígeno para la contracción muscular, que está en función de la duración del ejercicio, diferenciando el ejercicio aeróbico (en presencia de oxígeno) y anaeróbico (en ausencia de oxígeno)¹³.

Normalmente los ejercicios son complejos e implican contracciones tanto dinámicas como estáticas, así como el metabolismo combina fases anaeróbicas con otras aeróbicas, por lo que las respuestas fisiológicas son muy variables.

Actualmente, en las PE se valoran sobre todo ejercicios de predominio dinámico y aeróbico.

La duración y la intensidad del ejercicio determinan el sistema de aporte energético, que es otra forma de diferenciar los distintos tipos de ejercicio físico, y que es fundamental para comprender la dinámica metabólica de un cuerpo en movimiento.

La intensidad con que se realiza un ejercicio marca la capacidad individual para hacer un trabajo y define indirectamente la calidad del sistema de transporte de oxígeno desde que este se inhala en el aire atmosférico hasta que se utiliza en la acción muscular, pudiéndose determinar la máxima eficiencia respiratoria que se corresponde con una intensidad de esfuerzo determinada, que es el umbral aeróbico. Si la intensidad aumenta y no se asimila en el organismo, aparece la fatiga, determinando esta situación el umbral anaeróbico¹⁴.

Las pruebas de corta duración y alta intensidad necesitan un aporte de energía rápido e inmediato. Esta energía es aportada por el trifosfato de adenosina (ATP) y por el fosfato de creatina (CrP), que se acumulan en los músculos. Esta cantidad de energía es muy escasa, por lo que limita la actividad muscular intensa e inmediata a unos pocos segundos, pasados los cuales tienen que entrar en juego otras fuentes energéticas. La cantidad de energía que genera el sistema ATP-CrP (sistema de los fosfágenos) es la necesaria para acciones de muy corta duración, como el lanzamiento de peso, el salto de altura o el de longitud, o una acrobacia de gimnasia artística, por ejemplo.

En otras actividades de mayor duración, como es el caso del fútbol o del *hockey*, se producen estas acciones explosivas puntuales que se repiten durante el partido. Para poder suministrar este plus de energía se necesita que el sistema ATP-CrP se regenere con otros sistemas suministradores, para que los fosfágenos se vayan resintetizando de forma continua, produciéndose un solapamiento de los distintos sistemas energéticos. Este sistema se utiliza en ejercicios de duración inferior a 15-30 segundos y de elevada intensidad.

Si el ejercicio dura más tiempo, el glucógeno muscular aporta la energía que se necesita para fosforilar el difosfato de adenosina (ADP) mediante la glucogenólisis anaerobia, formándose lactato. En ausencia de oxígeno, el piruvato se convierte en lactato, que mantiene la formación rápida de ATP, esencial en actividades que necesitan un aporte extra cuando los depósitos de fosfágeno están superados. Esta situación se puede dar en el *sprint* final de una prueba de 1.500 metros, o en jugadas muy rápidas en un partido de *hockey* sobre hielo o de fútbol, por ejemplo.

Si esta situación se prolonga en el tiempo, el lactato se va acumulando, pero como hay situaciones de reposo o recuperación, se facilita su eliminación permitiendo que la actividad se pueda seguir desarrollando¹⁵.

La preferencia de uso de estas vías metabólicas se debe a que son muy rápidas a la hora de proporcionar energía en forma de ATP.

Si la actividad física persiste, la energía procede del metabolismo aeróbico, en presencia de oxígeno, que requiere un mayor aporte de sangre. Es una vía mucho más lenta en cuanto a obtención de energía, cuyos sustratos, como combustibles principales, son los ácidos grasos libres.

En ejercicios de muy larga duración, los aminoácidos también pueden ser utilizados como sustrato energético, sobre todo los de cadena ramificada, que son excretados por el hígado y que se utilizan en el músculo.

Estos sistemas de producción energética se basan en su aporte mantenido mediante la resíntesis simultánea de ATP, que se obtiene de la rotura, sin oxígeno, de la glucosa y el glucógeno hasta llegar a piruvato o lactato, y la oxidación de las grasas, los hidratos de carbono e incluso de las proteínas.

La vía aeróbica es la más rentable para el organismo (mayor producción de ATP) y con productos finales que no producen fatiga, y es por tanto la vía metabólica más importante en ejercicios de larga duración.

Para la actividad física, el músculo se nutre de diferentes sustratos aportados por la dieta y por las reservas que acumula el organismo.

Como se ha visto, las fuentes de energía son tres, que se solapan y se utilizan en función de la actividad que se desarrolle, siendo determinantes, para que actúe una fuente u otra de forma predominante, la intensidad y la duración de dicha actividad¹⁶.

Respuesta cardiovascular al ejercicio en sujetos normales

Dentro de los numerosos tipos de ejercicio (estático, dinámico, concéntrico, excéntrico, aeróbico, anaeróbico, etc.) que se podrían utilizar para evaluar la respuesta cardiovascular al ejercicio, el de elección suele ser un ejercicio que tenga propiedades dinámicas y un

componente aeróbico o de resistencia. En efecto, dos de los ejercicios más frecuentemente utilizados durante las ergometrías son caminar/correr en un tapiz rodante o cinta sin fin, con posibilidad de cambio de pendiente, y el pedaleo en una bicicleta con calibración de potencia. Ambos ejercicios ponen en actividad suficiente masa muscular como para forzar una respuesta fisiológica del sistema cardiovascular.

La actividad muscular requiere un abastecimiento de energía acorde con el nivel de actividad. Esta energía puede conseguirse del aporte circulatorio y del trabajo de las mitocondrias (vías metabólicas aeróbicas), o de fuentes internas de energía (CrP, glucógeno, glucosa) a través del metabolismo "anaeróbico" (glucólisis anaeróbica) con insuficiente aporte energético de las mitocondrias. Durante un ejercicio progresivo desde el reposo, mientras los músculos en actividad tiran de las vías metabólicas aeróbicas, el sistema cardiovascular va respondiendo en función de la intensidad de la actividad muscular. Esto suele ser lo normal para intensidades de trabajo desde el reposo hasta el 70% del máximo para un sujeto. Con porcentajes de intensidad más altos, entran en acción las vías metabólicas anaeróbicas.

Cuando la demanda de energía o trabajo en la unidad de tiempo de ejercicio no puede ser satisfecha con la energía suministrada por las mitocondrias y su correspondiente aporte de oxígeno por el sistema cardiovascular, se recurre a las vías metabólicas "anaeróbicas". Dado que la activación de las vías anaeróbicas genera marcadores plasmáticos como la lactatemia, además de cambios en los patrones de ventilación, puede seguirse el curso temporal del uso de las vías metabólicas anaeróbicas durante una ergometría.

La respuesta del sistema cardiovascular durante una ergometría se ha medido básicamente con tres variables: el gasto cardiaco (o flujo de bombeo del corazón), la frecuencia cardiaca (FC) y la presión arterial (PA). La medición del gasto cardiaco requiere técnicas indirectas, como el principio de Fick, ya sea por dilución de colorantes vitales, por termodilución o por consumo de oxígeno (esta última menos invasiva), por ecografía o por radioisótopos. La medición directa o invasiva del gasto cardiaco solo se practica en condiciones experimentales o muy especializadas. La FC puede medirse con el ECG o con pulsímetros. La PA se determina con un esfigmomanómetro y auscultación. Dado que la relación del consumo de oxígeno con el trabajo en una cinta sin fin está muy bien establecida, además de ser objeto de otro capítulo, no se va a utilizar aquí sino como referencia o, en cualquier caso, como su equivalente metabólico o MET ($1 \text{ MET} = 3,5 \text{ ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

La respuesta cardiovascular al ejercicio varía en función de la intensidad de este. Los músculos extraen componentes de la sangre para su metabolismo, y el representante más significativo de estos componentes es el oxígeno (necesario para que no se bloqueen los procesos de oxidación mitocondrial y la producción de ATP). La extracción de oxígeno por los músculos se puede medir por la diferencia arteriovenosa. Esta diferencia arteriovenosa se cuantifica midiendo la presión parcial de oxígeno en una muestra de sangre arterial y en una muestra de sangre venosa, y hallando la diferencia. El valor de la diferencia arteriovenosa suele llegar a un r máximo de 15-17 ml de oxígeno por 100 ml de sangre durante intensidades máximas de ejercicio.

Cuando se aumenta la intensidad del ejercicio, los procesos fisiológicos locales, es decir, de los músculos que están trabajando, generan estímulos que, una vez detectados por los sistemas de control central

(sistema nervioso, sistema endocrino, etc.), inducen una respuesta general tendente a mantener la homeostasis en las nuevas circunstancias. Esta respuesta tarda en estabilizarse entre 2 y 3 minutos. Por esta razón, los periodos de los escalones de aumento de intensidad del trabajo suelen mantenerse entre 2,5 y 3 minutos en cualquiera de los ergómetros utilizados durante las pruebas escalonadas.

Una de las consecuencias precoces del aumento del trabajo muscular es la disminución de la resistencia periférica al flujo sanguíneo en el territorio muscular activo (la producción de calor, de dióxido de carbono, de hidrogeniones, de adenosina, etc., confluyen en producir vasodilatación). Esto consigue que aumente el flujo de sangre a los músculos activos. En estas circunstancias, el sistema cardiovascular debe de ser capaz de atender la demanda de flujo por los músculos activos, además del flujo a territorios orgánicos imprescindibles (cerebro, propio corazón, pulmones, sistema de refrigeración cutánea, etc.).

Inicialmente, la respuesta cardiovascular consiste en un aumento del gasto cardiaco y de la PA. El gasto cardiaco aumenta a expensas de un aumento del volumen de eyección del ventrículo izquierdo y un aumento de la FC. La PA aumenta por un incremento de la PA sistólica (PAS) y un descenso o estabilización de la PA diastólica (PAD), de modo que aumentan ligeramente la presión media y bastante la presión diferencial o de pulso.

Conforme aumenta la intensidad del ejercicio, el volumen de eyección tiende a estabilizarse y la mayor parte del aumento del gasto cardiaco se hace a expensas del aumento de la FC (Figura 1). En deportistas de alto nivel de entrenamiento, la estabilización del volumen de

eyección suele darse a intensidades más cercanas a la máxima y puede llegar a valores del séxtuplo de los de reposo.

La respuesta cronotrópica durante el ejercicio viene determinada por la disminución de la actividad del sistema nervioso parasimpático y el aumento de la actividad del sistema nervioso simpático. Durante un ejercicio de intensidad creciente, la FC primero asciende a razón de unos 10 lpm por cada MET de aumento de trabajo, para luego aumentar más lentamente formando una especie de pendiente suave o meseta con las intensidades de trabajo máximas. La FC máxima (FC_{máx}) se ha venido estimando por numerosas ecuaciones que la relacionan con la edad, el peso, el sexo, etc. De ellas, la más utilizada por su simplicidad (que no por su exactitud) es $FC = 220 - \text{edad en años}$. Aun así, la variabilidad entre sujetos puede llegar a más de 12 lpm en igualdad de condiciones.

Para una correcta interpretación de la respuesta cronotrópica durante una ergometría deben tenerse en cuenta una serie de factores y condiciones que afectan a los valores de FC. En relación con el párrafo anterior, conforme más edad, menor el valor de la FC_{máx} y de la FC submáxima. Respecto al tipo de ejercicio empleado, los ejercicios dinámicos producen mayor aumento de la FC que los ejercicios isométricos o los llamados de fuerza. Así mismo, el estado de entrenamiento puede hacer variar la pendiente de aumento de la FC durante los escalones de trabajo. Por ejemplo, después de una estancia prolongada en cama, la FC puede acelerarse mucho con intensidades bajas o submáximas de trabajo; por el contrario, en un sujeto entrenado para ejercicios de resistencia, la FC en estadios submáximos puede ser menor que la de un sujeto no entrenado, aunque al final se alcance la FC_{máx}.

Otras condiciones pueden afectar a la evolución de la FC durante la ergometría. Por ejemplo, una anemia, una alteración del volumen de líquidos corporales (deshidratación, plétora), una afectación metabólica (hipertiroidismo, aldosteronismo, etc.), una disminución de la resistencia periférica o una disfunción ventricular, o un aumento de la temperatura ambiental, pueden elevar la respuesta cronotrópica para un mismo nivel de trabajo. Por el contrario, un alto nivel de entrenamiento (especialmente de resistencia), una enfermedad del seno auricular (incompetencia cronotrópica), una enfermedad cardiaca o un tratamiento con betabloqueantes, pueden dar lugar a una disminución de los incrementos de FC para niveles similares de trabajo submáximo.

La recuperación de los valores iniciales de FC tras la ergometría ofrece aspectos interesantes de evaluar. La respuesta cronotrópica tras la ergometría presenta una rápida caída en los primeros 30 segundos tras el ejercicio, seguida de una caída mucho más lenta y de minutos de duración. Durante la fase de recuperación retorna la actividad del sistema nervioso parasimpático, con lo que se hace evidente su efecto bradicárdico y el aumento de la variabilidad cardiaca. Cualquier anomalía (arritmias, taquicardias, etc.) durante el proceso de recuperación puede tener un gran valor pronóstico. Sin embargo, la aparición de extrasístoles aisladas durante la recuperación tras el ejercicio, por sí misma, no tiene valor diagnóstico¹⁷.

La PA depende principalmente de la volemia, del gasto cardiaco, de la resistencia periférica y de la rigidez de la pared vascular. Durante el ejercicio, la PAS se eleva a razón de unos 10 mmHg por MET, con mayores tasas para el sexo femenino y para las edades más avanzadas. La presión media no sube tanto debido a la bajada de la PAD. La recuperación de los valores de PAS de reposo tras alcanzar la máxima intensidad de

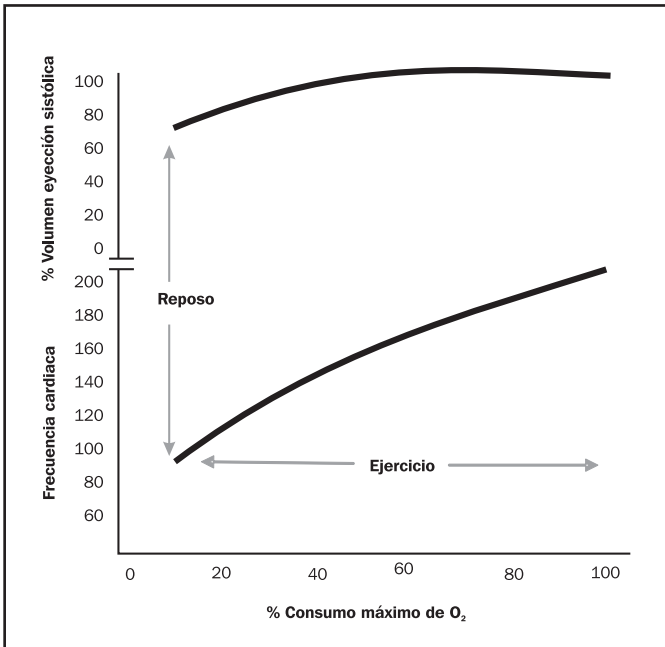


Figura 1. Representación de la evolución de la frecuencia cardiaca (FC) y del volumen de eyección sistólica (en porcentaje) durante un ejercicio progresivo hasta el máximo. Obsérvese que tanto la FC como el volumen de eyección sistólica del ventrículo izquierdo aumentan hasta intensidades del 50-60% del consumo de oxígeno máximo; después, el volumen de eyección sistólica se estabiliza y la FC sigue aumentando, aunque con menor progresión.

ejercicio lleva unos 6 minutos, y se mantiene por debajo de los valores de reposo durante varias horas. La terminación repentina del ejercicio al final de una ergometría (especialmente cuando el sujeto realiza el ejercicio en posición ortostática) puede conllevar una caída brusca de la PAS y una pérdida transitoria de la consciencia como consecuencia de la acumulación de sangre en el territorio venoso (de gran capacidad), así como un aumento rápido de la resistencia periférica¹⁸. Este comportamiento hemodinámico aboga por una detención paulatina de la realización de ejercicio tras una prueba ergométrica, sobre todo si en ella se ha alcanzado la intensidad máxima.

Otro punto de interés del registro de los valores de PA durante la ergometría deriva de su relación con el consumo de oxígeno miocárdico. Se ha encontrado una correlación positiva entre la FC, la PA, el volumen diastólico y el consumo de oxígeno por el miocardio, siendo la mejor correlación el *índice tensión-tiempo*¹⁹, que equivale al producto de la FC por la PAS y por el tiempo de contracción sistólica. El consumo de oxígeno miocárdico depende de la FC, de la contractilidad y del estrés de la pared (este último es el producto de la presión por el volumen en el ventrículo izquierdo dividido por el grosor de la pared ventricular). Su medición requeriría una cateterización coronaria y la medición ahí del contenido de oxígeno. En su lugar se utiliza una simplificación del índice tensión-tiempo que consiste en el producto de la PAS por la FC (también llamado *doble producto*), que en condiciones normales oscila, respectivamente, entre 8.000 y 40.000 para el reposo y la máxima intensidad de ejercicio de un sujeto normal. En condiciones normales, el miocardio recibe un 5% del gasto cardiaco sea cual sea la intensidad de trabajo. Sin embargo, cuando existen alteraciones en el flujo coronario, generalmente una isquemia, esta se refleja en los valores de doble producto.

El consumo de oxígeno (VO_2) es la cantidad de oxígeno que utiliza el organismo procedente del aire atmosférico, y el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$) es la cantidad máxima de oxígeno que el organismo puede absorber, transportar y consumir durante un ejercicio físico máximo²⁰. Se considera la variable mejor relacionada con el estado cardiovascular y con la capacidad para realizar ejercicio. Además, se conocen con razonable precisión las relaciones entre intensidades de trabajo y consumo de oxígeno por kilogramo de peso de los sujetos objeto de ergometrías²¹.

Un aspecto primordial de las PE en MD es la valoración del rendimiento generalmente aeróbico que, condicionado por aspectos genéticos, la edad y el sexo, se modifica con el entrenamiento, en especial con el entrenamiento de resistencia; de ahí que, en este tipo de PE, el $VO_{2\text{máx}}$ sea el parámetro más evaluado²².

Otra de las variables útiles en la evaluación del rendimiento cardiovascular es el denominado *umbral anaeróbico* (UAn), definido en 1967 por Wasserman como la intensidad de ejercicio o de trabajo a partir de la cual aumentan progresivamente la ventilación y la concentración de lactato sanguíneo, respecto al VO_2 ²³. Esta variable es muy reproducible y puede utilizarse para definir intensidades submáximas o "subumbrales". En caso de no utilizar registradores rápidos de gases respiratorios durante una ergometría, el UAn puede estimarse a partir de un registrador de los movimientos torácicos o de micromuestras de sangre para determinación de la concentración de lactato en plasma.

Requisitos para realizar una prueba de esfuerzo

Condiciones previas básicas

Previamente a la realización de la PE, en cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999 de protección de datos de carácter personal²⁴, se informa al paciente de que los datos personales, incluidos los de salud, suministrados por él mismo, necesarios para llevar a cabo las pruebas a realizar, van a ser incorporados a un fichero, donde serán tratados de forma confidencial y conforme a las medidas de seguridad contempladas por la citada Ley y su Reglamento de desarrollo 1720/2007. Asimismo, se le informará de que su historial será conservado durante los plazos preceptivos establecidos en la Ley de Ordenación Sanitaria de cada Comunidad o Ciudad Autónoma.

El paciente deberá ser informado sobre la importancia de la prueba, su utilidad, la metodología a seguir y los riesgos que conlleva²⁵.

Una vez que el paciente ha entendido la prueba que va a realizar, deberá firmar el correspondiente consentimiento informado.

En aquellos pacientes que estén tomando alguna medicación habrá que valorar la posibilidad de suspenderla previamente a la realización de la prueba, ya que podría influir en su resultado²⁵.

El paciente no podrá comer ni tomar cafeína en las 3 horas previas a la prueba (la cafeína está presente en el café, el té, ciertas bebidas gaseosas, el chocolate y determinados calmantes que no precisan receta médica), pero la PE no se podrá realizar tras un ayuno prolongado. En caso de ser fumador, se recomienda no fumar desde 3 horas antes de la prueba.

Se recomienda evitar la actividad física intensa o el ejercicio inusual en las 12 horas anteriores.

La PE se realizará con ropa y calzado deportivo.

Antes de hacer la prueba hay que llevar a cabo una breve anamnesis personal y familiar, así como una exploración física con el fin de determinar algún tipo de contraindicación o detectar algún signo clínico que puedan indicar la no conveniencia de llevar a cabo la PE⁴.

Se debe realizar un ECG de 12 derivaciones de reposo en decúbito supino antes del ejercicio y compararlo con el ECG previo al ejercicio (sentado en el cicloergómetro o de pie en la cinta ergométrica), ya que, al estar los electrodos de las extremidades en el tronco, pueden aparecer modificaciones en los voltajes o en las ondas. Igualmente se realizará un trazado tras una fase de hiperventilación en caso de posible diagnóstico de cardiopatía isquémica^{3,26,27}.

Hay que realizar una cuidadosa preparación de la piel para poder obtener registros electrocardiográficos de calidad. Para ello habrá que rasurar la zona y se utilizará un hisopo de alcohol para limpiar las zonas cutáneas donde se van a situar los electrodos^{1,27}.

Es conveniente colocar al paciente una malla en forma de camiseta para poder sujetar cables y electrodos de forma que se afiance su estabilidad durante toda la prueba ergométrica¹.

Personal de realización

El personal que realiza las PE es fundamental porque garantiza la correcta planificación y la adecuada ejecución de la prueba, la interpretación de la sintomatología y de los signos físicos, el tratamiento

correcto de cualquier situación clínica que pueda aparecer, la adecuada interpretación de los parámetros estudiados y la emisión del correspondiente informe. Por ello, cualquier PE debe estar supervisada y dirigida por un médico con experiencia que será responsable de la calidad de la sala de ergometría y de la seguridad del paciente.

El médico, que debe tener experiencia en la realización de PE, es el responsable de la interpretación de todos los datos de la prueba (signos, síntomas, ECG, parámetros estudiados), debe estar entrenado en situaciones de emergencia y reanimación cardiopulmonar (RCP), idealmente acreditado y reacreditado periódicamente siguiendo las directrices del Plan Nacional de RCP (que lleva funcionando en España desde 1985) y el Consejo Europeo de Resucitación, y debe realizar el tratamiento de las complicaciones de la prueba, si fuera necesario.

El personal técnico o de enfermería efectúa la preparación del individuo sano o del paciente al que se va a realizar la PE con la colocación de los electrodos y de los cables, y otros aspectos técnicos, y durante la prueba mide la PA y colabora en la evaluación de los síntomas y signos del paciente y en la ejecución de la prueba¹.

El personal que dirige la prueba debe estar adecuadamente entrenado y actualizado en todos los procedimientos de urgencia, contraindicaciones de la PE e indicaciones para la terminación de la prueba, que deben respetarse estrictamente²⁸. Además, se requiere la presencia de un médico para la valoración de los hallazgos electrocardiográficos y clínicos, porque existe una gran cantidad de variación en términos de criterios de resultados anómalos²⁹.

La ergometría es una prueba diagnóstica y, como tal, debe ser realizada por un médico según lo recogido en la Ley 44/2003 de 21 de noviembre³⁰.

El consenso científico en este aspecto es unánime y tiene soportes bibliográficos de prestigio^{3,6,31}, en los que se exponen las competencias y los conocimientos exigibles al médico que realiza PE. Entre ellos, destaca el conocimiento de las indicaciones y contraindicaciones de las pruebas, de la fisiología básica del ejercicio, de los principios de interpretación y de los procedimientos de urgencia.

El médico debe estar asistido obligatoriamente por una segunda persona (enfermera o médico), también entrenado en la realización de PE y en situaciones de emergencia.

Sala de ergometría

La sala de ergometría¹ debe ser amplia y estar localizada en una zona de fácil acceso y con posibilidad de evacuación rápida ante situaciones de emergencia, que permita el paso de camillas y otros medios de evacuación de urgencia, en caso de que se produzca algún evento cardiológico o de otra índole que requiera el traslado a un centro hospitalario. Tiene que ser una sala luminosa, bien ventilada, seca y espaciosa, para que puedan circular bien los profesionales entre los distintos aparatos que dan soporte a la prueba.

La sala tiene que tener unas condiciones ambientales constantes que favorezcan la dispersión de la sudación y el calor que provoca el ejercicio, con una temperatura entre 18 y 22 °C y una humedad relativa del 40-60%. De esta manera, el calor, la humedad y sus consecuencias no afectarán al desarrollo y de la prueba, a las respuestas ni a los parámetros analizados.

Es preferible utilizar una planta baja para ubicar la sala de ergometría, con objeto de que la estructura del edificio soporte bien el peso del ergómetro y no se corran riesgos de vibración y hundimiento. Dentro de la sala se evitarán los escalones, y si hay varios niveles en ella se utilizarán rampas para que los aparatos, los pacientes y el personal médico puedan moverse con facilidad. La altura de la sala debe ser suficiente alta como para poder realizar una ergoespirometría a deportistas de estatura elevada, teniendo en cuenta un posible incremento de la pendiente del tapiz rodante.

Además, debe contar con un sistema de comunicación para informar rápidamente de situaciones de urgencia.

Medios materiales

Para la realización de las PE son necesarios ergómetros; sistemas de monitorización de los parámetros cardiovasculares que se modifican con el esfuerzo y que hay que registrar y valorar durante la ergometría, como la FC, la PA y el ECG; ergoespirómetro o analizador de gases espirados; pulsioxímetro y otros materiales.

Ergómetros

Para la realización de las PE es necesario utilizar ergómetros, que se describen en un apartado posterior.

Electrocardiógrafo

Un sistema de registro electrocardiográfico adecuado es esencial para la monitorización continua del ritmo cardiaco y la evaluación de los cambios electrocardiográficos durante el ejercicio y la recuperación. En el mercado existen equipos computarizados, desde muy sofisticados y costosos hasta otros más sencillos y convencionales, pero todos deben permitir³²:

- Disponer de un registro con una buena visión de la imagen electrocardiográfica.
- Identificar con precisión cambios en el segmento ST.
- Monitorización continua de un mínimo de tres derivaciones con osciloscopio, para identificar patrones de arritmias.
- Capacidad de imprimir las 12 derivaciones del ECG para su revisión posterior y mejorar la interpretación.

Para diagnosticar correctamente algunas arritmias y para observar los cambios del segmento ST que en ocasiones solo se visualizan en algunas derivaciones como las inferiores, es preciso disponer de las 12 derivaciones del ECG. Hay equipos con un sistema de detección automático de arritmias que, a pesar de no ser esencial, puede ser práctico en poblaciones de alto riesgo.

Para minimizar los artefactos de movimiento es recomendable utilizar electrodos adhesivos desechables de plata o cloruro de plata, que son los más fiables y que están disponibles en diferentes modelos de tamaño y adhesivo. El uso de una malla tubular elástica para la fijación de los electrodos y de los cables, y para adherir la petaca de cables blindados a la cintura del paciente, permite estabilizar la señal electrocardiográfica.

Control de la presión arterial

La monitorización de la PA durante el ejercicio por el sistema manual con fonendoscopio y esfigmomanómetro sigue siendo el método más

fiable y fácil de utilizar. Hay que ser cuidadoso en situar el manguito a la altura del corazón y en utilizar el tamaño apropiado al sujeto a valorar³³, por lo que debe disponerse de manguitos de diferentes tamaños. Los esfigmomanómetros aneroides y digitales han sustituido, sin mejorar la fiabilidad, a los manómetros de mercurio; precisan una calibración periódica y un mantenimiento adecuado. Los equipos automatizados de medición de la PA son costosos y de dudosa fiabilidad a altas intensidades de ejercicio, por la distorsión que provoca el movimiento.

Ergoespirómetro o analizador de gases espirados

Valorar la ventilación (VE) por minuto y los parámetros del intercambio de gases respiratorios, consumo de oxígeno (VO_2) y producción de dióxido de carbono (VCO_2), en combinación con los procedimientos tradicionales de PE, se conoce como ergoespirometría o prueba de esfuerzo cardiopulmonar.

La prueba de esfuerzo cardiopulmonar proporciona al médico una evaluación muy precisa, fiable y completa del comportamiento de los aparatos cardiovascular y respiratorio, y del metabolismo energético, durante el ejercicio físico, lo que resulta de gran utilidad y aplicación en diferentes especialidades de la medicina (cardiología, neumología, MD y medicina laboral). Es una herramienta fundamental en la valoración del deportista desde dos ámbitos: la tutela del estado de salud de los deportistas mediante la prevención y el diagnóstico precoz, y el apoyo científico del entrenamiento.

Los aparatos actuales contienen analizadores rápidos de O_2 y CO_2 , que obtienen datos incluso de cada respiración, lo que facilita la cuantificación no invasiva del VO_2 durante el ejercicio dinámico. El VO_{2max} es la máxima cantidad de oxígeno que el organismo es capaz de extraer, transportar y utilizar en los tejidos, y se considera el mejor índice de aptitud cardiorrespiratoria y de capacidad funcional de ejercicio³³. En el cardiópata, la determinación del VO_2 permite estimar de manera objetiva el deterioro funcional y evaluar las medidas terapéuticas. La ergoespirometría es un procedimiento incruento y reproducible que puede repetirse cuantas veces sea necesario, y que permite realizar un mejor control evolutivo del paciente.

En la prueba de esfuerzo cardiopulmonar también pueden valorarse el esfuerzo realizado por el sujeto (cociente respiratorio: VCO_2 / VO_2) y otras variables que proporcionan valiosa información diagnóstica y pronóstica en personas sanas o con alguna patología, tales como los umbrales ventilatorios: aeróbico y anaeróbico, equivalentes ventilatorios (VE/VCO_2), relación espacio muerto/volumen corriente (Vd/Vt), pulso de oxígeno (VO_2/FC) y presión parcial del CO_2 espirado.

En pacientes cardiopatas, para valorar su capacidad funcional es útil determinar parámetros submáximos, como el UAn. Es recomendable utilizar la FC en el UAn como FC de entrenamiento, con lo que la mejoría funcional y la seguridad de un programa así diseñado son mucho mayores¹.

Los analizadores de gases y los medidores de flujo son propensos a desajustarse, lo que puede conducir a errores importantes de medida, y por eso el sistema metabólico debe calibrarse justo antes de cada PE. Esto incluye la calibración del medidor de flujo de aire (neumotacógrafo, sensor de flujo máscico, transductor de turbina...) y de los analizadores de O_2 y de CO_2 , comprobando su tiempo de respuesta y que se cumple con las especificaciones del fabricante.

Debido a que las condiciones ambientales afectan la concentración de O_2 en el aire ambiental inspirado, es necesario tener en cuenta la temperatura, la presión barométrica y la humedad. Los equipos actuales incluyen una estación barométrica para medir estos parámetros, lo que permite una correcta calibración.

Aunque la mayoría de los sistemas disponibles incorporan procedimientos de calibración automática controlados por un microprocesador, es importante hacer validaciones periódicas del aparataje con controles de calidad y mantenimiento apropiados.

El *software* de los equipos de medida facilita el procesamiento y el análisis de los múltiples datos obtenidos (respiración a respiración, media de un número promedio de respiraciones, o por intervalos de tiempo de 10 a 30 segundos). Cada *software* determina el tipo y la cantidad de datos mostrados en la pantalla, aunque casi todos permiten al usuario personalizar los datos y gráficos durante la prueba, o en los informes finales. Como mínimo, los gráficos de *V-slope* y de la relación de equivalentes VE/VO_2 y VE/VCO_2 con el tiempo deben ser impresos para verificar los umbrales. También cuentan con detección automática de umbrales ventilatorios por varios métodos, lo que puede provocar confusión respecto a las variables utilizadas o cómo son interpretadas. Estos valores siempre deben ser revisados y validados por un profesional con experiencia en PE cardiopulmonares.

Pulsioxímetro

La oximetría de pulso es un método de monitorización no invasiva de la saturación de oxígeno. Las medidas se basan en la absorción diferencial de las variaciones de la longitud de onda de la luz para estimar de forma no invasiva la proporción de hemoglobina capilar arterial oxigenada. La gran mayoría de las sondas certifican la precisión y el sesgo (2-3%) en comparación con el análisis de muestras de sangre arterial. Artefactos de movimiento y mala perfusión capilar son fuentes de error en las medidas durante el ejercicio, y tienden a causar pequeñas subestimaciones de la verdadera saturación de oxígeno, en particular con el uso de una sonda de yema del dedo. Las lecturas de FC inexactas identifican datos del pulsioxímetro poco fiables. Los pulsioxímetros proporcionan una estimación de la oxigenación y se utilizan para identificar tendencias durante el ejercicio, como control de seguridad. Una disminución de la saturación de oxígeno superior al 5% durante la ergometría, en estimación del pulsioxímetro en protocolos clínicos, sugiere una hipoxemia inducida por el ejercicio y requiere confirmación con una oximetría arterial.

Los deportistas de resistencia con alta capacidad cardiovascular pueden utilizar mejor su capacidad pulmonar que los individuos menos aptos. Pueden llegar a límites de ventilación en máximo esfuerzo que produzcan una desaturación arterial del 5% al 10% respecto del valor basal como resultado de la limitación de la difusión, debido al rápido tránsito vascular pulmonar asociado al elevado gasto cardiaco³⁴. Se trata de indicadores de límites de la capacidad de ciertos aspectos del sistema pulmonar, que no siempre indican patología.

Otros materiales

En las PE en MD es frecuente determinar el UAn mediante la evolución del lactato sanguíneo, también conocido como método metabólico. Hay diversos modelos de medición de la lactatemia capilar.

Los más sencillos y asequibles son los analizadores electroenzimáticos o de química seca.

Ergómetros

Un ergómetro es un equipo mecánico o eléctrico que permite dosificar la carga de trabajo aplicada al individuo que se evalúa.

Este instrumento debe permitir graduar la carga de trabajo oponiendo una resistencia cuantificable. A través de diferentes parámetros físicos, como la velocidad, la pendiente o la masa, se podrá modificar la intensidad de la carga.

Los ergómetros más utilizados son el escalón, el cicloergómetro, el tapiz rodante y el ergómetro de brazos.

Escalón (*step test*)

Es un ergómetro muy utilizado sobre todo en *screening* o filtro de grandes colectivos (poblaciones sedentarias o infantiles) y de deportistas que no tengan fácil acceso a laboratorios de tecnología más compleja³⁵. Consiste en uno o más escalones que el individuo debe subir a una velocidad determinada y de diversas formas según la prueba empleada. La potencia se calcula mediante ecuaciones partiendo de unas condiciones estándar en cuanto a la altura del banco y las frecuencias de subida.

Los tipos de pruebas disponibles para este ergómetro son poco adecuados para la evaluación funcional específica en la mayor parte de las disciplinas deportivas. Algunos de los inconvenientes que presentan son:

- Producen fatiga local en los grupos musculares utilizados para hacer que todo el cuerpo ejecute la acción de subir el escalón.
- No permiten la implicación del sistema cardiorrespiratorio con los sistemas muscular y circulatorio periférico en condiciones similares a las de competición.
- El deportista suele realizar la prueba de forma irregular o incompleta si no eleva el centro de gravedad los centímetros del escalón, dando lugar a una valoración incorrecta.
- A pesar del empleo de cronómetros ópticos y acústicos, no todos los individuos son capaces de mantener la velocidad de ascenso y descenso necesarias.

Cicloergómetro

Se trata de una bicicleta estática en la que se mide la resistencia al pedaleo. Puede ser:

- *De freno mecánico*: resistencia fija al pedaleo, con ritmo constante próximo a 50-60 pedaladas por minuto. En este tipo de cicloergómetros, la resistencia se coloca externamente en forma de peso que tensa la correa colocada alrededor de la rueda, de forma que el rozamiento producido es proporcional al peso colocado. Otra variable utilizada para controlar la intensidad del esfuerzo es la velocidad angular (rpm).
- *De freno electrónico*: la potencia es independiente de la velocidad angular, de forma que la variable utilizada para fijar la intensidad del esfuerzo es directamente la potencia en vatios (W).

La carga de trabajo puede ser regulada en W o en kilopondímetros (Kpm) por minuto ($6 \text{ Kpm/min} = 1 \text{ W}$)¹.

Este ergómetro tiene, evidentemente, un uso particular en deportes de bicicleta, de tal forma que debe ajustarse para que el deportista pueda simular su gesto deportivo lo mejor posible.

Ajustes para una correcta evaluación:

- El manillar debe tener una altura regulable y diseño de competición.
- El sillín debe ser de competición y regulable tanto en vertical como en horizontal, de manera que la distancia entre el manillar y el sillín, así como entre el manillar y los pedales, pueda variarse.
- Los pedales suelen usarse con topes (rastrales) para los pies.

Las ventajas del cicloergómetro respecto al tapiz rodante, que es el otro ergómetro más utilizado, son su menor precio, que ocupa menos espacio y que es menos ruidoso³.

Además, el registro ECG es más estable. Sin embargo, en las personas no acostumbradas a ese ejercicio provoca una fatiga localizada en las extremidades inferiores que limita la tolerancia a la PE.

Tapiz rodante (*treadmill*)

Es el ergómetro más utilizado porque permite desarrollar movimientos naturales, como la marcha y la carrera.

Consiste en una cinta sin fin movida por un motor eléctrico y sobre la que el paciente debe caminar o correr a distintas velocidades y pendientes, según el protocolo utilizado¹.

Aunque con las variables que se trabaja son la velocidad y la pendiente, en la valoración de deportistas la pendiente suele mantenerse fija en un 1%, ya que se ha determinado que esta inclinación compensa el menor costo metabólico que tiene correr en un lugar cerrado y sin desplazamiento real, donde no existe resistencia al aire.

Es importante que el tapiz tenga una barra frontal y pasamanos a ambos lados, aunque el apoyo en ellos falsee la capacidad funcional calculada, ya que facilita el trabajo del paciente y aumenta el tiempo de esfuerzo.

Se trata de un ergómetro más caro, que requiere más espacio y que es más ruidoso que el cicloergómetro.

Ergómetro de brazos

Es una máquina en la cual se agarran unos pedales con las manos y se realiza un movimiento circular alternativo semejante al de pedalear en una bicicleta.

En principio este ergómetro fue concebido para poder valorar a personas con incapacidad funcional en el tren inferior, ya que pueden acceder al ergómetro con su propia silla de ruedas.

También se utiliza para la realización de test anaeróbicos, como el Wingate, de interés en deportes en los que el trabajo se realiza con los brazos.

La carga de trabajo se regula en W.

Kayak-ergómetro

Se trata de una máquina que simula el movimiento de la palada del piragüista. La resistencia se produce a través de una turbina de desplazamiento de aire que simula las dinámicas del agua, de tal forma que este sistema de freno permite el uso del ergómetro independientemente de la edad o del nivel de forma.

El asiento del kayak es regulable para ajustar la distancia al reposapiés, y la pértiga suele ser ligera.

La carga se regula por el esfuerzo de tirar, aunque lleva un mecanismo adicional para la regulación del factor de resistencia del ventilador frontal.

En las PE con kayak-ergómetro suele ajustarse el ritmo de palada con un cuentapaladas.

Es habitual que el medidor de potencia muestre información sobre la distancia recorrida, el tiempo, los W y la fuerza aplicada con cada brazo.

En cuanto a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio existen discrepancias entre los autores sobre si los datos de laboratorio se ajustan o no a los conseguidos en agua^{36,37}.

Remoergómetro

Este ergómetro ofrece una simulación del remo en el agua. Según el tipo de deporte, encontramos remoergómetros con apoyos de pies fijos o móviles:

- Apoyo dinámico: el carro de los pies es libre para moverse hacia delante o atrás en el monorraíl. La cuerda de accionamiento conecta el carro reposapiés con la empuñadura y transmite la fuerza de las piernas combinada con la fuerza del tronco superior al ventilador.
- Apoyo estático: es el asiento el que se desliza por el monorraíl y los reposapiés van fijos.

En ambos ergómetros pueden controlarse los W y la distancia. Cuando se utiliza en deportistas jóvenes y con poca experiencia, los resultados del rendimiento en el remoergómetro van a depender de ciertos valores antropométricos³⁸.

Ergómetro para canoa canadiense

Este tipo de ergómetro se basa en un dispositivo en el que el deportista adopta la misma posición arrodillada que en el bote. La rodilla del deportista descansa sobre un soporte anatómico.

La reproducción mecánica del movimiento es posible empleando un sistema de frenado mediante una cinta que se enrolla en un volante que ofrece resistencia cuando la pala se mueve hacia la parte posterior del ergómetro, pero que permite un deslizamiento libre en la fase de recuperación. El instrumento consiste en dos guías de 2,5 m, una a cada lado, de forma que el deportista pueda remar en cualquier lado del bote, por las cuales discurre una pala mediante un sistema articulado.

La pala está conectada a un cable que rota sobre dos poleas, de las que la primera forma un conjunto integral con el volante. Para analizar la fuerza aplicada en cada fase activa se aplica un tensiómetro en cada pala.

Este ergómetro permite evaluar a dos deportistas al mismo tiempo, uno en cada guía.

Ergómetro para esquí nórdico

Este aparato se coloca sobre una cinta rodante y, a efectos de cálculo del trabajo efectuado por las extremidades superiores, se utiliza el mismo sistema de medición que en la canoa canadiense. La única diferencia es el sensor de fuerza, que consiste en un transductor lineal equilibrado mediante un muelle calibrado y localizado cerca de la empuñadura del bastón.

Para las extremidades inferiores, el dispositivo posee dos esquíes de rodillos en la parte frontal, dos raíles de 2,5 m que evitan las desviaciones laterales durante las pruebas y, en los soportes de los pies, dos transductores lineales para medir las fuerzas que actúan sobre los pies.

La prueba se efectúa con el deportista esquiando sobre la cinta rodante a varias pendientes y a diferentes velocidades.

Ergómetro de natación

Este ergómetro permite a los nadadores simular las brazadas de natación tirando de cuerdas que impulsan un ventilador con resistencia variable de aire.

Tienen un banco anatómico que se desliza por un monorraíl de aluminio al tirar de las palas.

Aunque puede variarse la resistencia actuando sobre el ventilador o cambiando las gomas, normalmente se ajusta la resistencia del aire cambiando la abertura de la puerta reguladora en el frente del ergómetro. La determinación más baja, "1" (puerta totalmente cerrada), proporciona la menor resistencia, y la determinación más alta, "7" (puerta totalmente abierta), proporciona la mayor resistencia.

Existen para los nadadores ergómetros que se utilizan en el agua, como el ergómetro de brida (*tethered*) o ergómetro de natación estática y el canal de natación o corriente de agua sin fin (*flume*).

Protocolos

Los protocolos de esfuerzo son los diferentes modelos estandarizados de combinación de variables de carga (velocidad, pendiente, trabajo realizado o potencia desarrollada, paladas por minuto, etc.) y tiempo de aplicación de esas cargas en los diferentes ergómetros en el laboratorio de PE³⁹.

La elección del protocolo dependerá de los factores que se describen en la Tabla 1.

El protocolo se decide en función del motivo por el que se va a realizar la prueba y de la información que se necesita obtener de ella.

Existen dos objetivos fundamentales de las PE, y de ellos depende la elección del protocolo: la valoración funcional y el control de salud.

Con independencia del protocolo elegido, y una vez preparado el sujeto, la PE consta de tres fases: calentamiento previo, fase de esfuerzo y un periodo de recuperación postesfuerzo.

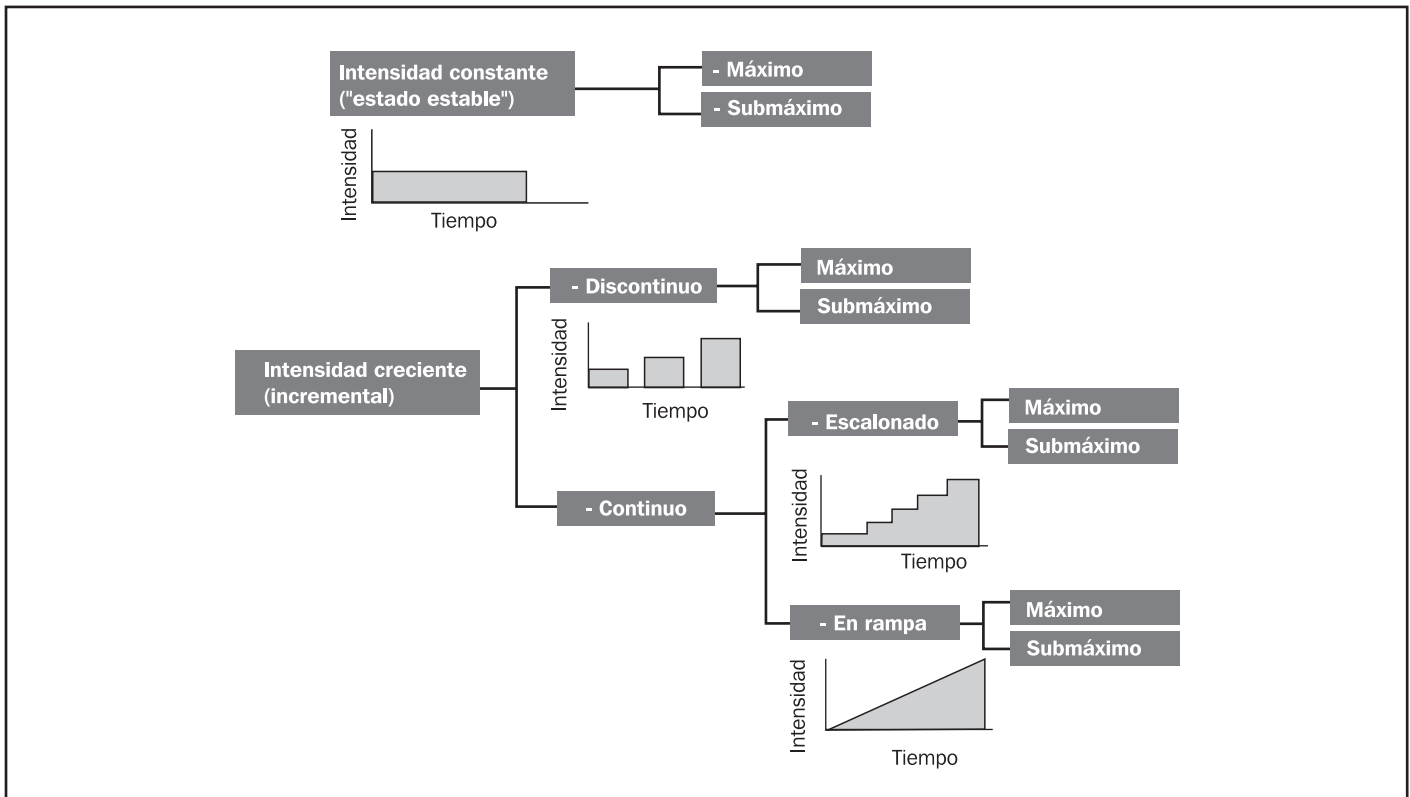
Aunque hay múltiples protocolos, todos ellos pueden clasificarse dependiendo de sus características¹, que son (Figura 2):

- Intensidad:
 - Protocolos submáximos: no llevan al sujeto a su máxima capacidad de esfuerzo.
 - Protocolos máximos: llevan al sujeto a su máxima capacidad de esfuerzo o al agotamiento.
- Aplicación de la carga de trabajo:
 - Protocolos de carga constante o rectangular: la carga se mantiene constante o estable durante toda la prueba.
 - Protocolos de carga incremental o triangular: la carga aumenta con el tiempo. En función de que tengan o no pausas para toma de muestras, estos pueden ser:

Tabla 1. Factores de los que depende la elección del protocolo de la prueba de esfuerzo.

- Indicación de la prueba.
- Actividad física o deporte que realiza la persona.
- Medios técnicos disponibles en el laboratorio de esfuerzo.
- Experiencia del equipo que realiza la prueba.

Figura 2. Tipos de protocolos.



- Continuos:
 - Incremento de la carga sin solución de continuidad en el tiempo (protocolos "en rampa").
 - La carga se mantiene un periodo de tiempo antes de cambiar a la siguiente carga (protocolo "en escalones").
- Discontinuos.

En las ergometrías submáximas se monitorizan las cargas de trabajo, la FC, o el ECG, y otras variables como la PA o la percepción subjetiva de esfuerzo. Es posible que no aparezcan cambios patológicos valorables en el ECG ni en la PA. Estas pruebas pueden ser de gran utilidad para determinar la capacidad de mantener un esfuerzo durante largo tiempo o para valorar la evolución de la condición física en sujetos aparentemente sanos en quienes no se precise una valoración diagnóstica. La selección de la carga inicial, del tiempo y de las cargas de progresión debe tener en cuenta factores como el peso, el sexo, la edad, el nivel de condición física del sujeto evaluado y el objetivo del estudio. Las pruebas submáximas se finalizan al alcanzar una intensidad predeterminada o una FC diana (por ejemplo, el 85% de la FC máxima teórica [FCMT]).

Con las ergometrías submáximas e indirectas (sin analizador de gases) se puede estimar el VO_2 máx por extrapolación a la FCMT (220 - edad) de las FC registradas en estadios submáximos, basándose en la relación lineal entre la potencia de trabajo y el VO_2 , mediante tablas o fórmulas validadas para diversos protocolos (YMCA, Astrand, PWC, ACSM...) y ergómetros⁴⁰. El error de estimación llega al 10-20%, aunque se minimiza cuando se utilizan protocolos con etapas de duración suficiente para alcanzar estados metabólicamente estables.

Las pruebas máximas suponen alcanzar la máxima capacidad de esfuerzo o el agotamiento por fatiga, que impide continuar la prueba. Se valora la máxima capacidad de trabajo físico (rendimiento máximo) del individuo o la última carga realizada. Aportan mayor información y precisión que las submáximas, aunque tienen mayor riesgo de efectos adversos.

La ergometría incremental y hasta el agotamiento con control electrocardiográfico se considera el mejor sustituto⁴¹ de la medida directa del VO_2 mediante ergoespirómetro, pudiendo estimar el VO_2 máx mediante ecuaciones, que incluyen el peso corporal y la potencia máxima alcanzada (PMA) en el cicloergómetro, o el tiempo de prueba en tapiz, y que están validadas por cálculos de regresión efectuados sobre poblaciones concretas.

Protocolos para la valoración de la capacidad funcional

Dentro de las determinaciones que se realizan en estas PE, tal vez la más importante sea el VO_2 máx dado que es un indicador del sistema de transporte de oxígeno y que depende del funcionamiento integrado de los sistemas cardiovascular, respiratorio y metabolismo energético³⁹.

Los protocolos para la valoración del VO_2 máx deben tener, en términos generales, un periodo de familiarización previa con el ergómetro, un periodo de calentamiento adecuado (de 8-12 minutos) e incrementos pequeños en la carga de trabajo, y deben implicar grandes grupos musculares (>50% de la masa muscular corporal total), siendo preferible el ejercicio al que el sujeto esté más habituado o le resulte más cómodo para poder realizar un esfuerzo máximo.

El objetivo de la prueba condicionará el protocolo que debe utilizarse³⁵, de tal manera que la determinación de umbrales por el método ventilatorio precisa un protocolo en rampa o con escalones cortos (no superiores a 1 min), pues hace falta un incremento aproximadamente lineal de las variables que permitan analizar las pendientes propias de los umbrales ventilatorios.

La determinación de una curva de lactato precisa un protocolo de etapas largas, de 3-4 minutos, para alcanzar el estado estable en cada carga, lo que permite la estabilización de la lactatemia en cada intensidad. Si la prueba se realiza en tapiz, hay que hacer pausas inferiores a 1 minuto para obtener las muestras capilares, lo que supone utilizar un protocolo discontinuo.

Se recomienda no cambiar el protocolo ni las condiciones de realización de la PE en el mismo deportista para que puedan compararse los resultados obtenidos en todas ellas. Es útil, al inicio de la temporada, realizar una PE con implicación del mayor número posible de grupos musculares para comprobar los límites del aparato cardiovascular y respiratorio, y para valorar los parámetros máximos de capacidad funcional. Posteriormente, en la época de entrenamiento, es más adecuado realizar valoraciones en el laboratorio reproduciendo el gesto deportivo, combinándolas con test específicos como pruebas de campo³⁹.

En deportistas con mala condición física y obesos se utilizan, como alternativa a los protocolos semiplanos con incrementos preferentes de velocidad en tapiz rodante, el protocolo de Bruce o el protocolo de Bruce en rampa⁴², o bien un test incremental en rampa en cicloergómetro, que es el ergómetro mejor tolerado cuando el grado de obesidad es importante.

Protocolos en tapiz rodante

Los esfuerzos que los deportistas realizan en algunos entrenamientos y en la mayor parte de las competiciones son máximos, por lo que las PE en deportistas, especialmente si son de alto nivel, deben ser máximas. Será el propio deportista el que finalice la prueba cuando considere que ha alcanzado su máximo esfuerzo y no pueda proseguir. Se le permitirá agarrarse y suspenderse de las barras laterales del tapiz, y apoyarse con los pies en las bandas laterales de la cinta. A partir de este momento, realizará una recuperación caminando a 4-5 km•h⁻¹.

Hay muchos protocolos para tapiz rodante. En la Tabla 2 se describe un test progresivo escalonado continuo máximo que es de gran utilización en estos deportistas. Aunque las pruebas en tapiz se realizan en deportistas con una pendiente fija del 1%, en los últimos estadios pueden utilizarse pequeños incrementos de pendiente para asegurar el esfuerzo máximo.

Tabla 3. Ventajas que ofrecen los protocolos en rampa³⁹.

- Buena adaptación biomecánica al ergómetro, limitando al máximo los cambios bruscos y repentinos en la intensidad de la carga. La adaptación fisiológica y psicológica es mejor que con protocolos de estadios de 1 a 3 minutos.
- Disminución del riesgo de caídas y lesiones.
- Permite calcular el incremento de la carga de manera individualizada en duraciones de la prueba de 8-12 minutos. Por lo tanto, son útiles para todo tipo de poblaciones (deportistas de cualquier nivel, sedentarios, niños, tercera edad, enfermos, obesos, discapacitados, etc.).
- Son protocolos fiables y cómodos, con duración corta y buena adaptación del sujeto.
- Permiten determinar los valores máximos de esfuerzo (VO₂, FC y VE, entre otras variables).
- Facilidad de determinación de los parámetros submáximos de esfuerzo (umbrales aeróbico y anaeróbico por método ventilatorio), por ser un protocolo continuo (sin pausas entre estadios) y en el que no se producen cambios bruscos en el intercambio de gases respiratorios.

Los protocolos en rampa se usan en la valoración de deportistas y permiten acortar la duración de los estadios con incrementos mínimos de intensidad^{43,44}. Estos protocolos tienen las ventajas que se describen en la Tabla 3.

Aunque en los protocolos en rampa no se obtienen estados estables, se obtienen parámetros máximos y submáximos similares a los determinados en protocolos incrementales en rampa y escalonados.

Su inconveniente es que precisan ergómetros muy precisos que no están disponibles en muchos laboratorios.

Un modelo de protocolo utilizado para valorar a deportistas de alto nivel consiste en incrementos de velocidad del tapiz rodante de 0,25 km•h⁻¹ cada 15 segundos. La pendiente se mantiene constante al 1% y pasa a incrementarse un 0,25% cada 15 segundos a partir del minuto 13 de ejercicio. La velocidad inicial es de 6 km/h en las mujeres y de 8 km/h en los hombres³⁹.

Protocolos en cicloergómetro

Se utilizan en los deportes de ciclismo y triatlón, y en situaciones en las que hay dificultad para utilizar el tapiz rodante, como alteraciones

Tabla 2. Protocolo de esfuerzo en tapiz rodante. Test incremental máximo escalonado continuo. 1%, 6-8 km × h⁻¹ + 1 km × h⁻¹ cada minuto. Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de Deportes³⁹.

Estadio	Calentamiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Velocidad	M.4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
km × h ⁻¹	V.6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Pendiente (%)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4
Tiempo (min)	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

del equilibrio y limitaciones ortopédicas. También se usan cuando se pretende controlar la PA con más exactitud, o incluso para tener un mejor registro electrocardiográfico³.

Las PE en cicloergómetro tienen limitaciones importantes, como su incomodidad (aunque hay dispositivos que permiten utilizar la bicicleta del deportista) y que provocan fatiga de la musculatura extensora de la rodilla en deportistas no experimentados, lo que limita la tolerancia a la prueba y con cierta frecuencia provoca la terminación de esta antes de alcanzar el VO_2 máx, con valores un 10-20% inferiores a los que se conseguirían entre los que están y los que no están acostumbrados a la PE en cicloergómetro⁴⁵.

Hay protocolos de PE destinados a reproducir las condiciones de la competición de acuerdo con la duración, la intensidad y el ergómetro, y así poder valorar los parámetros máximos de esfuerzo reales de cada deportista en su prueba específica.

Son ejemplos de este tipo de test los que simulan la competición de piragüismo de 500 y 1.000 metros. Son test de 2 y 4 minutos, respectivamente, en kayak-ergómetro. En remo se simula la competición de 2.000 metros, en un test de 6 minutos. Todos estos test se realizan a intensidad máxima, con un calentamiento libre. Además de los parámetros máximos de esfuerzo, en este tipo de test se valora el periodo de recuperación. El inconveniente de estos protocolos es que no se valoran los parámetros submáximos de esfuerzo³⁹.

Hay protocolos para PE aeróbicas incrementales submáximas para valoración indirecta del VO_2 máx, que se emplean en caso de no disponer de analizador de gases o porque no sea necesario realizar una valoración directa del VO_2 máx (por ejemplo, en deportistas aficionados, de tiempo libre o recreacionales). Se basan en la relación lineal que existe entre la FC y la carga de trabajo, lo que permite calcular de forma indirecta el VO_2 máx aplicando el nomograma de Astrand o mediante fórmulas de estimación. Son test de evaluación de la capacidad de trabajo físico y se realizan a FC fijas, como PWC-170, PWC-150 y PWC-130 (*physical work capacity* a 170, 150 y 130 lpm), con utilidad para valorar la evolución de la condición física tras un programa de entrenamiento y para el control de salud.

Los protocolos de esfuerzo de estado estable se destinan a valorar la respuesta de los parámetros fisiológicos a cargas submáximas que utilizan intensidades constantes de trabajo constante de larga duración (al menos 15-20 min). Son de utilidad en deportes de resistencia y se usan para precisar el trabajo correspondiente al UAn. En estos test se busca la máxima intensidad de trabajo que puede realizarse en una condición de estabilidad metabólica, durante un ejercicio de larga duración, y son útiles como valoración del rendimiento en especialidades deportivas de fondo³⁹.

Protocolos en banco

Prueba de la escalera de Margaria-Kalamen

Es una prueba destinada a medir la potencia anaeróbica máxima⁴⁶.

Se precisa un tramo de escalera de 12 peldaños de unos 17,5 cm de altura cada uno (Figura 3). Se marca el punto de salida 6 metros antes del primer peldaño y la prueba requiere que el sujeto suba los peldaños de tres en tres (desde el peldaño 3 hasta el peldaño 9) a la máxima velocidad posible. Se repite tres veces y se anota el mejor tiempo.

Figura 3. Esquema de la escalera utilizada para el test de Margaria-Kalamen.

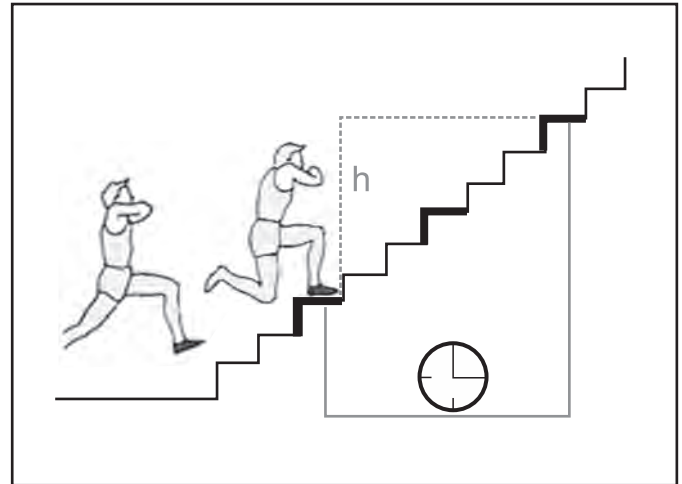


Tabla 4. Clasificación de resultados de la prueba de Margaria-Kalamen.

	Hombres (kg m/s)				
	15-20 años	20-30 años	30-40 años	40-50 años	>50 años
Baja	<113	<106	<85	<65	<50
Regular	113-149	106-139	85-111	65-84	50-65
Media	150-187	140-175	112-140	85-105	66-82
Buena	188-224	176-210	141-168	106-125	83-98
Excelente	>224	>210	>168	>125	>98
	Mujeres (kg m/s)				
	15-20 años	20-30 años	30-40 años	40-50 años	>50 años
Baja	<92	<85	<65	>50	<38
Regular	92-120	85-111	65-84	50-65	38-41
Media	121-151	112-140	85-105	66-82	49-61
Buena	152-182	141-168	106-125	83-98	62-75
Excelente	>182	>168	>125	>98	>75

La potencia desarrollada se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Potencia (kg m/s)} = [M \cdot d] \div t$$

donde M es el peso corporal en kilos, d es la distancia vertical entre los peldaños 3 y 9 (medir la altura de un peldaño y multiplicar por 6) y t es el tiempo en centésimas de segundo.

La prueba se valora de acuerdo con la clasificación mostrada en la Tabla 4.

Prueba en banco de Astrand

Prueba submáxima destinada a calcular la capacidad aeróbica máxima. Tiene las ventajas de su bajo coste y su posibilidad de aplicación a grandes grupos de población.

Se utiliza un banco de 40 cm para hombres de más de 1,50 m de estatura y de 33 cm para mujeres y hombres de menos de 1,50 m.

El individuo debe subir y bajar en el banco a una cadencia de 22,5 subidas por minuto. Se mide la FC al finalizar la prueba y se calcula el VO₂máx mediante el nomograma de Astrand-Ryhming⁴⁷ (Figura 4).

Protocolos para control de salud

Aunque uno de los primeros trabajos realizado sobre PE, en 1918, estudia la PA como indicador de eficiencia cardíaca⁴⁸, desde finales de la década de 1940⁴⁹ se consolida el primer uso de las PE como herramienta diagnóstica y de valoración de la cardiopatía isquémica³. Actualmente,

las aplicaciones de las PE son mayores, y en MD se utilizan en el control de salud de diversas patologías (HTA, asma inducida por el ejercicio, arritmias inducidas por esfuerzos específicos...), para estratificación de riesgo, para control de la efectividad de algunas medicaciones y para prescripción de ejercicio, entre otras indicaciones.

Protocolos de pruebas de esfuerzo en los niños

Aunque los criterios de elección del protocolo de PE en los niños son equiparables a los de los adultos, debe hacerse una adaptación en función del tamaño, la edad y la condición física del niño^{50,51}.

La duración de la prueba no debe ser larga y hay que programarla para que dure entre 8 y 12 minutos. De esta manera, el niño no se aburre ni desmotiva. Además, en los protocolos en tapiz rodante deben evitarse las velocidades altas para no limitar a los niños que tengan una zancada pequeña⁵², siendo recomendable aumentar solo la velocidad o la pendiente utilizando, en cualquier caso, incrementos de carga pequeños.

Las PE corriendo en tapiz rodante y los protocolos en rampa son una buena opción en la población pediátrica, mientras que las PE en cicloergómetro en niños pequeños son poco recomendables porque les resulta difícil mantener una cadencia de pedaleo constante.

Los protocolos propuestos para cicloergometría en niños y adolescentes son los incrementales de tipo continuo⁵³, utilizando incrementos de la carga de 0,025 W/kg cada 6 segundos, o de 0,5 W/kg cada 2 minutos, partiendo de una carga inicial de 0-0,5 W/kg.

Los protocolos que más se utilizan en tapiz rodante en niños son el de Bruce y el de Balke modificado³⁹. En este último se mantiene constante la velocidad y solo se modifica la pendiente. En los niños con buena condición física, es mejor mantener constante la pendiente y aumentar la velocidad⁵⁴.

En los niños que tienen limitada su tolerancia al esfuerzo se usan protocolos con incrementos de carga más lentos, lo que permite valorar la respuesta antes del agotamiento, como el McMaster (en cicloergómetro) y el Balke modificado (en tapiz rodante) (Tabla 5).

Figura 4. Nomograma de Astrand-Ryhming⁴⁷.

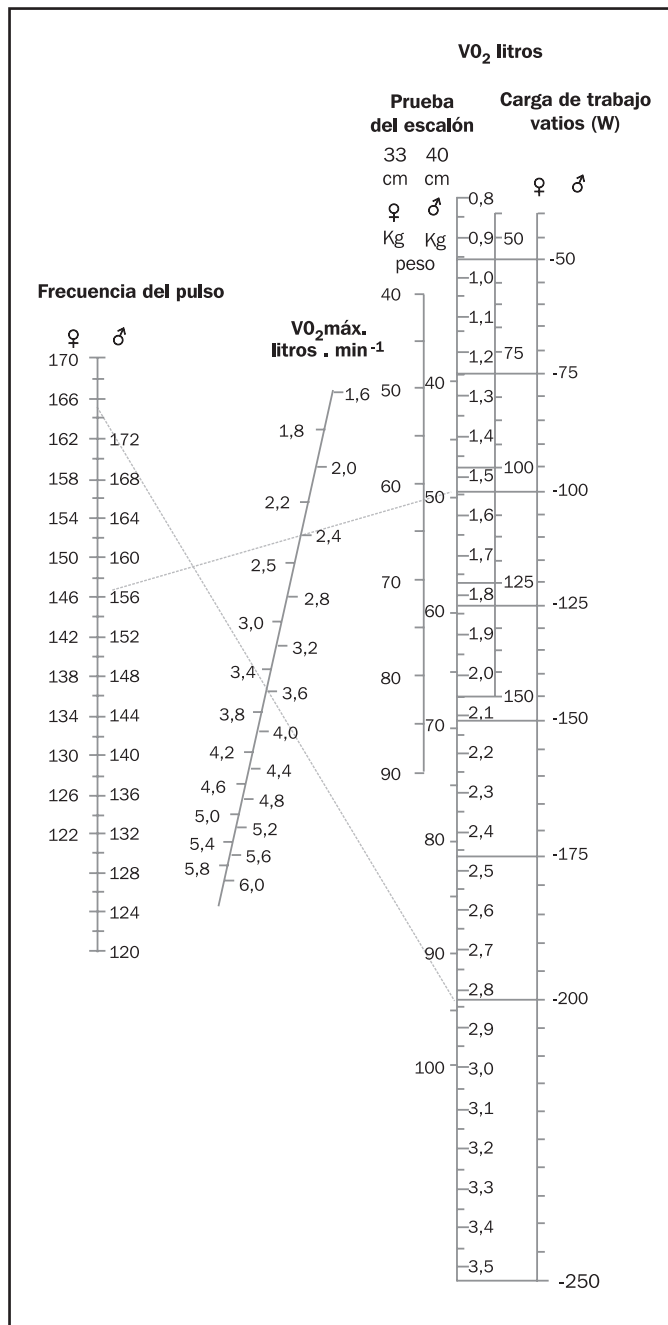


Tabla 5. Protocolos de esfuerzo en niños³⁹.

Prueba de McMaster para cicloergómetro				
Talla (cm)	Carga inicial (W)	ΔW	Ritmo pedaleo (rpm)	Tiempo (min)
<120	12,5	12,5	50	2
120-139,9	12,5	25		2
140-159,9	25	25		2
>160	25	50(♂)-25(♀)		2
Prueba de Balke modificada para tapiz rodante				
Sujeto	Velocidad (km × h ⁻¹)	Pendiente inicial (%)	Δ Pendiente (%)	Tiempo (min)
Escasa condición física	4,8	6	2	2
Sedentario	5,2	6	2	2
Activo	8	0	2,5	2
Deportista	8,4	0	2,5	2

Protocolos de pruebas de esfuerzo en personas de edad avanzada

La elección del protocolo en personas de edad avanzada depende del estado físico del individuo. Si su estado físico es bueno, está sano y hace deporte, no hay limitación para realizar pruebas máximas en tapiz rodante y en cicloergómetro. En los ancianos con poca coordinación, estabilidad y equilibrio, para evitar caídas y para que la prueba sea de más fácil realización, es aconsejable utilizar el cicloergómetro. Como no hay un protocolo ideal para este grupo de población, la PE debe individualizarse según las características de la edad y de la condición física. Los protocolos de mayor uso en los ancianos son el de Balke y el de Naughton modificado para tapiz rodante, pero lo importante es aumentar la pendiente antes que la velocidad para marchar durante la mayor parte de la prueba. En cicloergómetro, los protocolos más usados son los protocolos en rampa.

Protocolos de pruebas de esfuerzo en deportistas con discapacidad

En los deportistas con discapacidad física deben usarse ergómetros adaptados a la situación del individuo. Los discapacitados visuales pueden realizar PE sin gran dificultad, tanto en tapiz como en cicloergómetro en función de su especialidad deportiva. El roce o el contacto ocasional con las barras laterales y frontal del tapiz les sirve de referencia, pero los invidentes con frecuencia necesitan realizar la PE en tapiz agarrados a una de las barras laterales. Aparte de estas observaciones, los protocolos son similares a los utilizados para videntes.

Los deportistas en silla de ruedas realizan la PE en un ergómetro de brazos (ergómetro de manivela, que es el que más se usa) o en su propia silla de ruedas en un tapiz rodante adaptado, con protocolos en rampa o escalonados con incrementos variables de la carga⁵⁵.

En los deportistas con discapacidad física y psíquica deben extremarse las medidas de seguridad para evitar accidentes, y hay que hacer un esfuerzo para que el deportista se adapte al protocolo, al ergómetro y a las condiciones del laboratorio³⁹.

Protocolos de uso frecuente en el laboratorio

Test discontinuo con escalones largos

Ergómetro	Tapiz.
Reposo	Registro de 1 minuto.
Calentamiento	3 minutos a 8 km/h (hombres) o 7 km/h (mujeres).
Inicio prueba	8 km/h (mujeres) o 9 km/h (hombres).
Incrementos	2 km/h cada 3, 5 o 4 minutos (ver observaciones).
Recuperación	Mantener el registro de gases hasta que: 1) se establezca el descenso de VO_2 , o 2) la FC llegue a 120, o 3) el RER comience a descender. Determinar el lactato en los minutos 1, 3, 5, 8 y 12.
Observaciones	Los escalones son de 3 minutos de carrera y 0,5-1 minuto de parada para la toma de muestras.

Este test es de utilidad para la realización de curvas de lactato en tapiz rodante.

Test continuo con escalones largos

Ergómetro	Ciclo.
-----------	--------

Reposo	Registro de 1 minuto.
Calentamiento	3 minutos a 50 W, cadencia libre.
Inicio prueba	75 o 100 W (según nivel).
Incrementos	25 o 50 W (según nivel) cada 3 o 4 minutos.
Recuperación	Mantener el registro de gases hasta que: 1) se establezca el descenso de VO_2 , o 2) la FC llegue a 120, o 3) el RER comience a descender. Determinar el lactato en los minutos 1, 3, 5, 8 y 12.
Observaciones	Las muestras para lactato se toman en los últimos 30 segundos de cada escalón, en el lóbulo de la oreja, sin detener el test.

Este test es de utilidad para la realización de curvas de lactato en cicloergómetro.

Test continuo con escalones cortos

Ergómetro	Ciclo.
Reposo	Registro de 1 minuto.
Calentamiento	3 minutos a 50 W, cadencia libre.
Inicio prueba	75 o 100 W (según nivel).
Incrementos	25 o 50 W (según nivel) cada minuto.
Recuperación	Mantener el registro de gases hasta que: 1) se establezca el descenso de VO_2 , o 2) la FC llegue a 120, o 3) el RER comience a descender.

Este test es de utilidad para la determinación de umbrales ventilatorios en cicloergómetro.

Test continuo con escalones cortos

Ergómetro	Tapiz.
Reposo	Registro de 1 minuto.
Calentamiento	3 minutos a 8 km/h (hombres) o 7 km/h (mujeres).
Inicio prueba	9 km/h (hombres) u 8 km/h (mujeres).
Incrementos	1 km/h cada minuto.
Recuperación	Mantener el registro de gases hasta que: 1) se establezca el descenso de VO_2 , o 2) la FC llegue a 120, o 3) el RER comience a descender.

Este test es de utilidad para la determinación de umbrales ventilatorios en tapiz.

Test continuo en rampa de 25 W

Ergómetro	Ciclo.
Reposo	Registro de 1 minuto.
Calentamiento	3 minutos a 50 W, cadencia libre.
Inicio prueba	50 W.
Incrementos	25 W cada minuto (5 W cada 12 s).
Recuperación	Mantener el registro de gases hasta que: 1) se establezca el descenso de VO_2 , o 2) la FC llegue a 120, o 3) el RER comience a descender.
Observaciones	Rampa indicada en mujeres y en ciclistas con poca forma. La cadencia de pedaleo es libre, pero debe mantenerse por encima de 60 rpm.

Test continuo en rampa de 30 W

Ergómetro	Ciclo.
Reposo	Registro de 1 minuto.
Calentamiento	3 minutos a 50 W, cadencia libre.

Inicio prueba	50 W.
Incrementos	30W cada minuto (10W cada 20 s o 5 W cada 10 s).
Recuperación	Mantener el registro de gases hasta que: 1) se establezca el descenso de VO_{2r} , o 2) la FC llegue a 120, o 3) el RER comience a descender.
Observaciones	La cadencia de pedaleo es libre, pero debe mantenerse por encima de 60 rpm.

Test continuo en rampa de 35 W

Ergómetro	Ciclo.
Reposo	Registro de 1 minuto.
Calentamiento	3 minutos a 50 W, cadencia libre.
Inicio prueba	50 W.
Incrementos	35 W cada minuto (12 W cada 20 s).
Recuperación	Mantener el registro de gases hasta que: 1) se establezca el descenso de VO_{2r} , o 2) la FC llegue a 120, o 3) el RER comience a descender.
Observaciones	Solo para ciclistas de nivel. La cadencia de pedaleo es libre, pero debe mantenerse por encima de 60 rpm.

Estos test en rampa son especialmente útiles para la determinación de umbrales ventilatorios en cicloergómetro. Son de elección en deportistas con buena adaptación a la bicicleta.

Test de Wingate

Ergómetro	Ciclo mecánico (Monark).
Calentamiento	Libre, 3 a 5 minutos.
Carga	Hombres: 75 g/kg de peso.
Mujeres:	45 g/kg de peso.
Ejecución	Pedalear a la máxima velocidad posible durante 30 segundos, recogiendo las rpm cada 5 segundo.
Observaciones	Realizar en día distinto a la prueba de esfuerzo. Si es el mismo día, hacer este test antes y dejar al menos 30 minutos entre ambos.

Test de Wingate de brazos

Ergómetro	Ergómetro de brazos (Monark).
Calentamiento	Libre, 3 a 5 minutos.
Carga	0,005 kg/kg de peso
Ejecución	Girar la manivela con los brazos a la máxima velocidad posible durante 30 segundos, registrando los lpm cada 5 segundos.

Las cargas a aplicar se especifican en la Tabla 6.

Este test sigue utilizándose en la actualidad, aunque se han propuesto algunas modificaciones^{56,57}.

El test de Wingate es de elección para la valoración del metabolismo anaeróbico láctico (potencia, capacidad y resistencia) en cicloergómetro.

Test del déficit máximo de O₂ acumulado (DMOA)

Ergómetro	Tapiz.
Día 1	Determinar el $VO_{2máx}$ mediante test incremental.
Día 2	Determinar la recta de economía de carrera ($x = vel$; $y = VO_{2r}$) mediante: <ul style="list-style-type: none"> - Método A: ocho cargas submáximas comprendidas entre el 35% y el 100% del $VO_{2máx}$, con una duración entre 5 y 10 minutos (igual

Tabla 6. Cargas a aplicar en el test de Wingate (piernas y brazos).

Peso corporal	Pierna	Brazo
20,0-24,9	1,75	1,25
25,0-29,9	2,0	1,5
30,0-34,9	2,5	1,75
35,0-39,9	3,0	2,00
40,0-44,9	3,25	2,25
45,0-49,9	3,5	2,5
50,0-54,9	4,0	2,75
55,0-59,9	4,25	3,0
60,0-64,9	4,75	3,25
65,0-69,9	5,0	3,5
70,0-74,9	5,5	3,95
75,0-79,9	5,75	4,0
80,0-84,9	6,25	4,25
85,0	6,50	4,5

para todas) y una inclinación del tapiz del 10,5%.

- Método B (simplificado): dos cargas submáximas (una <85% $VO_{2máx}$ y otra >85% $VO_{2máx}$) con una duración de 10 minutos y una inclinación del tapiz del 10,5%.

Día 3

Test supramáximo a una intensidad equivalente al 140% de la velocidad a la que se obtiene el $VO_{2máx}$ en la recta de economía, hasta el agotamiento (2-4 min). Se estima en la recta la demanda de O_2 para esa intensidad y se multiplica por la duración del test en minutos (demanda acumulada de O_2). La diferencia entre esta y el consumo acumulado de O_2 es el DMOA (ml/kg).

Este es un test de gran utilidad para valorar la contribución del metabolismo anaeróbico en pruebas supramáximas. Está especialmente indicado para la valoración de velocistas, aunque es poco utilizado por la complejidad de su realización.

Test clínico en cicloergómetro

Ergómetro	Ciclo.
Reposo	Registro de 1 minuto.
Calentamiento	Sin carga, 3 minutos, velocidad libre y sin conexión de gases.
Inicio prueba	25 o 50 W (según la capacidad del sujeto).
Incrementos	Entre 10 y 25 W (según la capacidad del sujeto) a intervalos de 1-3 minutos.
Recuperación	Mantener el registro hasta que: 1) se establezca el descenso de VO_{2r} , o 2) la FC llegue a 120, o 3) el RER comience a descender.
Observaciones	Indicado para el seguimiento del ECG y de la PA. La cadencia de pedaleo es libre, pero debe mantenerse por encima de 60 rpm.

Test de provocación ventilatoria

Ergómetro	Ciclo o tapiz.
Reposo	Realizar espirometría basal.
Prueba	Aumentar poco a poco la intensidad hasta alcanzar una ventilación entre el 60% y el 70% de la máxima (calculada como el FEV1 × 35), y mantener esa carga al menos 6 minutos. Si no se dispone de ventilación, mantener 10 minutos a una intensidad del 70% de su VO ₂ máx (o de su FCmáx).
Observaciones	Indicada para el diagnóstico de la broncoconstricción inducida por el ejercicio. Realizar espirometría a los 5, 10, 20 y 30 minutos de la finalización del test.

Test de Bruce

Ergómetro	Tapiz.	
Reposo	Registro de 1 minuto.	
Duración carga	3 minutos.	
Carga	Velocidad (km/h)	Pendiente (%)
Calentamiento	1,6	0
1	2,7	10
2	4	12
3	5,4	14
4	6,7	16
5	8	18
6	8,8	20
7	9,6	22
Recuperación	2,4	0

Test de Bruce modificado

Ergómetro	Tapiz.	
Reposo	Registro de 1 minuto.	
Duración carga	3 minutos.	
Carga	Velocidad (km/h)	Pendiente (%)
Calentamiento	1,6	0
1/2	2,7	5
1	2,7	10
2	4	12
3	5,4	14
4	6,7	16
5	8	18
6	8,8	20
7	9,6	22
Recuperación	2,4	0

El protocolo de Bruce tiene como ventajas su gran utilización, lo que permite realizar comparaciones muy precisas. Además, los 3 minutos de cada escalón permiten la adquisición de datos, aunque los elevados incrementos de carga entre estadios presentan una relación débil entre el VO₂ y la carga de trabajo, y que el cuarto escalón se puede hacer corriendo o caminado, lo que resulta en diferentes consumos de oxígeno.

Elección del protocolo

Las PE son un acto médico con finalidad diagnóstica, tanto clínica como funcional, y es por ello que debe escogerse el mejor protocolo

para lograr la mayor sensibilidad y la más alta fiabilidad de la información que se obtenga.

En primer lugar, la elección se hace de acuerdo con la característica de la prueba: si es una prueba exclusivamente clínica, en busca de confirmación de alguna sospecha patológica, o si es una prueba funcional, que pretenda una valoración funcional del entrenamiento deportivo. En este último caso, en ocasiones el protocolo no es estándar, sino más específico en función del deporte practicado.

En segundo lugar, se elige el protocolo según se trate de un niño, un adulto, un anciano o un discapacitado.

En tercer lugar, hay que decidir si se hace una prueba con análisis de gases respiratorios (directa) o bien sin dicho análisis (indirecta).

En general, el ergómetro a utilizar será por defecto el tapiz rodante, aunque según circunstancias varias, como si el paciente tiene problemas del aparato locomotor, o en el caso de un ciclista, o de un discapacitado de tren inferior, se utilizarán el cicloergómetro, el ergómetro de manivela u otro más específico.

En los niños, el protocolo no debe superar los 8-12 minutos de duración.

Si se utiliza el tapiz rodante, la elección del protocolo dependerá del tamaño del niño. Por ejemplo, los menores de 8 años pueden tener dificultad de adaptación para aumentos de velocidad superiores a 3 km/h, por lo que se recomiendan incrementos progresivos y uniformes de velocidad y pendiente¹, pero no de forma simultánea. Si el objetivo es clínico, se usa preferentemente el protocolo de Bruce o el de Bruce adaptado⁵⁸, aunque también puede utilizarse el de Balke, que mantiene una velocidad constante incrementando la pendiente, o el de Balke modificado, en el que la velocidad está en relación con el nivel de entrenamiento, la edad y el tamaño corporal. En el caso de pruebas funcionales, se recomienda un protocolo de carrera a pendiente fija del 3% con incrementos de velocidad de 0,5 km/h cada minuto, siendo la velocidad inicial de 4 km/h⁵⁹.

En cicloergómetro, en las pruebas clínicas, se utiliza un protocolo con carga inicial de 0,5-1 W/kg, con incrementos cada 2-3 minutos para poder realizar correctas mediciones electrocardiográficas y de la PA (protocolo de James, Godfrey, PWC...). Si el objetivo es funcional, los incrementos serán cada minuto.

Muchos de los protocolos utilizados en los niños están condicionados a la superficie corporal. Así, el protocolo de James, que establece escalones de trabajo de 3 minutos de duración, agrupa los sujetos por área de superficie corporal. El de Godfrey es similar, pero los escalones de trabajo son de 1 minuto y los niños son agrupados por la altura, mientras que el de Mc Master utiliza escalones de 2-3 minutos.

En niños muy pequeños o con muy baja forma física debe usarse un protocolo en rampa, es decir, sin escalones.

En los adultos se utilizará el ergómetro que mejor reproduzca el tipo de ejercicio habitualmente realizado. Debe elegirse entre hacer un test directo, con análisis de gases respiratorios, o bien uno indirecto, en el que el valor del VO₂máx se estimará en función del protocolo utilizado. Los test directos se emplean para pruebas funcionales y para evaluar la rehabilitación cardiovascular o en cardiópatas, principalmente.

En el cicloergómetro se obtiene un menor VO₂máx debido a un menor gasto cardiaco (por un volumen sistólico más reducido), que según algunos autores se estima entre un 6% y un 20%⁶⁰, mientras que

no difiere entre los test continuos y discontinuos, aunque se recomiendan test continuos.

En el tapiz, agarrarse al soporte de seguridad puede suponer una diferencia de gasto energético de hasta el 30%^{2,60}.

Si se realiza una ergoespirometría, los test serán continuos, con carga incremental y hasta el agotamiento. Los incrementos deben ser intermedios, para una duración del test de 8-17 minutos, ya que con incrementos por debajo o por encima el VO_2 máx que se obtiene es menor¹.

En los test indirectos, el VO_2 se sobreestima en los protocolos con grandes incrementos de trabajo, y la variación de la estimación del VO_2 , en relación con la carga, es mucho mayor en los test estandarizados que en los individualizados en rampa.

En las pruebas clínicas en tapiz rodante debe utilizarse el protocolo de Bruce, cuyo objetivo prioritario es el diagnóstico y la valoración de la cardiopatía coronaria¹. En pacientes con menor capacidad funcional y en los de mayor edad se usa el test de Bruce modificado (protocolo incremental continuo con escalones de trabajo menos intensos). También pueden escogerse otros protocolos, como el de Balke, en el que la velocidad es constante y se utiliza en sujetos que tienen muy baja capacidad funcional, o el de Naughton, que fue diseñado para sujetos de alto riesgo coronario y baja capacidad funcional; estos dos últimos también se utilizan para pacientes de mayor edad³.

En los deportistas debe individualizarse el protocolo, con pendiente fija al 1%, para simular la resistencia del viento, y con incrementos de 0,5-1 km/h cada 30 segundos o cada minuto para conseguir una duración óptima de 8-12 minutos.

En una prueba progresiva y máxima, el efecto de la pendiente no provoca diferencias significativas de VO_2 y FC máx, respecto a protocolos sin pendiente, aunque en los protocolos con pendiente el lactato tras el esfuerzo es más elevado debido al reclamo muscular de los músculos⁶¹.

No se han observado diferencias de VO_2 máx entre las pruebas de protocolo triangular y rectangular. Las pruebas triangulares suelen utilizarse por razón de economía de tiempo.

Se utiliza el cicloergómetro en limitaciones osteoarticulares, inestabilidad en el tapiz, dificultades de coordinación y cuando interesa valorar con más precisión el comportamiento de la PA, o si se precisa una señal sin ruidos del ECG. Es el ergómetro de elección en los ciclistas.

En cicloergómetros mecánicos, las cadencias deben mantenerse de forma constante en torno a 60 rpm; en los de freno electromagnético es recomendable mantener cadencias de 70-90 rpm (en función del entrenamiento). No se han encontrado diferencias en las variables cardiopulmonares entre los protocolos en rampa y escalonado⁶⁰.

Para estimar el VO_2 máx en test indirecto se utiliza la PWC-170, que valora la capacidad de rendimiento desde el punto de vista cardiovascular. Se recomienda utilizar una potencia inicial de 10 o 25 W, con incrementos de 25 W cada 2-3 minutos, hasta alcanzar los 170 lpm. En los discapacitados, con incapacidad total del tren inferior, se usa un ergómetro de manivela y se recomienda una resistencia inicial de 5-10W, con incrementos de 10-20 W, a una cadencia de 50-75 rpm³.

Seguridad

La PE es un procedimiento habitualmente seguro, con riesgo mínimo si se respetan rigurosamente las contraindicaciones para su realización.

Tabla 7. Posibles complicaciones de la prueba de esfuerzo.

Menores	Mayores
– Arritmias supraventriculares.	– Taquicardia supraventricular asociada a cardiopatía grave.
– Respuesta cronotrópica inadecuada (excesiva o insuficiente).	– Taquicardia ventricular o fibrilación ventricular.
– Insuficiencia contráctil del ventrículo izquierdo.	– Accidente vascular cerebral agudo.
– Extrasístolia ventricular.	– Síncope.
– Insuficiencia cardíaca congestiva.	– Infarto agudo de miocardio.
– Isquemia vascular cerebral.	– Muerte.
– Hipotensión arterial.	

Desde un punto de vista deontológico, deben evitarse las PE contrarias a la salud de los pacientes o de los deportistas, y tienen que realizarse de modo que se adapten a las características de estos.

Los riesgos de la PE están relacionados con el estrés al que es sometido el corazón. Idealmente, y siguiendo criterios de seguridad clínica, las posibles complicaciones se controlan mejor si la PE se realiza en un centro sanitario o en una clínica, en presencia de un médico con experiencia y con el equipo adecuado para intervenir ante cualquier eventualidad.

Se considera que se producen un fallecimiento por cada 10.000 PE y una complicación grave por cada 1.000 pruebas realizadas (Tabla 7).

Incluso en pacientes cardiovasculares los riesgos de la PE son mínimos, con un 0,05% de morbilidad y un 0,02% de mortalidad, 3,5 infartos agudos de miocardio (IAM) y 48 arritmias graves por cada 10.000 PE³.

Más frecuente es la aparición de arritmias supraventriculares y ventriculares, alteraciones de la repolarización que podrán requerir o no otros estudios cardiológicos, como ecocardiogramas, ECG-Holter o resonancia magnética (RM).

Hay que extremar la precaución en los pacientes con alteración de la función ventricular izquierda (un ecocardiograma previo puede ser de gran ayuda), con alteraciones de la repolarización y trastornos de la conducción, ya que están particularmente expuestos a activar mecanismos arritmogénicos durante el esfuerzo físico.

La PE es un recurso sencillo, barato y de metodología y aplicación técnica fáciles, pero esto se puede alterar si se pierde el rigor de su aplicación e interpretación, pudiendo convertirse en una técnica de baja confiabilidad, poco rendimiento y alto riesgo de complicaciones.

A pesar de la adecuada elección de la técnica y de su correcta realización, pueden presentarse efectos indeseables, tanto los comunes derivados de toda intervención, y que pueden afectar a cualquier órgano o sistema, como los debidos a la situación vital del paciente (diabetes, cardiopatía, HTA, edad avanzada, anemia, obesidad...) y los específicos del procedimiento.

El estudio de la morbimortalidad de las PE en grandes series se puede resumir de la siguiente manera:

- Mortalidad de 2/100.000 y 96 complicaciones graves, en particular fibrilación ventricular (FV), en 1.065.923 ergometrías⁶².

- Dieciséis fallecimientos en la semana posterior al test, que pueden ser atribuibles al mismo, y 40 IAM; un fallecimiento y 2,4 IAM por cada 10.000 PE en una serie de 170.000 PE⁶³.
- Cuatro fallecimientos y 12 IAM; un fallecimiento y tres IAM por cada 28.000 PE en una serie de 113.130 PE⁶⁴.

Hay un trabajo de 9.464 PE sin fallecimientos, que los autores atribuyen a una selección cuidadosa de los pacientes y a la finalización de la prueba en el momento apropiado⁶⁵.

Aparte de las complicaciones graves señaladas, es relativamente frecuente la presentación de un síndrome vasovagal al finalizar el esfuerzo, de carácter benigno y que suele resolverse espontáneamente, cuya incidencia puede minimizarse si se realiza una recuperación activa y progresiva después del esfuerzo. La susceptibilidad al síncope postesfuerzo se ha estimado en un 50-80% de las personas sanas en el tilt test postesfuerzo¹⁸.

Aunque cada vez se realizan más PE, ya sea por médicos del deporte, cardiólogos o neumólogos, no han aumentado las incidencias graves registradas en ellas. A esto ha contribuido el avance en la detección de contraindicaciones, en la valoración previa y en el manejo de los pacientes, en la metodología de las ergometrías y en el conocimiento y la aplicación de las medidas de RCP.

Equipación y protocolos para urgencias

El personal médico responsable de la realización de las PE debe disponer de la equipación adecuada para poder tratar las urgencias relacionadas con las PE, así como de protocolos adecuados para su manejo. Para evitar en lo posible la aparición de situaciones que puedan constituir un riesgo para el deportista o paciente que va a realizar una PE, el médico del deporte debe valorar, mediante una cuidadosa anamnesis, una exploración física completa, la toma de la PA y la realización de un ECG de reposo, si existen o no contraindicaciones para la realización de la PE.

Además, en una PE pueden aparecer complicaciones que obligan a la presencia de un médico y un equipo de RCP. De hecho, los posibles riesgos derivados de una PE hacen que las compañías de seguros la sitúen en el nivel de máximo riesgo (junto con la cirugía cardiovascular y la neurocirugía) al suscribir un seguro de responsabilidad civil a los profesionales que la realizan.

La realización de PE con registro de gases y ventilación o ergoespirometría permite obtener más información del estado biológico de las personas, lo que aumenta la necesidad de conocimientos biomédicos sobre lo que se está midiendo.

Por lo tanto, las PE de laboratorio deben ser realizadas siempre por (o en presencia de) un médico con la formación adecuada (especialista en MD, cardiología o neumología), y siempre con los medios necesarios para atender las posibles complicaciones con compromiso vital. En la Tabla 8 se recogen los puntos clave referentes a la seguridad en la PE.

La sala de ergometría debe estar en un lugar de fácil acceso, con posibilidad de evacuación rápida ante situaciones de emergencia, y tiene que estar dotada de un sistema de comunicación (alarma, interfono, teléfono) para poder informar rápidamente de situaciones graves.

El material necesario para los protocolos de urgencias incluye camilla, toma o botella de oxígeno, equipo de reanimación completo y adaptado

Tabla 8. Seguridad de la prueba de esfuerzo.

- Conocer la magnitud y la frecuencia de los posibles riesgos físicos y psicológicos.
- Clasificar los deportistas a evaluar según las características individuales y los límites de cada uno (anamnesis, exploración física y ECG de reposo, nivel deportivo y objetivos), no dejando nunca de ser realistas.
- Conocer y aplicar los criterios de finalización de la prueba.
- Conocer, dominar y aplicar los procedimientos de urgencia y reanimación, y realizar una formación continuada de los mismos.
- Seguro de responsabilidad civil de los profesionales que la realizan.
- Establecer un plan de intervención rápida, que recoja también los números de teléfono importantes.
- Utilizar formularios de consentimiento informado.

a las características de los posibles deportistas susceptibles de valoración y que permita el abordaje venoso, la aspiración de las vías digestiva y aérea, la intubación traqueal y la ventilación mecánica, la desfibrilación cardiaca y los fármacos y soluciones (reposición volémica y energética) necesarios para la reanimación. (Véanse el Anexo 1.1 y el Anexo 1.2.)

El carro de paros debe estar precintado, con la anotación del número de precinto en un libro de registro. Debe comprobarse diariamente el correcto funcionamiento del desfibrilador, y hacer una revisión mensual de las caducidades de la medicación.

Consentimiento informado

El ejercicio de la medicina ha sufrido modificaciones notables en la relación médico-enfermo: la actitud paternalista del médico en el siglo XX ha sido sustituida por el derecho que el paciente tiene a ser informado de su proceso patológico y a participar decisivamente en su manejo, contando con el respeto del médico en las decisiones adoptadas de manera libre y voluntaria por el paciente^{66,67}.

El paciente tiene derecho a conocer toda la información de cualquier actuación en el ámbito de su salud que se le vaya a realizar, y el médico tiene la obligación de informarle de la exploración, diagnóstico o tratamiento aconsejado.

La realización de una PE requiere el consentimiento informado por parte del paciente o del deportista.

El consentimiento informado es la explicación que se da a un paciente, atento y mentalmente competente, de la naturaleza de su enfermedad, así como del equilibrio entre los efectos de esta y los riesgos y beneficios de los procedimientos terapéuticos recomendados, para a continuación solicitarle su aprobación para ser sometido a esos procedimientos. La presentación de la información al paciente debe ser comprensible, no sesgada y suficiente para que pueda ser comprendida; la colaboración del paciente debe conseguirse sin coerción; además, el médico no debe sacar partido de su potencial dominancia psicológica sobre el paciente⁶⁸. Este procedimiento es de aplicación también a personas sanas, como es el caso de los deportistas.

La información, que como regla general se proporcionará verbalmente dejando constancia en la historia clínica mediante la firma del interesado del documento de consentimiento informado, comprende como mínimo la finalidad y la naturaleza de cada intervención, sus riesgos, las consecuencias previsibles si no se lleva a cabo el tratamiento propuesto, las consecuencias directas o indirectas de la intervención⁶⁹, y las posibles complicaciones.

La información clínica será verdadera, se comunicará al paciente de forma comprensible y adecuada a sus necesidades, y le ayudará a tomar decisiones de acuerdo con su propia y libre voluntad⁷⁰.

La Ley reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica⁷¹ establece la obligación de obtener el consentimiento libre y voluntario del afectado, una vez este reciba la información mencionada por escrito, porque la PE es un procedimiento diagnóstico que supone riesgos o inconvenientes de notoria y previsible repercusión negativa sobre la salud del sujeto.

La falta de información por parte del médico, al menos en procedimientos quirúrgicos, puede ser castigada como delito de lesiones o de coacción, y puede conllevar importantes sanciones.

El consentimiento es revocable libremente por escrito en cualquier momento, incluso en los estudios de investigación⁷².

La Tabla 9 muestra los contenidos del consentimiento informado, que deben estar enunciados de forma breve y en lenguaje comprensible para que los conceptos médicos puedan entenderse por la generalidad de los usuarios.

El titular del consentimiento es la persona mayor de edad (16 o más años) con capacidad plena. En los menores, corresponde a los padres o tutores. El consentimiento es temporal y revocable, sin sujeción ni formalidad, y por tanto debe prestarse antes del acto médico-quirúrgico y debe subsistir durante todo el procedimiento o tratamiento.

Dado que, en MD, una buena parte del trabajo se realiza en menores, se debe tener presente el consentimiento por representación, cuya regulación establece los siguientes supuestos:

- Cuando el paciente no sea capaz de tomar decisiones, a criterio del médico responsable de la asistencia, o su estado físico o psíquico no le permita hacerse cargo de su situación. Si el paciente carece de representante legal, el consentimiento lo prestarán las personas vinculadas a él por razones familiares o de hecho.
- Cuando el paciente esté incapacitado legalmente.
- Cuando el paciente menor de edad no sea capaz, intelectual ni emocionalmente, de comprender el alcance de la intervención. En este caso, el consentimiento lo dará el representante legal del menor después de haber escuchado su opinión si tiene 12 años cumplidos. Cuando se trate de menores no incapaces ni incapacitados, pero emancipados o con 16 años cumplidos, no cabe prestar el consentimiento por representación. Sin embargo, en caso de actuación de grave riesgo, según el criterio facultativo, los padres serán informados y su opinión será tenida en cuenta para la toma de decisión correspondiente.

El Anexo 1.3 describe los documentos de consentimiento informado para PE en MD.

Tabla 9. Contenidos y apartados que deben figurar en el documento de consentimiento informado.

- Datos personales del paciente.
- Nombre y apellidos del médico que informa. No tiene que ser necesariamente el mismo que vaya a realizar el procedimiento que se consiente.
- Nombre del procedimiento a realizar, con explicación breve y sencilla del objetivo del procedimiento, en qué consiste el mismo y la forma en que se va a llevar a cabo.
- Descripción de las consecuencias seguras de la intervención que deban considerarse relevantes o de importancia.
- Descripción de los riesgos típicos del procedimiento. Se entiende por tales aquellos cuya aparición deba esperarse en condiciones normales, conforme a la experiencia y al estado actual de la ciencia. Se incluyen también aquellos que siendo infrecuentes, pero no excepcionales, tienen la consideración clínica de muy graves.
- Descripción de los riesgos personalizados, que son los que están relacionados con las circunstancias personales de los pacientes y hacen referencia al estado previo de salud, a la edad, a la profesión, a las creencias, valores y actitudes de los pacientes, o a cualquier otra circunstancia de análoga naturaleza.
- A criterio del facultativo, puede incluirse la información que haga referencia a las molestias probables del procedimiento y sus consecuencias.
- Declaración del paciente de haber recibido información acerca de los extremos indicados en los apartados anteriores, así como de alternativas diferentes al procedimiento, con pros y contras, forma en que el paciente participe, si así lo desea, en la elección de la más adecuada, y que dicha elección tenga en cuenta sus preferencias.
- Manifestación del paciente acreditativa de estar satisfecho con la información recibida y de haber obtenido información sobre las dudas planteadas y sobre la posibilidad de revocar en cualquier momento el consentimiento informado, sin expresión de causa, así como la expresión de su consentimiento para someterse al procedimiento.
- Fecha y firmas del médico que informa y del paciente.
- Apartado para el consentimiento a través de representante legal en caso de incapacidad del paciente.
- Apartado para la revocación del consentimiento, que deberá figurar en el propio documento.

Procedimiento de realización de la prueba de esfuerzo

Indicaciones de la prueba de esfuerzo en medicina del deporte

Las indicaciones para realizar una PE en MD son varias, como se describirá a continuación, pero pueden resumirse en tres apartados principales: diagnóstico, pronóstico y valoración de la capacidad funcional²⁰.

Las indicaciones de realización de la PE, de acuerdo con la evidencia científica respecto a su utilidad y efectividad^{1,3,6,20}, son:

- *Clase I* (existe evidencia y/o acuerdo general en que el procedimiento o tratamiento es útil y efectivo):
 - Valoración de deportistas con sospecha de cardiopatía.

- Valoración de deportistas con 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 inducida por el ejercicio.
- *Clase IIa* (el peso de la evidencia/opinión está a favor de la utilidad/eficacia):
 - 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 antecedentes familiares de muerte súbita inexplicable relacionada con el ejercicio en familiares de primer grado jóvenes.
- *Clase IIb* (la utilidad/eficacia está menos fundamentada por la evidencia/opinión):
 - Orientación sobre el ritmo de competición en deportistas que preparan una prueba de larga duración.
- *Clase III* (existe evidencia o acuerdo general en que el procedimiento o tratamiento no es útil ni efectivo, y que en algunos casos puede ser peligroso):
 - Deportistas menores de 35 años para detección de cardiopatía.

Son indicaciones específicas de las PE en deportistas, para valorar las respuestas y adaptaciones del organismo entrenado mediante ejercicio, y para obtener datos sobre los efectos del entrenamiento y del rendimiento deportivo³⁹, las siguientes:

- Determinación de la capacidad de rendimiento físico.
- Prescripción de la intensidad de las cargas de entrenamiento en deportistas de cualquier nivel, en especial en los de alto nivel para la mejora del rendimiento deportivo.
- Control evolutivo de los parámetros de esfuerzo máximo y submáximo.
- Ajuste del ritmo de competición en pruebas de larga duración.
- Valoración de bajo rendimiento.
- Estudio y seguimiento de deportistas con cardiopatías que no impiden inicialmente la realización de ejercicio físico.
- Evolución y comportamiento en esfuerzo de cambios electrocardiográficos en reposo típicos del deportista.
- Reconocimiento de aptitud para la práctica deportiva.

La inclusión de una PE submáxima o máxima se ha considerado necesaria en cualquier tipo de reconocimiento médico para la aptitud deportiva, en concreto al menos una PE en banco de Astrand en reconocimientos básicos, recomendable en deporte federado y obligatorio en deportistas de competición nacional e internacional^{73,74}.

Además, es recomendable la realización de una PE previa al inicio de un entrenamiento físico vigoroso en la mayor parte de las enfermedades crónicas, pero en especial en las siguientes situaciones y patologías:

- Síntomas de inicio o de inestabilidad de enfermedad cardiovascular (ECV).
- Diabéticos con al menos uno de los siguientes factores:
 - >35 años de edad.
 - Diabetes mellitus tipo 2 de más de 10 años de evolución.

- Diabetes mellitus tipo 1 de más de 15 años de evolución.
- Hipercolesterolemia (concentración plasmática de colesterol >240 mg/l).
- HTA.
- Hábito tabáquico.
- Antecedentes familiares de cardiopatía isquémica en familiares de primer grado <60 años de edad.
- Enfermedad microvascular.
- Enfermedad arterial periférica.
- Neuropatía autonómica.
- Enfermedad renal crónica en estadio final.
- Enfermedad pulmonar: enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), asma, neumopatías intersticiales o fibrosis quística.

Contraindicaciones de la prueba de esfuerzo en medicina del deporte

Las contraindicaciones de las PE (Tabla 10) se clasifican en absolutas (implican la imposibilidad de realización de la PE) y relativas (implican una valoración individualizada por parte del facultativo sobre la idoneidad de su realización, considerando los pros y los contras de su realización para el deportista o paciente).

Tabla 10. Contraindicaciones de la prueba de esfuerzo en medicina del deporte^{1,3}.

Absolutas

- Infarto de miocardio reciente (menos de 3 días).
- Angina inestable no estabilizada con medicación.
- Arritmias cardíacas incontroladas que causan deterioro hemodinámico.
- Endocarditis activa.
- Estenosis aórtica grave sintomática.
- Insuficiencia cardíaca no estabilizada.
- Embolia pulmonar.
- Pericarditis o miocarditis aguda.
- Disección aórtica.
- Incapacidad física o psíquica para realizar la prueba.

Relativas

- Obstrucción de la arteria coronaria izquierda principal.
- Estenosis valvular moderada.
- Hipertensión arterial grave (PAS >200 o PAD 110 mmHg).
- Taquiarritmias o bradiarritmias patológicas.
- Miocardiopatía hipertrófica u otras formas de obstrucción del tracto de salida del ventrículo izquierdo.
- Bloqueo auriculoventricular de segundo grado (Mobitz II) o de tercer grado.
- Accidente vascular cerebral reciente.
- Síncope no diagnosticado.
- Discapacidad mental con capacidad limitada para colaborar.
- Situación médica no corregida o descompensada, como anemia, alteración electrolítica, diabetes o hipertiroidismo.
- Lesión deportiva reciente o en fase de recuperación.

Criterios de detención de la prueba de esfuerzo

La decisión de detener una PE es un elemento importante a tener en cuenta durante la supervisión de la misma, que dependerá, entre otros factores, del objetivo de la prueba y de la situación propia de cada individuo¹.

Existen criterios absolutos, cuya presencia implicará la detención indiscutible de la prueba de esfuerzo, y relativos, en los que habrá que evaluar la relación entre el riesgo de continuar la prueba y el beneficio que su consecución podría aportar. Los criterios absolutos y relativos se describen en las Tablas 11 y 12.

Preparación del sujeto

Seguir unas estrictas y correctas instrucciones para la preparación del sujeto permite obtener datos de la PE en mejores condiciones, por lo que deben seguir las recomendaciones que se describen en la Tabla 13¹³.

Preparación del electrocardiograma de esfuerzo

Preparación de la piel

Un factor importante que determina la calidad de un registro electrocardiográfico de esfuerzo es la superficie de contacto entre los electrodos y la piel. Es necesario realizar una cuidadosa preparación de la piel para poder obtener un ECG de calidad¹. Las áreas donde se aplican los electrodos deben, en primer lugar, ser rasuradas, y a continuación frotadas con una gasa empapada en alcohol para un correcto desengrasado. Una vez que la piel está seca, se procede a raspar las

Tabla 11. Criterios absolutos de detención de la prueba de esfuerzo^{1,3,6}.

- Deseo reiterado del sujeto de suspender o detener la prueba.
- Dolor torácico anginoso progresivo, de moderado a grave (grado 2-3).
- Falta de incremento de la presión sistólica a pesar de aumentar la carga.
- Descenso de la presión sistólica de más de 10 mmHg con respecto a la basal, a pesar de aumentar la intensidad del esfuerzo, cuando se acompañe de otras evidencias de isquemia.
- Dificultades técnicas que impidan la correcta monitorización de la presión arterial.
- Mala señal electrocardiográfica, o que impida el correcto control del trazado.
- Aparición de arritmias graves/malignas: fibrilación auricular taquicárdica, extrasistolia ventricular frecuente progresiva y multiforme, rachas de taquicardia ventricular, taquicardia ventricular sostenida, flúter o fibrilación ventricular; bloqueo auriculoventricular de segundo o tercer grado que afecte al gasto cardíaco durante el esfuerzo.
- Síntomas del sistema nervioso central, como mareo, presíncope, síncope, ataxia.
- Signos de mala perfusión: cianosis, palidez.
- Elevación del segmento ST ($\geq 1,0$ mm) en derivaciones en las que exista onda Q debida a infarto de miocardio previo (en otras que no sean aVR, aVL y V1).

Tabla 12. Criterios relativos de detención de la prueba de esfuerzo^{1,3,6}.

- Descenso persistente de la presión sistólica ≥ 10 mmHg con respecto a la basal, a pesar de aumentar la intensidad del esfuerzo, sin necesidad de acompañarse de otras evidencias de isquemia.
- Cambios llamativos del segmento ST: depresión horizontal o descendente de más de 2 mm, medido entre 60 y 80 ms después del punto J, en pacientes con sospecha de angina.
- Cambios llamativos del complejo QRS: cambio marcado de su eje.
- Arritmias distintas a taquicardia ventricular, como taquicardias no graves o arritmias menores: ectopia multifocal, tripletes ventriculares, taquicardia supraventricular, bradiarritmias con posibilidad de evolucionar a arritmias más complejas o que interfieran con la estabilidad hemodinámica, bloqueo cardíaco.
- Bloqueos de rama o retraso de la conducción intraventricular inducidos por el ejercicio, que no puedan distinguirse de forma inmediata de una taquicardia ventricular, o que simulen una taquicardia ventricular.
- Fatiga, dificultad respiratoria, sibilancias. Calambres o claudicación de miembros inferiores.
- Dolor torácico progresivo.
- Respuesta hemodinámica hipertensiva: sistólica >250 mmHg y diastólica >115 mmHg.

zonas señaladas con un papel de lija fino o cualquier otro medio abrasivo. Aplicando estos procedimientos se consigue una reducción de la resistencia de la piel a 5.000 ohmios, lo cual contribuirá sensiblemente a una mejora de la calidad del registro.

Electrodos y cables

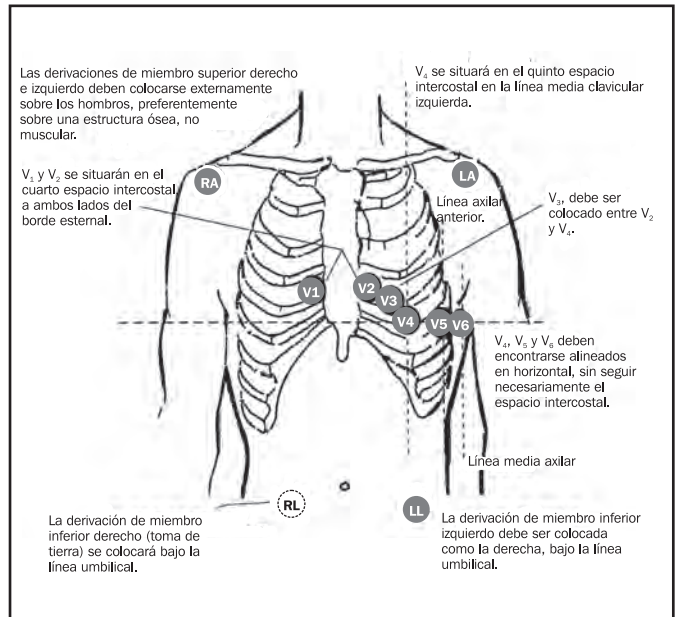
Los electrodos desechables que se utilizan en las pruebas de esfuerzo deben tener un sensor de alta calidad y fiabilidad en el registro, que cuente con una capa de plata/cloruro de plata, regulados según la norma ANSI/AAMI EC12 o semejante, impregnados en un gel adherente. El contacto entre los electrodos y la piel generalmente mejora tras varios minutos desde la aplicación y con la humedad generada durante el ejercicio a través de la sudoración, aunque un exceso de sudor puede empeorar el contacto entre las dos superficies (piel-electrodo).

Con el fin de reducir las interferencias o ruidos generados por el movimiento de los electrodos y cables, es conveniente colocar una malla elástica ajustada al tórax, en forma de camiseta, especialmente en pacientes obesos³. En aquellas mujeres en las que se observen excesivos artefactos por el tamaño de las mamas, a veces se requiere una compensación del ruido a expensas de variar la ubicación de los electrodos.

Los cables de conexión entre los electrodos y el aparato registrador deben ser ligeros, flexibles y debidamente protegidos. Habitualmente, los cables están diseñados para reducir los artefactos debidos al movimiento durante la prueba, mediante la digitalización de la onda electrocardiográfica en el registrador, generalmente adaptado al cuerpo. Los cables suelen tener una vida media de 1 año y deben ser reemplazados periódicamente para reducir las interferencias eléctricas. Existen cables unidos a una caja de conversión digital que transmite los registros de forma inalámbrica⁵⁰.

Tabla 13. Recomendaciones para la preparación del sujeto para la prueba de esfuerzo^{1,3}.

- Evitar la actividad física intensa o el ejercicio inhabitual en las 12 horas anteriores a la realización de la prueba.
- No tomar café, alcohol ni otros estimulantes, ni fumar, desde 3 horas antes de la realización de la prueba.
- No comer durante las 3 horas previas a la realización de la prueba. La medicación habitual puede mantenerse, ingiriéndola con una pequeña cantidad de agua.
- En pruebas a deportistas con antecedentes de patología cardíaca, cuando el objetivo de la prueba es el diagnóstico de isquemia, la medicación habitual puede interrumpirse debido a que algunos fármacos (especialmente los beta-bloqueantes) pueden disminuir el efecto del ejercicio sobre la FC y la PA. En este caso, si no aparecen signos de isquemia, el valor diagnóstico de la prueba para enfermedad coronaria resulta limitado. El tiempo necesario de interrupción de la medicación es de un mínimo de 24 horas para fármacos de liberación sostenida, instruyendo al paciente para volver a tomar la medicación en caso de aparición de síntomas. Registrar la medicación que el paciente esté tomando cuando haga la prueba, para poder correlacionarlo con posibles hallazgos durante la misma.
- Proporcionar información detallada del procedimiento al que se va a someter y de su objetivo, incluyendo los probables síntomas que pueden surgir, las complicaciones de la prueba y los criterios de detención. Tras haber recibido la información adecuada y correspondiente, el paciente aceptará la realización de la prueba cumplimentando el consentimiento informado.
- El objetivo de la prueba debe quedar determinado antes de su realización (en caso de dudas, se recomienda ponerse en contacto con el facultativo que la prescribe), con el fin de optimizar su valor diagnóstico y garantizar al máximo la seguridad del deportista.
- El deportista debe llevar ropa confortable y calzado cómodo para andar o zapatillas de deporte.
- Será imprescindible realizar una breve anamnesis y una exploración física con el fin de detectar importantes síntomas o signos, tales como soplos cardíacos, ruido de galope cardíaco, sibilancias pulmonares o estertores, que pudieran hacer sospechar enfermedad cardíaca congénita o valvular, determinando posibles contraindicaciones para la realización de la prueba.
- Se debe realizar, previamente a la prueba, una medida de la PA del sujeto en posición vertical.

Figura 5. Colocación de los electrodos para la prueba de esfuerzo.

En función de la elección de ergómetro para realizar la PE, puede ser necesaria una variación en la disposición de los electrodos de las derivaciones del plano frontal para evitar artefactos en el registro electrocardiográfico, debido al excesivo movimiento o a la posición del individuo. Por ejemplo, en el cicloergómetro, así como en el remo-ergómetro y en el kayak-ergómetro, debido a la flexión del tronco podría ser conveniente trasladar los electrodos de los hombros a la parte posterior del torso, siendo necesaria su advertencia para una correcta interpretación del trazado.

Supervisión y respuestas clínicas

Percepción del esfuerzo

Durante PE es habitual mantener algún tipo de control sobre la percepción subjetiva del esfuerzo por parte del sujeto. Aunque este hábito nace en el campo de las PE clínicas por la necesidad de controlar la aparición de disnea en los pacientes², se ha extendido ampliamente a la MD para establecer el nivel de fatiga durante la prueba, y al entrenamiento deportivo como una medida subjetiva de la intensidad del entrenamiento o la competición.

En el ámbito del deporte, la herramienta más utilizada con esta finalidad desde los años 1970 es la escala de Borg^{75,76}. La escala original (*Borg RPE Scale*)² utiliza una puntuación de 6 a 20 y presenta una supuesta relación con la FC de esfuerzo, multiplicándola por 10. Es decir, una escala de 15 equivaldría a una FC de 150. Posteriormente se desarrolló una escala reducida de 0 a 10 (*Borg CR-10 Scale*), que muestra una buena correlación con otras escalas como la de Likert o la escala visual analógica⁷⁷⁻⁷⁹, y que se utiliza incluso para la percepción subjetiva del UAN⁸⁰.

El uso de esta escala reducida está habitualmente indicado en la PE para valorar la sensación de fatiga en áreas específicas (por ejemplo,

Derivaciones electrocardiográficas para la prueba de esfuerzo

Antes de iniciarse el esfuerzo debe obtenerse un ECG en decúbito y otro en ortostatismo. Las seis derivaciones correspondientes al plano horizontal (de V1 a V6) no sufrirán variación entre el ECG de reposo y el de esfuerzo. Sin embargo, dado que durante el esfuerzo no es posible colocar los electrodos en los miembros para la obtención de las derivaciones del plano frontal (DI, DII, DIII, aVL, aVR y aVF), dichos electrodos suelen trasladarse al torso, generalmente bajo las clavículas (para las derivaciones de los miembros superiores) y debajo de la última costilla (para los miembros inferiores), como se muestra en la Figura 5. En caso de utilizar otra disposición de los electrodos, debe ser debidamente referenciado en el informe, dado que las morfologías del complejo QRS y de la onda T varían, aunque el trazado resultante puede ser perfectamente válido para interpretar alteraciones del ritmo y desviaciones del segmento ST.

dolor muscular, fatiga de cuádriceps o disnea de origen respiratorio), mientras que la escala original de 6 a 20 ha demostrado ser útil para la valoración global de la fatiga⁸¹.

En cualquier caso, el control de la percepción subjetiva durante una PE es mucho más útil cuando se están realizando valoraciones de carácter clínico en pacientes con alguna patología. Así, se sabe que en pacientes con insuficiencia cardiaca la finalización del ejercicio por disnea se asocia con una mayor incidencia de eventos cardíacos y con peores marcadores cardiorrespiratorios en la PE que la finalización por fatiga⁸².

En las PE para la valoración de la cardiopatía isquémica se utilizan también escalas que evalúan el dolor torácico en combinación con otras variables. Entre ellas se encuentra la escala de Duke⁸³, que valora el dolor torácico en relación con la morfología de las ondas del ECG y la tolerancia al esfuerzo.

Capacidad funcional

La capacidad funcional viene dada por el costo energético necesario para mantener una actividad, y puede evaluarse de forma directa durante una PE midiendo el VO_2 , entendiendo que la máxima capacidad de un sujeto vendría dada por el máximo valor de esta variable. El $\text{VO}_{2\text{máx}}$ se define como el valor de VO_2 que no puede ser superado a pesar de que continúe aumentando la carga de trabajo, y se caracteriza en la PE por la aparición de una meseta en la fase final del ejercicio cuando se representa el VO_2 frente a la carga de trabajo³. Cualquier intensidad de ejercicio puede expresarse como porcentaje del $\text{VO}_{2\text{máx}}$, designando así al VO_2 necesario para esa actividad como el porcentaje del consumo máximo.

Conociendo el VO_2 y el VCO_2 se puede realizar un cálculo calórico bastante exacto a partir del cociente respiratorio (RQ), ya que para cada valor del RQ entre 0,7 y 1 existe un equivalente de gasto en kilocalorías (kcal) por cada litro de oxígeno consumido. Esta técnica se conoce como calorimetría indirecta y es considerada el método de referencia para medir el gasto energético en condiciones controladas^{84,85}. Sin embargo, es posible hacer conversiones aproximadas considerando un equivalente calórico medio de 5 kcal por cada litro de oxígeno consumido⁸⁶.

Por otra parte, es bastante común en las PE valorar la capacidad funcional en MET. Un MET se define como la cantidad de oxígeno consumido por un sujeto en reposo, en posición sentado, y equivale a 3,5 mililitros de oxígeno por minuto y por cada kilo de peso corporal (ml/kg/min)⁵, o 1 kcal por hora por cada kilo de peso corporal (kcal/kg/h). Este concepto representa una forma de expresar el costo energético como un múltiplo del gasto metabólico de reposo que resulta simple, práctica y fácil de entender. Su uso se centra en la valoración energética de diferentes actividades físicas a partir de tablas⁸⁷, y en el caso de las PE se limita a aquellas pruebas en las que no se realiza medición de gases y, por tanto, no se dispone de datos del VO_2 .

Aparte de la valoración metabólica y energética, el análisis de la VE y de su relación con la eliminación de CO_2 es también un indicador de la capacidad funcional en algunas situaciones especiales, como la insuficiencia cardiaca. El índice más utilizado para valorar la eficiencia ventilatoria es la pendiente de los incrementos de VE frente a los de VCO_2 , conocido como $\text{VE/VCO}_2 \text{ slope}$ ³. Se ha discutido si esta pendien-

te debe medirse en la totalidad de la prueba o solo hasta el segundo umbral (VT_2), antes de que aparezca la compensación ventilatoria de la acidosis metabólica, y parece ser que la medición en la totalidad de la prueba aporta más información^{88,89}.

Con independencia del método utilizado, se considera normal una $\text{VE/VCO}_2 \text{ slope}$ menor de 30, con independencia de la edad y del sexo⁹⁰. Sin embargo, en ciertas patologías, como la insuficiencia cardiaca, la hipertensión pulmonar o la obstrucción crónica al flujo aéreo, esta pendiente puede estar muy elevada y llegar a alcanzar valores de 60 en casos graves⁹¹⁻⁹³.

Síntomas y signos físicos

Las PE proporcionan una serie de variables clínicas, electrocardiográficas y metabólicas que permiten realizar una estimación objetiva del grado de esfuerzo del sujeto, determinar la respuesta del sistema cardiovascular y su adaptación al ejercicio, y por otra parte, detectar algunas enfermedades en tiempo real. La evaluación de los síntomas percibidos y los signos es un componente integral de la prueba.

En el transcurso de la PE, los pacientes van a experimentar determinadas sensaciones que pueden tener importancia clínica. Además, deben estar monitorizados de manera continua el ECG, la PA y la FC, lo que da información de la situación clínica del paciente.

Una PE ha de estar permanentemente supervisada por un médico especialista que esté familiarizado con su realización y capacitado para resolver las complicaciones que puedan surgir, que van desde simples lesiones del aparato locomotor hasta el IAM, las arritmias, la inestabilidad hemodinámica e incluso la muerte^{5,94}.

Por tanto, cuando se realiza una PE es importante hacer un seguimiento clínico valorando todos los síntomas y signos físicos que puedan aparecer.

Los síntomas más importantes que deben tenerse en consideración durante las PE son:

- Molestia en el pecho o dolor torácico. El dolor torácico puede ser de origen isquémico (angina, espasmo coronario) o por otros motivos. Hay que diferenciar la angina típica, la angina atípica y el dolor no anginoso que puede ser secundario a patología pleural, gastrointestinal, musculoesquelética o de causa psicógena. Cuando aparece un dolor anginoso sin antecedentes debe interrumpirse la prueba cuando, además, se observan cambios en el ECG⁹⁵.
- Mareo o desvanecimiento que puede acompañarse de síntomas vegetativos, como náuseas, palidez o molestias gástricas, y puede ser una situación de presíncope.
- Síncope: es una pérdida transitoria del conocimiento secundaria a una reducción global del flujo sanguíneo cerebral caracterizada por tener un inicio rápido, corta duración y recuperación completa de forma espontánea. En una PE, el síncope más habitual es el cardiovascular, que puede ser un indicador de arritmias graves o de otras cardiopatías, pero también existe el síncope reflejo (por ejemplo, tras realizar ejercicio físico) o el secundario a hipotensión ortostática⁹⁶. Las personas que sufren un síncope cardiológico tienen mayor riesgo de muerte; en caso de presentarse en el transcurso de una PE, se interrumpirá el test y si es de origen cardiológico está indicada la hospitalización.

- Palpitaciones: anomalía en los latidos cardiacos que puede aparecer durante el esfuerzo o en el periodo de recuperación. Generalmente se producen por arritmias o por otras enfermedades estructurales del corazón, aunque pueden tener otra causa no cardiaca.
- Dificultad respiratoria (disnea): durante el ejercicio se produce una hiperventilación pulmonar (taquipnea), pero la disnea se puede evidenciar a lo largo de una PE y es un buen indicador de la capacidad funcional. Puede deberse a ECV (isquemia coronaria, insuficiencia cardiaca, patologías valvulares, arritmias...), enfermedades del aparato respiratorio, alergias o enfermedades infecciosas, entre otras causas^{82,97}.
- Fatiga muscular desproporcionada al esfuerzo realizado. Puede ser expresión de una enfermedad (enzimática, endocrina...) que afecte a los músculos.
- Percepción subjetiva de intensidad de esfuerzo. La escala de Borg es un indicador fiable de la fatiga².
- Malestar general.

Por otra parte, durante el desarrollo de la PE hay que controlar los signos físicos que pueden tener repercusiones clínicas y que en algunos casos pueden ser motivo de interrupción de la prueba. Es importante monitorizar, observar y analizar el comportamiento en tiempo real, durante la prueba, de la FC, la PA, el ECG y la frecuencia respiratoria (FR).

Dentro de los signos, hay que observar el aspecto general del individuo durante la PE. Los signos de mala perfusión, como cianosis o palidez, sudoración fría o alteraciones del sistema nervioso (ataxia, mareo, vértigo...), son muy importantes y pueden servir como criterio para la suspensión de la prueba^{2,3}. La taquipnea es normal durante una PE.

La FC es el mejor indicador de la intensidad del ejercicio, por lo que es importante controlar en todo momento sus modificaciones a lo largo de la prueba. La respuesta del sistema cardiovascular al ejercicio es aumentar el ritmo cardiaco linealmente con el incremento de la carga de trabajo y el consumo de O₂ (en torno a 10 lpm por cada MET aumentado), aunque en sujetos bien entrenados el incremento es más lento cuando se utiliza el mismo protocolo^{3,98}.

Hay que controlar la relación entre la intensidad del ejercicio y la FC, ya que permite analizar la adaptación al esfuerzo³. La respuesta de la FC se produce por disminución del tono vagal e incremento del flujo simpático, pero está influenciada por otros factores como la edad, la condición física, el tipo de ejercicio, el estado de salud y algunas terapias. Si se alcanza el 85% de la FC_{máx} estimada se considera que la prueba es válida para detectar isquemia miocárdica⁹⁸.

Cuando la FC no se va incrementando con la intensidad del ejercicio, se debe sospechar la existencia de cardiopatía coronaria con alteración en la función ventricular. Existen publicaciones que relacionan la incompetencia cronotrópica con un incremento del riesgo de muerte², y es común en patologías como la insuficiencia cardiaca.

Hay que estar atento ante una hiperrespuesta anómala de la FC al ejercicio y valorar la existencia de alteraciones de la resistencia periférica, disfunción ventricular o arritmias, aunque también puede ser secundaria a una anemia o a trastornos metabólicos³.

También debe hacerse un seguimiento de la FC durante la fase de recuperación de la PE, ya que una mala recuperación puede ser un signo preocupante y puede utilizarse para evaluar el estado de salud.

Se considera normal una caída de 17-20 lpm durante el primer minuto de recuperación, y cuando es menor, en especial si es ≤ 12 lpm, esas personas tienen más riesgo de muerte⁹⁹⁻¹⁰¹.

La PA es otro valor de gran importancia que debe medirse en el transcurso de la PE (al menos cada 2-3 min) y durante la recuperación, y con más frecuencia en los pacientes de alto riesgo. Depende del gasto cardiaco y de la resistencia vascular periférica, aunque está influenciada por la edad (va aumentando con los años), el sexo (algo mayor en los hombres) y el estado de forma física (al aumentar la condición física aumenta la PAS máxima).

La respuesta normal al ejercicio es una elevación gradual de la PAS según aumenta la intensidad, hasta llegar a estabilizarse o descender ligeramente en esfuerzos máximos. La PAD se mantiene o disminuye un poco a lo largo de la PE^{2,102}.

Los incrementos de la PAS en las PE incrementales son de unos 7-10 mmHg por MET, según la mayoría de autores^{3,103}. En la fase de recuperación, las cifras de PA se normalizan en unos 6 minutos, aunque en algunos casos pueden tardar hasta horas.

No existe un acuerdo sobre los valores máximos normales de PA que se pueden encontrar en una PE, pero el límite de la PAS normal se encuentra en torno a 220-230 mmHg y el de la PAD alrededor de 100-110 mmHg¹⁰⁴.

En el test se puede encontrar una respuesta anormal de la PA, hipertensiva o hipotensiva. Cuando aparece una respuesta hipertensiva excesiva al esfuerzo en personas sanas con PA en reposo normal, parece existir mayor riesgo de padecer HTA en el futuro^{103,105}.

Cuando la PAS es superior a 250 mmHg o la PAD supera los 115 mmHg se considerará la interrupción de la prueba.

Un incremento insuficiente de la PAS durante una PE (<20-30 mmHg) o una caída de la misma en relación a los valores de reposo puede estar producida por una disfunción del ventrículo izquierdo, isquemia miocárdica u obstrucción aórtica, o porque el paciente está tomando algunos medicamentos (beta-bloqueantes). Cuando la caída es >10 mmHg por debajo de los valores de reposo debe suspenderse la prueba^{3,106}. Una hipotensión inducida por el ejercicio se asocia con mal pronóstico, aunque también puede deberse a un tratamiento antihipertensivo o a deshidratación, entre otras causas.

En algunos casos puede ocurrir una caída brusca de la PAS cuando termina el esfuerzo, con mareos, palidez y sudoración fría, llegando incluso a la pérdida de conocimiento.

La auscultación inmediatamente después del ejercicio sirve de ayuda en la evaluación de la función cardiaca. Se pueden auscultar soplos de diferentes características. Un soplo sistólico de eyección con intensidad de 1-3/6 de la escala de Levine y una duración menor de 3 minutos en el periodo de recuperación puede considerarse dentro de la normalidad, aunque el diagnóstico diferencial con los soplos patológicos a veces es difícil. Los soplos de regurgitación mitral después del ejercicio podrían sugerir disfunción ventricular izquierda¹.

Por otra parte, el soplo diastólico de la estenosis mitral puede incrementarse durante el ejercicio debido al mayor retorno venoso y a la disminución del tiempo diastólico, y en el caso de la insuficiencia aórtica la respuesta del soplo es más variable.

Durante la PE también pueden aparecer signos de insuficiencia circulatoria y mala perfusión (mareos, cianosis, palidez).

Finalmente, también hay que tener en cuenta otras molestias que pueden acompañar a una PE:

- Los electrodos que se colocan en el pecho para registrar la actividad cardíaca pueden provocar una sensación de ardor o picazón leve.
- El esfigmomanómetro que se coloca en el brazo para medir a determinados intervalos la PA, cuando se infla, provoca una sensación de compresión que puede resultar molesta. Se tomarán mediciones iniciales de la FC y la PA antes de comenzar el ejercicio.
- La adaptación al ergómetro (cinta, bicicleta...) también puede resultar incómoda.
- Cansancio o molestias en las piernas.

Control del postesfuerzo

Después de una PE, al igual que tras cualquier tipo de ejercicio, hay un periodo de recuperación hasta alcanzar de nuevo la situación previa al esfuerzo, que tiene sus propias características fisiológicas y que también debe ser analizado, entre otras razones porque hay algunas respuestas anormales que solo se ponen de manifiesto durante la recuperación¹⁰⁷.

Se recomienda monitorizar un periodo de 6 a 8 minutos³, de los cuales los primeros 2-3 minutos deberían ser caminando a baja velocidad. Por supuesto, este periodo será tan largo como sea necesario siempre que el sujeto presente síntomas, sospechemos alguna respuesta anormal o alguna de las variables no haya regresado a los valores previos.

La FC presenta una deceleración rápida en los primeros 30 segundos de recuperación, ligada a la reactivación del tono parasimpático, seguida de una fase más lenta hasta alcanzar los valores previos^{108,109}. Las anomalías en la recuperación de la FC han demostrado tener un importante valor pronóstico^{17,110,111}, e incluso, desde el trabajo de Cole *et al.*¹¹², se sabe que pueden ser un predictor de mortalidad en ciertas patologías^{99,113-117}.

La PAS normalmente desciende rápidamente debido a la caída del gasto cardíaco, y alcanza sus valores previos en torno a los 6 minutos de recuperación. A veces, los valores son inferiores a los de reposo y pueden mantenerse así durante varias horas¹¹⁸. Sin embargo, si el ejercicio se detiene bruscamente, algunas personas presentan valores más altos de PAS debido a un descenso del retorno venoso (por remanso en los miembros inferiores), que provoca una reducción del gasto cardíaco con el consiguiente aumento de las resistencias vasculares en la circulación sistémica³.

Por su parte, la cinética del VO_2 durante la recuperación también muestra una fase rápida seguida de una fase más lenta, y ha demostrado ser una variable muy interesante a estudiar¹¹⁹ porque, por una parte, se correlaciona con la reposición de los depósitos energéticos que se han utilizado durante el ejercicio¹²⁰, y por otra, es un indicador de que la recuperación es en sí misma un proceso activo en el que se consume oxígeno. Esta cantidad de energía consumida (que resulta excesiva para la situación de reposo y que antiguamente se denominaba "déficit de oxígeno") se conoce como exceso de consumo de oxígeno postejercicio (ECOP, *excess post-exercise oxygen consumption*)^{121,122} y se utiliza para restablecer las funciones que han sido alteradas por el ejercicio (incremento de la ventilación y de la temperatura corporal, exceso de ácido láctico, etc.). En general, la medida del ECOP en las personas sanas

es proporcional al volumen de ejercicio realizado, pero en determinadas situaciones (anemia, hipoxia, enfermedad arterial periférica o algunas miopatías) aparecerá elevado³. En algunas cardiopatías, la elevación del ECOP es indicadora de intolerancia al ejercicio y tiene un importante valor pronóstico¹²³.

El electrocardiograma de esfuerzo

Hallazgos electrocardiográficos normales en la prueba de esfuerzo

El esfuerzo provoca algunas modificaciones electrocardiográficas, que se describen a continuación^{3,124}.

Onda P

Durante el ejercicio, la amplitud de la onda P aumenta significativamente en las derivaciones de la cara inferior. La duración de la onda P, por lo general, no varía o aumenta mínimamente.

Segmento PR

Durante el ejercicio, el segmento PR se acorta y la pendiente del trazado desciende en las derivaciones de la cara inferior. Este fenómeno se ha atribuido a la repolarización auricular y puede causar una aparente depresión del segmento ST cuando la repolarización auricular persiste ante una prematura repolarización ventricular.

Complejo QRS

La duración del complejo QRS decrece a medida que aumenta el ejercicio. La onda Q, medida en las derivaciones laterales, tiende a incrementar su magnitud durante el ejercicio en los sujetos normales, mientras que la onda R decrece y la onda S tiende a incrementarse en las derivaciones inferiores.

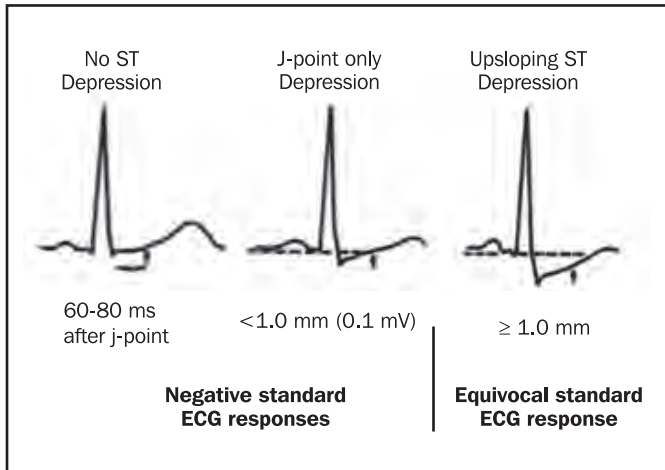
Punto J y tendencia ascendente del segmento ST "upsloping ST"

El punto J, que representa el final del complejo QRS y el comienzo del segmento ST, puede infradesnivelarse en el ejercicio máximo, para luego volver a los valores previos al ejercicio en la recuperación. La tendencia ascendente del segmento ST (*upsloping ST*) en el pico máximo del ejercicio puede encontrarse hasta en un 20% de los sujetos normales, y la depresión del punto J es más frecuente en los individuos de mayor edad. La magnitud del infradesnivel del ST debería medirse 80 ms después del punto J para valorar la isquemia miocárdica (Figura 6). En los sujetos normales, con un punto J elevado debido a trastornos precoces de la repolarización, el nivel del segmento ST generalmente se normaliza con el ejercicio. Esto es una observación normal y no debe considerarse como una depresión del ST en relación a la línea de base del punto J elevada.

Onda T

Durante los estadios iniciales se observa una disminución general en la amplitud de la onda T, pero alcanza los valores normales durante el ejercicio máximo, e incluso superiores durante el inicio de la recuperación. En los individuos con ondas T negativas en el ECG basal previo al

Figura 6. Punto J. Variaciones normales del punto de valoración a J 80 ms con segmento ST ascendente³.



esfuerzo, la positivización de las ondas T con el ejercicio es algo frecuente y no indica ausencia de patología miocárdica.

Onda U

No hay diferencias significativas durante el ejercicio. Cabe destacar que con FC superiores a 120 lpm la onda U se hace muy difícil de identificar, debido a la aproximación de las ondas T y P que se produce con la taquicardización.

QT. Intervalo dinámico

Como resultado de la relación entre intervalo y duración, los potenciales de acción son más cortos a medida que la FC aumenta con el ejercicio, y por tanto resulta un intervalo QT afectado por cambios neurohumorales que acompañan al esfuerzo. En la mayoría de los sujetos normales, el QT disminuye por el esfuerzo, aunque en algunos sujetos, principalmente mujeres, puede haber una paradójica prolongación del QT en los primeros minutos del test. Es normal que las medidas del intervalo QT corregido, usando la fórmula de Bazett ($QTc = \text{raíz medida } QT/RR$), aumenten al inicio del ejercicio y disminuyan posteriormente a medida que este aumenta. Algunos estudios valoran como factor pronóstico la diferencia existente entre el QTc basal y el QTc en el minuto 4 de la recuperación¹²⁵.

Hallazgos electrocardiográficos anormales en la prueba de esfuerzo

Las alteraciones del registro electrocardiográfico durante y tras la PE tienen con frecuencia significación predictiva y, en ocasiones, patológica. No obstante, es necesario saber que la PE no es una prueba taxativa. La PE, en las mejores manos, tiene una sensibilidad media del 68% (40-70%) y una especificidad del 77% (60-80%)³. Además, los sujetos que antes de la PE presentan un bajo riesgo de enfermedad tienen una mayor probabilidad de que, en caso de que la prueba sea positiva, se trate de un falso positivo (lo que corresponde a personas más jóvenes, entrenadas y con escasos factores de riesgo, como ocurre en la cardio-

logía deportiva). Por el contrario, en grupos de elevado riesgo *a priori*, una prueba negativa puede ser un falso negativo.

Anomalías de la frecuencia cardiaca

La FC puede mostrar una rápida taquicardización (taquicardia inapropiada) con el ejercicio, que tiene significación clínica solo en el caso de que haya una enfermedad cardiaca preexistente (mala contractilidad ventricular por cualquier causa u obstrucción al flujo que produzca bajo gasto, como en la valvulopatía aórtica significativa). De no haber enfermedad cardiaca, es de destacar la existencia de grupos de personas, con mayor frecuencia mujeres y jóvenes, que constitucionalmente presentan unas FC basal y en esfuerzo más altas de lo habitual, sin que ello suponga patología.

En sentido opuesto, puede observarse una incapacidad para elevar la FC con el ejercicio (más allá de la elevación más moderada de los corazones bien entrenados). Esa "incapacidad cronotrópica" habitualmente responde a patología del sistema específico de conducción cardiaca. Tanto la incapacidad cronotrópica como la taquicardia inapropiada suelen expresarse clínicamente por fatiga, disnea y eventualmente tendencia al presíncope.

La PE debe tener como objetivo alcanzar la FC submáxima, no solo para la valoración funcional, sino también para confirmar la ausencia de datos patológicos en el tramo más aeróbico de la PE. La incapacidad para alcanzarla, y especialmente cuanto menor FC se alcance (ya sea por la aparición de síntomas, signos o alteraciones electrocardiográficas), implica un mayor riesgo. De esta forma, no alcanzar los 2 MET es un indicador ominoso¹²⁶. Se considera como esperable superar los 6 MET (primera etapa del protocolo de Bruce).

Anomalías de la morfología del QRS

Los voltajes del complejo QRS normalmente tienen cierta tendencia a decrecer con el ejercicio. El incremento del voltaje suele considerarse indicativo de una respuesta anómala, pero no existe ningún marcador cuantitativo ni cualitativo de patología concreta asociado a este hallazgo.

En el síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW), la presencia de una onda delta que no disminuye de magnitud y duración con el ejercicio, sino que se mantiene o aumenta, no es normal y tiene relación con haces anómalos de periodo refractario corto o con un deterioro de la conducción por la vía convencional¹²⁷. Estas circunstancias se asocian con mayor frecuencia a taquicardias mediadas por preexcitación.

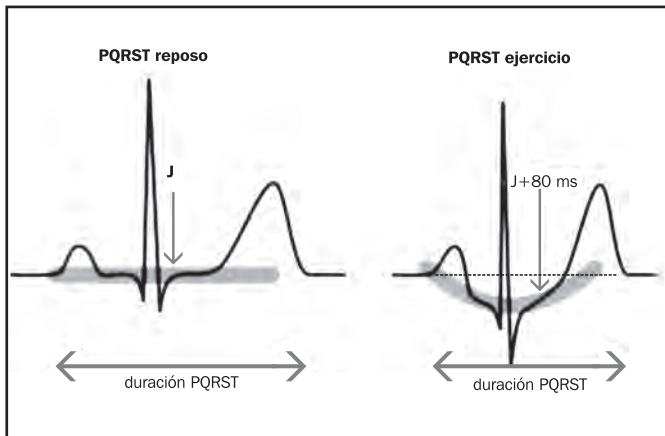
La aparición de un bloqueo de rama con el ejercicio, en especial si es de rama izquierda o de sus ramas (con desviación extrema del eje frontal a izquierda o a la derecha), suele asociarse con positividad de la PE para isquemia¹²⁸. El bloqueo de rama derecha (BRD) es raro que ocurra durante el ejercicio, pero tendría las mismas connotaciones que el caso anterior.

La aparición de signos propios de canalopatía de Brugada (R' de onda lenta con sobre elevación prolongada de ST e inversión de T) con el ejercicio puede ser un marcador del síndrome, pero no presupone su gravedad o riesgo, aunque obliga a realizar un estudio electrofisiológico.

Anomalías de la repolarización

La valoración de las anomalías de la repolarización requiere comprender la dinámica con la que se modifica la morfología de un ECG durante el ejercicio (Figura 7).

Figura 7. Cambios morfológicos en el QRSST con el esfuerzo.

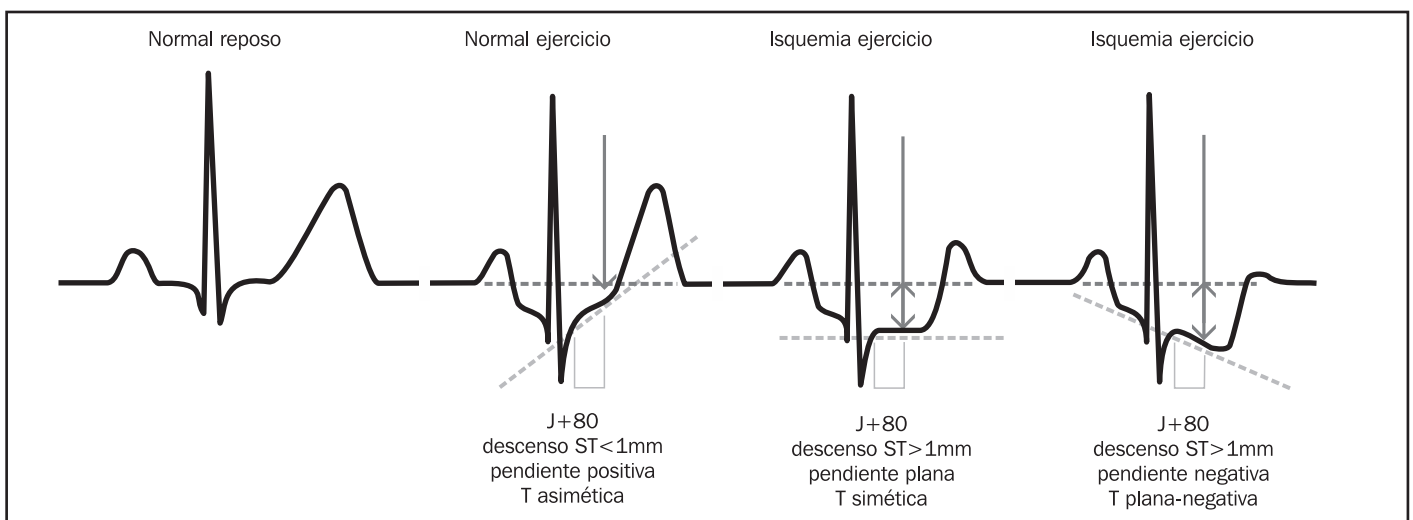


El ECG en reposo tiene, desde el inicio de la onda P hasta el final de la T, una línea isoelectrica (línea de base) que es recta y horizontal; es como una "cuerda tensada" desde el inicio de P hasta la base del pico de T, sobre la que descansan todas las ondas.

Con el ejercicio, el espacio entre P y T se reduce por la taquicardia y, como consecuencia de ello, esa "cuerda" tiene menos distancia entre los puntos de tensión y se afloja. El QRSST anclado a la cuerda tiende a seguir la nueva forma de "cuerda colgante", con el nadir (punto más bajo) aproximadamente al final del QRS, cerca del punto J. Esta imagen visual ayuda a comprender el ECG normal del esfuerzo, y a valorar las posteriores anomalías que surgirán con situaciones patológicas.

En la repolarización suelen mostrarse la mayor parte de los hallazgos relacionados con la positividad de una PE, y lo hacen generalmente por dos problemas: la enfermedad coronaria y la hipertrofia (apropiada, inapropiada y atípica). Ambas situaciones suelen arrastrar el espacio ST hacia abajo, deprimiéndolo. Sin embargo, hay que detallar más datos para poder concretar esos cambios. Además, existen modificaciones de la onda T asociadas a los cambios del ST.

Figura 8. Cambios en la repolarización en el ECG con la isquemia.



En el caso de la isquemia inducida por el ejercicio (enfermedad coronaria) se observará un descenso de ST superior a 1 mm (0,1 mV). La medida del ST debe realizarse a 80 ms del inicio del punto J. Se valorará también que la pendiente del ST sea plana o negativa (descendente), y si la onda T se ha hecho simétrica o se ha invertido.

El patrón de descenso del ST superior a 1 mm a J + 80 ms con pendiente negativa y T simétrica se va acentuando conforme más ejercicio se hace y más isquemia se induce. Además, nunca aparece de forma universal en todas las derivaciones, sino que lo hace solo en regiones topográficamente coherentes con la zona que sufre la isquemia. Las derivaciones de las caras inferior (DII, aVF y DIII), lateral alta (DI y aVL), lateral baja (V5-6) y anterior (V3-4) se expresan bien con el ejercicio. La región septal (V1-2) lo hace pobremente y con menos fiabilidad, y también puede mostrar las alteraciones de la cara posterior en espejo (elevación en vez de descenso del ST) (Figura 8).

En el caso de la hipertrofia que aumenta la sobrecarga ventricular con el ejercicio, se produce un descenso o un incremento del descenso del ST, manteniendo la pendiente negativa, aunque la T permanece asimétrica en todo caso. En la hipertrofia apropiada del corazón motivada por el entrenamiento, las alteraciones del ST-T tienden a normalizarse con el ejercicio.

En las alteraciones patológicas de la repolarización de la hipertrofia atípica, las alteraciones del ST-T permanecen o tienden a aumentar con la carga en la PE. Si los datos de hipertrofia en el ECG de reposo no son marcados, es posible que haya dificultades para distinguir las anomalías de la repolarización que se produzcan con el ejercicio, distinguiéndolas de las puramente isquémicas. En este caso es necesario recurrir a otros datos de la PE, como presencia de dolor anginoso con el ejercicio o aparición de una arritmia maligna, para valorar el significado de las alteraciones de la repolarización.

En caso de duda, es mejor catalogar la prueba como "isquémica" y proceder a un estudio cardiológico más amplio que determine si la PE era verdaderamente isquémica o se trataba de un falso positivo para isquemia.

Los cambios aislados de la onda T tienen un valor diagnóstico limitado.

En algunas ocasiones el ST puede elevarse con el ejercicio y asociarse, eventualmente, a una T simétrica invertida. Este hallazgo puede tener dos causas: una región discinética o un aneurisma de la pared miocárdica (donde se produce la elevación del ST), o bien que el ejercicio haya desencadenado un vasoespasmo coronario que se manifiesta con elevación, en lugar de descenso, del ST. Es escasamente probable que "durante" la PE se desarrolle un IAM, pero sí puede ocurrir un tiempo después.

Al final de la PE, en el periodo de recuperación, pueden producirse también alteraciones de la repolarización de significado a menudo isquémico, no solo por el hecho de que los fenómenos de recuperación tienen un ritmo más lento que los de activación, sino porque tras la detención de la actividad física la FC cae más rápido de lo que se normaliza la PA, de tal forma que hay un periodo tras el ejercicio en que el producto $FC \times PA$ no es suficiente para subvenir las demandas de O_2 miocárdicas (y de todo el organismo). En ese periodo pueden incrementarse (o prolongarse) los fenómenos alterados en la repolarización como los que antes se han descrito.

Arritmias y bloqueos

Las arritmias de significado patológico durante la PE son fundamentalmente aquellas que se producen por el propio ejercicio. Las más frecuentes son las extrasístoles ventriculares, que tienen un claro significado patológico si aumentan su frecuencia a medida que se incrementa la carga de ejercicio, o si aumentan su complejidad, manifestándose con diferentes morfologías (politopía), en formas agrupadas (dobletes, tripletes) o en salvas de taquicardia ventricular (torsiones de punta, taquicardia ventricular no sostenida, taquicardia catecolamínica).

La aparición de un *flutter* o de una FV es un signo ominoso que obliga a una actuación inmediata; seguramente están provocados por isquemia o por miocardiopatía.

Las arritmias supraventriculares no suelen tener trascendencia, pero en raras ocasiones puede suceder que el ejercicio provoque una fibrilación auricular (FA), que se autolimita o se mantenga en el tiempo, incluso tras la detención del ejercicio. La FA no es un suceso benigno, y sus posibles causas son muy variadas: isquemia, valvulopatía mitral o aórtica, hipertensión pulmonar y enfermedades pulmonares, o enfermedad del sistema específico de conducción.

Una taquicardia supraventricular inducida por el ejercicio tampoco es un suceso catalogable de benigno. Sus causas más probables son la presencia de un WPW (oculto o patente en el ECG de reposo) o un haz anómalo nodal. No suele ceder espontáneamente durante el ejercicio y se prolonga tras finalizarlo.

Es excepcional la aparición de un bloqueo auriculoventricular (BAV) de primer grado; más bien al contrario, el espacio PR suele acortarse levemente en la PE. La aparición de un BAV de segundo grado, incluido el bloqueo tipo Wenckebach aunque tenga un carácter más funcional, o de tercer grado, no solamente obliga a detener la PE, sino que debe llevar a efectuar un estudio más profundo para descubrir su origen, que puede ser una valvulopatía aórtica, una enfermedad coronaria o una miocardiopatía. Durante la recuperación de la PE, en el periodo vagotónico, también pueden aparecer BAV, incluso un discreto alargamiento

del PR que puede considerarse funcional, pero la significación clínica de los bloqueos de más alto grado es oscura.

Electrocardiograma basal alterado (antes de la prueba de esfuerzo)

Es posible que el ECG basal en reposo pueda afectar a la interpretación de la PE. Hay toda una serie de anomalías que deben hacer sospechar de los resultados electrocardiográficos de la PE, o incluso que pueden obligar a variar los criterios de interpretación del ECG. Incluso algunos hallazgos pueden suponer que no sea posible realizar una PE con ECG por la dificultad de interpretación de este.

Bloqueos de rama

La presencia de un BRD influye en la interpretación del ECG solo en las derivaciones en las que hay alteraciones de la conducción lenta, en concreto las alteraciones que ocurran en V1-2, que estarán más influidas por el BRD que por la presunta isquemia. No ocurre así en el BRD con ondas lentas en DI y aVL, puesto que de existir isquemia con el ejercicio provocará un descenso del ST con una onda lenta también negativa.

En el caso del bloqueo de rama izquierda (BRI), las alteraciones tanto del QRS como más aún de la repolarización impiden la interpretación de los resultados del ejercicio. En este caso, el ECG de la PE es habitualmente ininterpretable. En el hemibloqueo anterior, las ondas más lentas negativas en las caras inferior y lateral no impiden la presencia de modificaciones isquémicas del ECG en la PE. En el hemibloqueo posterior (aparte del sombrío pronóstico que representa en el contexto de la enfermedad coronaria), las ondas positivas en la cara inferior pueden alterar la interpretación de alteraciones isquémicas durante la PE en esa localización.

Bloqueos auriculoventriculares

El BAV de primer grado no es contraindicación ni impide la interpretación de la PE. Los bloqueos de mayor grado (segundo y tercero) pueden interferir en el curso de los cambios de la FC.

Síndrome de Wolff-Parkinson-White

La morfología del QRS con onda delta incluida, con las variaciones en su magnitud con el ejercicio, influye poco en la interpretación del ECG, pero las alteraciones de la repolarización que tiene el WPW (habitualmente cambios ST-T en dirección contraria a la positividad o negatividad de la delta) sí pueden alterar la consideración de la repolarización durante la PE.

Fibrilación auricular

La FA puede tener un buen control de la FC en reposo, pero salvo que esté tratada es muy probable que tenga una respuesta inapropiada de la FC durante el ejercicio. En general provoca una mayor taquicardización de la adecuada, excepto si hay enfermedad del sistema específico de conducción en personas de edad, en las que no se produce la taquicardización.

La presencia de ondas amplias de FA, lo que se denomina *fibrilo-flutter*, altera la imagen de la repolarización, con lo que la interpretación de los cambios isquémicos es más dudosa.

Hipertrofia ventricular

La presencia de crecimiento ventricular izquierdo no altera la morfología de las alteraciones de la repolarización durante el ejercicio, pero hay que considerar que las variaciones del ST-T pueden responder

más a una sobrecarga que a una isquemia, con lo que la interpretación global de la PE debe ser más cuidadosa.

Signos isquémicos electrocardiográficos

Que el ECG basal tenga ya signos de isquemia (ST infradesnivelado o supradesnivelado, o alteraciones de la onda T) obliga a interpretar con precaución los cambios que se produzcan durante la PE. Las variaciones basales deben ser consideradas como el punto de inicio para las que se añadan durante el ejercicio. Por ejemplo, un descenso del ST basal exigirá un descenso adicional para ser considerado como una prueba isquémica al esfuerzo.

Por lo tanto, las alteraciones del ECG basal deben tenerse en cuenta al interpretar los resultados de la PE.

Ergoespirometría

La ergoespirometría, o análisis de los gases espirados durante la realización de un trabajo físico, ofrece la oportunidad de estudiar simultáneamente las respuestas celular, cardiovascular y respiratoria bajo unas condiciones de estrés metabólico controlado¹²⁹.

La realización de una ergoespirometría requiere una alta preparación y un amplio conocimiento de los parámetros que van a obtenerse, además de una correcta calibración de los aparatos que se usan.

Los usos fundamentales de la ergoespirometría en MD son la medida del VO_2 máx, la estimación de los umbrales ventilatorios, la valoración de la carga de trabajo y el estudio de diferentes parámetros metabólicos.

Parámetros a valorar y su interpretación

Consumo de oxígeno

Es quizás el parámetro más importante a valorar mediante la ergoespirometría. Medido a partir del análisis del gas espirado, como se explica en otros textos¹³⁰, su importancia reside en que refleja la utilización del oxígeno por las células musculares implicadas en la realización del ejercicio.

Debe recordarse que la energía necesaria para la actividad muscular se obtiene en la mitocondria fundamentalmente a partir de la oxidación de intermediarios metabólicos provenientes del catabolismo de los hidratos de carbono y de las grasas. Las diferentes reacciones catabólicas mitocondriales producen CO_2 y un flujo de protones y sus correspondientes electrones, siendo el oxígeno el aceptor final para formar agua¹²⁹.

El VO_2 se expresa en valor absoluto ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ o $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$) o relativo al peso corporal ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Su valor es función de la carga de trabajo que está realizando el sujeto en ese momento, y mientras esa carga se mantenga estable, el VO_2 se mantendrá estable dentro de unos márgenes. En estas condiciones de estabilidad reflejará el gasto energético que representa para ese individuo la realización de una determinada carga de trabajo, y por tanto su eficiencia en la realización de ese ejercicio¹³¹. Al depender, por tanto, de la carga de ejercicio, a mayor carga, mayor será el VO_2 alcanzado.

Esta relación entre carga de ejercicio y VO_2 , en un mismo individuo, no se mantiene de forma constante, sino que, a partir de un determinado

nivel de carga, diferente para cada persona y en función de su condición física, se alcanza un límite de capacidad de utilización del oxígeno del aire ambiental. Este límite individual, que depende del gasto cardiaco máximo, del contenido arterial de oxígeno, de la distribución fraccional del gasto cardiaco a los músculos en ejercicio y de la capacidad del músculo de extraer oxígeno de la sangre que le llega, es el VO_2 máx¹.

El concepto de VO_2 máx sugiere que, aunque un individuo realice una carga de ejercicio de mayor intensidad que la carga a la que ha alcanzado su VO_2 máx, no será capaz de aumentar el VO_2 . La capacidad de realización de una carga de ejercicio de tal magnitud va a depender de la tolerancia individual a la fatiga, y por tanto de la condición física del sujeto y de su implicación en la realización de la prueba. En personas no deportistas es muy difícil de observar, y no en todas las pruebas con deportistas es posible llegar a esta situación de *plateau*. En estas condiciones, es preferible hablar más de VO_2 pico que de VO_2 máx².

Al VO_2 máx individual puede llegarse por diferentes procedimientos ergométricos, o PE, ya sean de carga constante o de carga incremental. Tradicionalmente se prefieren test incrementales o progresivos, porque pueden iniciarse a cargas relativamente bajas para el sujeto, sin que ello implique la aplicación de manera súbita de mucha fuerza por su parte. En este tipo de pruebas, el VO_2 máx puede ser alcanzado en 8-12 minutos, y así el deportista no se verá sometido a una carga alta de trabajo más que durante unos pocos minutos^{129,132-134}. Si la prueba fuera demasiado corta, el deportista no sería capaz de inducir la vasodilatación y la estimulación simpática necesarias para alcanzar la irrigación muscular suficiente, y si la prueba fuera muy larga no podría alcanzar el VO_2 máx debido al cansancio acumulado.

También se puede intentar medir el VO_2 máx mediante protocolos de realización de la máxima carga de trabajo en un tiempo determinado, igual al que se puede mantener el VO_2 máx. La debilidad más importante de este tipo de protocolos es que no todos los sujetos son capaces de mantener tal grado de intensidad durante un mismo tiempo⁶¹.

Gracias a esta relación directa entre VO_2 y carga, muchas veces y en muchos ambientes se trata de medir de forma "indirecta" el VO_2 a partir de la carga de ejercicio realizada. Para una misma persona, este axioma es muy cercano a la realidad, pero muestra muchos puntos débiles cuando intenta realizarse con individuos diferentes.

Al estimar el VO_2 a partir de la carga de trabajo debe tenerse en cuenta si la estimación se realiza sobre un trabajo en estado estable o no, la calibración mejor o peor del ergómetro si se utiliza uno, y la presencia de obesidad o de alguna enfermedad que pudiera afectar al transporte de oxígeno, como enfermedades cardíacas, pulmonares o metabólicas¹²⁹.

Al máximo nivel de carga se añade una complicación más: dada la pérdida de linealidad entre la carga y el VO_2 a partir del VO_2 máx, cuando se estima el VO_2 máx a partir de la carga alcanzada suele sobreestimarse su valor real.

La determinación del VO_2 máx continúa siendo uno de los puntos más importantes y polémicos de la ergoespirometría, con autores que consideran que con el tipo de pruebas comentado y aceptado por la gran mayoría de los investigadores nunca se alcanza el VO_2 máx real¹³⁵⁻¹³⁷.

La utilidad clínica de la medida del VO_2 máx reside, a pesar de estas dificultades metodológicas, en que es el índice más aceptado en todo el mundo para valorar la condición física, y se han establecido baremos

para su evaluación tanto en población general^{138,139} como en deportistas¹³³. Con estos baremos es posible comparar al individuo en estudio con un grupo de sujetos de características similares, y establecer si su VO_2 máx medido en una PE es adecuado o no a sus necesidades de ejercicio diarias, o es apropiado para su nivel de competición¹²⁶, en el caso de los deportistas.

Umbral ventilatorios

Las diferentes actividades del día a día y muchas especialidades deportivas no siempre implican la entrega de una potencia máxima de energía en un tiempo necesariamente corto, sino más bien una fracción de esa potencia máxima entregada durante mucho tiempo. Es por ello que también tiene mucha importancia, para la valoración del rendimiento, la determinación de un parámetro que aporte este tipo de información. Este parámetro es el UAn, descrito inicialmente por Wasserman y McIlroy¹⁴⁰, pero cuya definición puede implicar diferentes conceptos o procesos biológicos según el autor que se consulte¹⁴¹. Es

por ello que, en el presente texto, se prefiere utilizar la expresión “umbral ventilatorio”, porque es la que más adecuadamente se ajusta a los procesos que se ven implicados durante la realización de una exploración ergoespiométrica.

Durante una PE se observa un comportamiento de la VE (Figura 9) definido desde 1980 como modelo trifásico^{142,143}. Este modelo se basa en la constatación de que durante un ejercicio incremental y progresivo la respuesta ventilatoria define tres fases diferentes.

En la primera fase, la carga de esfuerzo es de baja intensidad para el sujeto que se ejercita, siendo la fuente energética predominante las grasas, al mismo tiempo que se presenta una baja estimulación de la vía glucolítica. En esta fase, el VO_2 (Figura 9) y la FC (Figura 10) van aumentando poco a poco en función de la carga, disminuyendo progresivamente la presencia de O_2 en el aire espirado (F_{E,O_2}) (Figura 11). Por otro lado, aumenta la VCO_2 (Figura 9) y por tanto también la fracción de CO_2 en el aire espirado (F_{E,CO_2}) (Figura 11).

Figura 9. Comportamiento de la VE, la VCO_2 y el VO_2 durante una prueba de esfuerzo con aumento progresivo de la carga cada minuto.

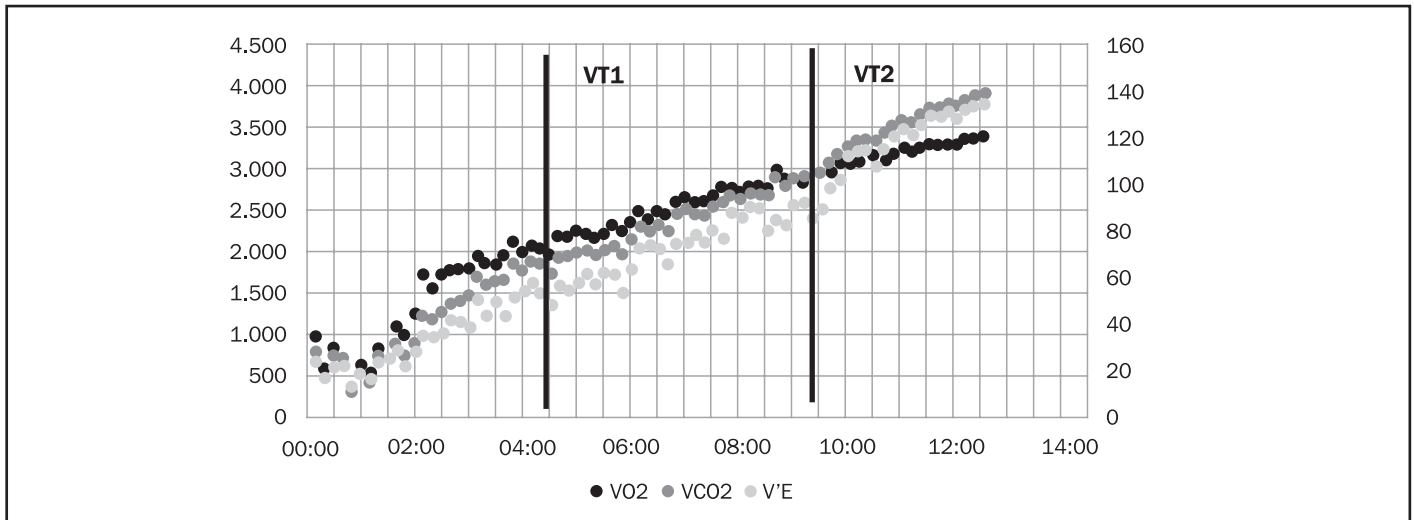


Figura 10. Comportamiento de la frecuencia cardiaca (HR) y la VO_2/HR durante una prueba de esfuerzo con aumento progresivo de la carga cada minuto.

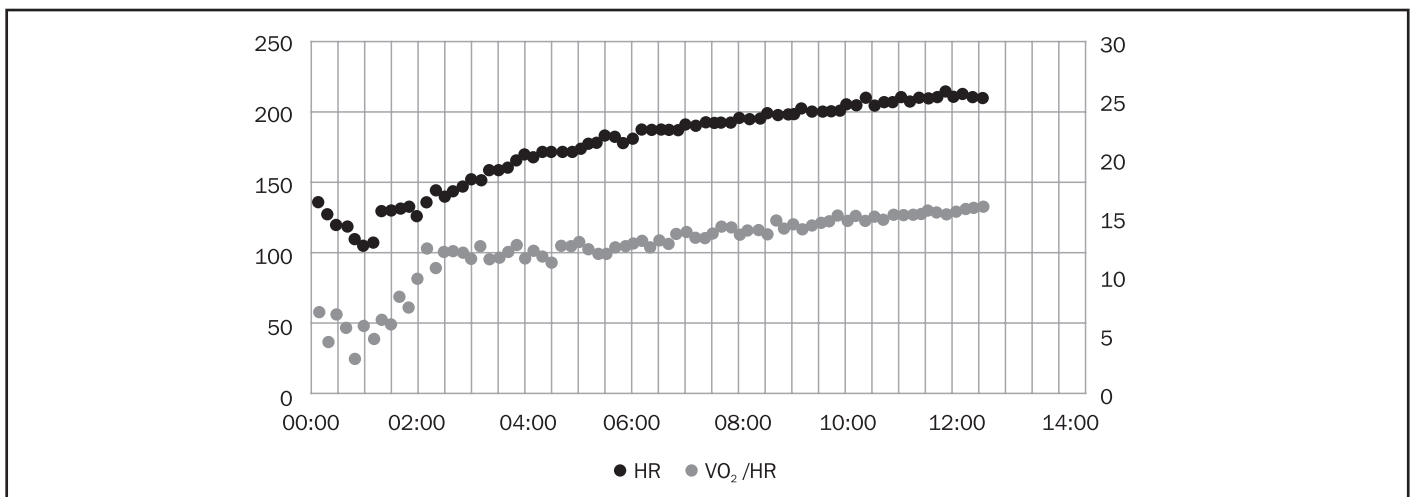
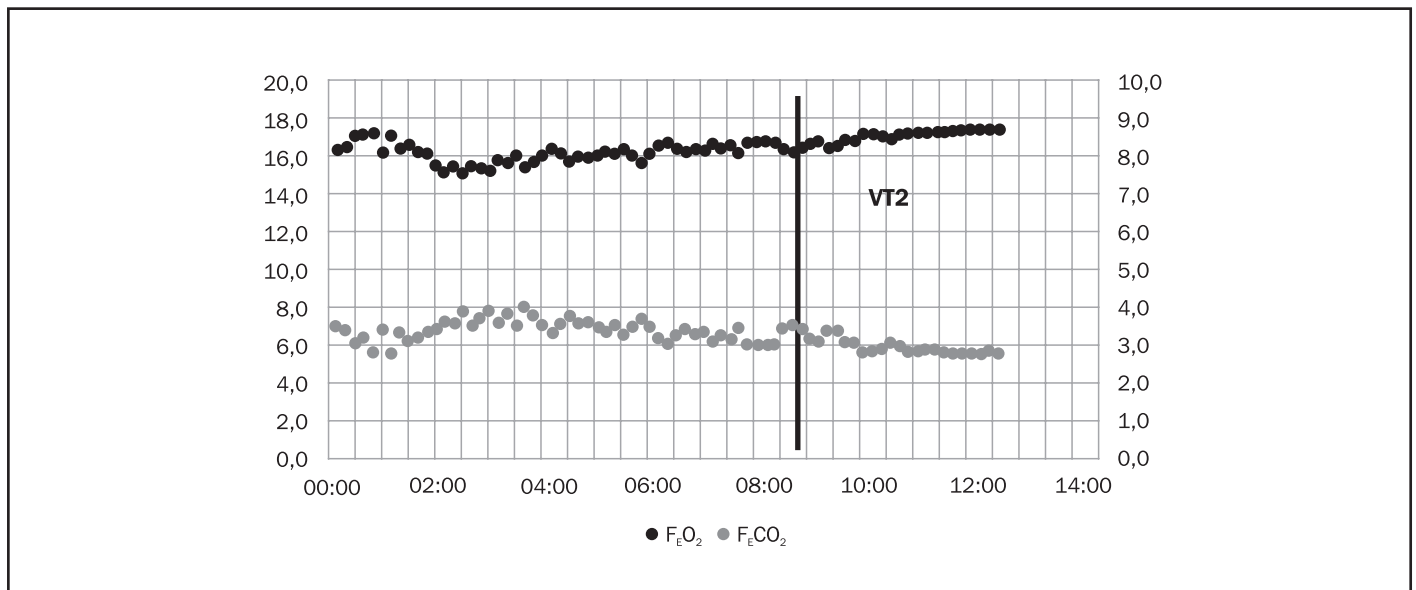


Figura 11. Comportamiento de la $F_{E}O_2$ y la $F_{E}CO_2$ durante una prueba de esfuerzo con aumento progresivo de la carga cada minuto.

La situación se mantendrá estable hasta que, en función de la carga y de la preparación física del individuo, se pasa a la segunda fase.

Durante la segunda fase, el VO_2 y la FC continúan aumentando en relación lineal, mientras que la producción de CO_2 aumenta, además de por la producción de anhídrido carbónico por los tejidos activos, porque se va instaurando una progresiva acidosis por el paso del ácido láctico a la sangre, tanto mayor cuanto más se estimula la vía glucolítica. Esta acidosis metabólica es compensada por el bicarbonato plasmático, pero induce un aumento ulterior del CO_2 en la espiración. Esto conllevará un aumento de la $F_{E}CO_2$, pero también producirá por vía neurológica una broncodilatación y un aumento de la FR para mantener la presión parcial de CO_2 en sangre arterial ($PaCO_2$) dentro de unos límites de normalidad, y limitando de esta forma su progresivo incremento. Así pues, el aumento de la VE se produce de manera proporcional al aumento de la VCO_2 y no del VO_2 (Figura 10).

Debe observarse que los aumentos de la VCO_2 y de la VE son mayores que el aumento del VO_2 provocado por la carga de trabajo, produciéndose por tanto en esta fase un incremento constante del RER y del equivalente respiratorio para el oxígeno (VE/VO_2), mientras que el equivalente respiratorio para el CO_2 (VE/VCO_2) se mantiene más o menos constante (Figura 12).

Por todo ello, a esta fase se la conoce como fase de tamponamiento isocápnico, pues todo el CO_2 que es producido está siendo tamponado.

En esta fase, como la VE aumenta de forma proporcional al aumento de la VCO_2 (Figura 9), la $F_{E}CO_2$ se mantendrá más o menos constante, mientras que la $F_{E}O_2$ aumentará progresivamente, dado que se ofrece más O_2 del que es necesario para cumplir con la carga de ejercicio (Figura 11).

Resumiendo, el inicio de esta segunda fase se caracteriza por un aumento proporcional de la VCO_2 y de la VE, mayor que el del VO_2 provocado por la carga de trabajo (Figura 9), y esto lleva a un aumento de la $F_{E}O_2$ sin una disminución correspondiente de la $F_{E}CO_2$ (Figura 11)¹⁴².

El momento de cambio de la primera a la segunda fase se conoce como VT1 o primer umbral ventilatorio, y se corresponde con el UAn descrito por Wasserman y McIlroy¹⁴⁰.

A medida que aumenta la intensidad del ejercicio, el VO_2 y la FC continúan aumentando hasta que pierden esa linealidad, como se ha observado anteriormente, una vez que se alcanzan niveles de intensidad cercanos al $VO_{2\text{máx}}$ individual. En esta tercera fase, la acidosis metabólica es progresivamente mayor y el tamponamiento por el bicarbonato es cada vez más ineficiente, lo que conlleva un marcado aumento de la VCO_2 y de la VE (Figura 9). El aumento de la VE es incluso mayor que el de la VCO_2 , observándose ahora un aumento progresivo de VE/VCO_2 y un aumento aún mayor de VE/VO_2 (Figura 12). Incluso el aumento de la VE es tan grande que la $F_{E}CO_2$ disminuye, mientras que la $F_{E}O_2$ continúa aumentando (Figura 13), porque cada vez se utiliza un menor porcentaje del total de oxígeno que llega con el aire inspirado.

El momento de cambio de la segunda a la tercera fase se conoce como VT2, o segundo umbral ventilatorio, o incluso solo como UAn para algunos autores, lo que no hace más que aumentar el conflicto terminológico¹⁴⁴. Dado que este aumento de la VE se refleja en un aumento progresivo de la FR, mientras el V_t tiende a mantenerse más o menos constante (Figura 12), hay autores que prefieren utilizar para indicar este cambio la terminología de hiperventilación de esfuerzo o umbral de compensación respiratoria¹²⁹. Algunos autores quieren hacer coincidir este momento con un valor determinado de la lactatemia, pero si bien son momentos cercanos y está claro que se hallan en parte relacionados^{141,145}, en absoluto son necesariamente coincidentes.

Frecuencia cardiaca

La respuesta de la FC se halla mediada por la respuesta general simpática al ejercicio (Figura 10), y por tanto su comportamiento resultará en parte debido a esta propia estimulación y en parte a características propias del corazón del sujeto, su estructura y su contractilidad.

Figura 12. Comportamiento de las razones VE/VO₂ y VE/VCO₂ durante una prueba de esfuerzo con aumento progresivo de la carga cada minuto.

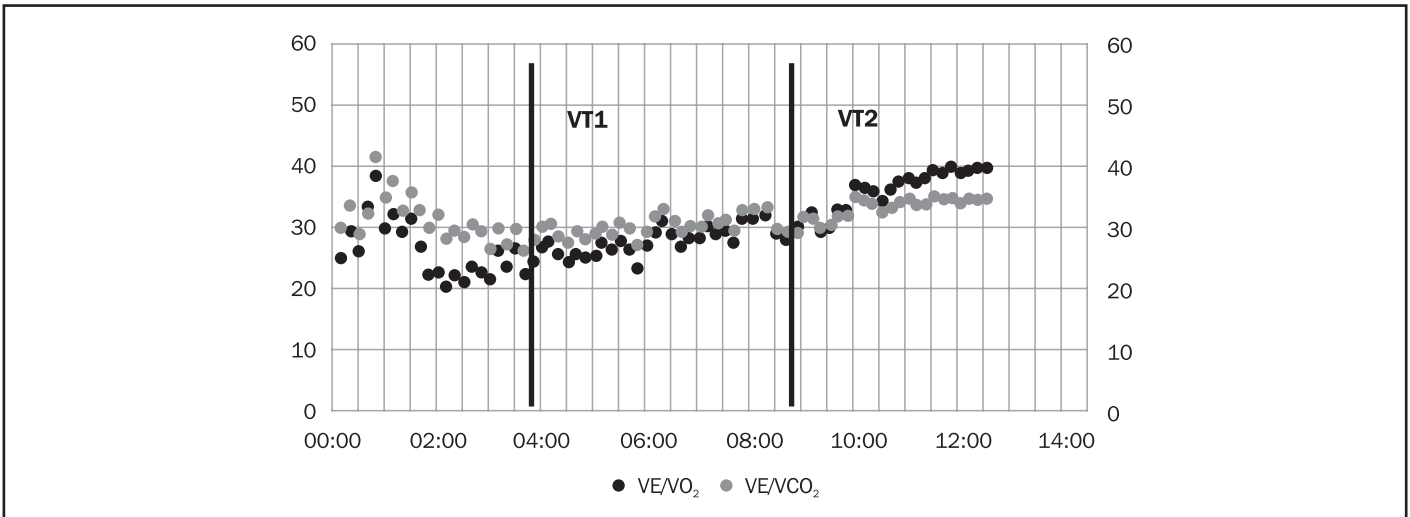
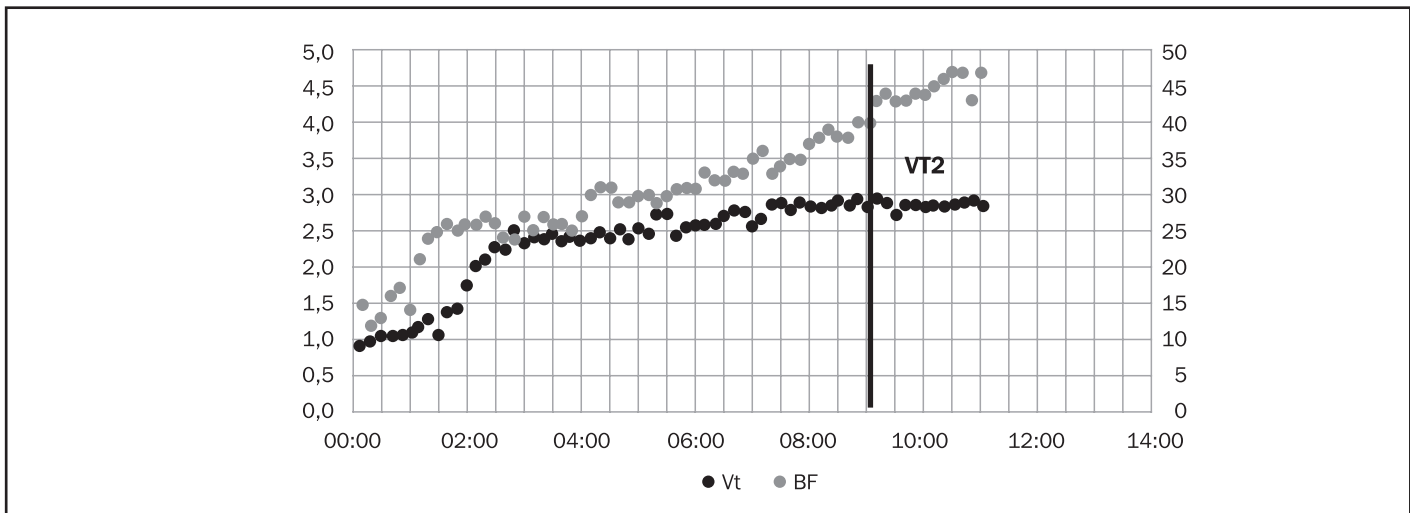


Figura 13. Comportamiento del Vt y la frecuencia respiratoria (BF) durante una prueba de esfuerzo con aumento progresivo de la carga cada minuto.



Siempre llama la atención la respuesta desproporcionada de la FC al inicio del ejercicio, aunque la carga no sea muy alta. En pruebas progresivas esto no es tan evidente, pero en pruebas de carga mantenida durante unos minutos puede comprobarse que, después de un aumento inicial muy brusco, en los siguientes minutos la FC va disminuyendo hasta ajustarse al nivel necesario para esa carga y esa persona (Figura 14), fenómeno bien conocido desde hace muchos años¹⁴⁶.

Por otro lado, es difícil saber de antemano, antes de iniciar una PE, hasta qué FC llegará un individuo. Se han hecho diferentes aproximaciones, e incluso la más utilizada nunca ha sido publicada, pero solo tienen relevancia para poblaciones, y son de poco interés para predecir la FCmáx que alcanzará una persona al realizar una PE. Como va a depender, además de la salud, de la voluntad, de la tolerancia al trabajo de alta intensidad, de la experiencia, de la historia personal

de entrenamiento, y de factores genéticos y otros, la única forma de conocerla con exactitud es realizar una PE máxima¹⁴⁷.

Presión arterial

La PA es una variable muy interesante a tener en cuenta durante una prueba ergoespirométrica. Ahora bien, su medición se ve afectada por el ruido generado por los ergómetros y por los artefactos que en su medida puede generar el movimiento de las extremidades¹²⁹, con lo cual tanto la toma por auscultación como el registro intraarterial pueden verse alterados por factores externos a la propia medición.

La PAS (Figura 15) durante una prueba ergoespirométrica tiene tendencia a ir aumentando desde los valores de reposo hasta cifras cercanas a 200-210 mmHg con el ejercicio máximo. El aumento de la PAD es generalmente más modesto y no suele sobrepasar el límite de

Figura 14. Comportamiento de la frecuencia cardiaca (HR) y la VO_2/HR durante una prueba de esfuerzo con aumento progresivo de la carga cada 4 minutos.

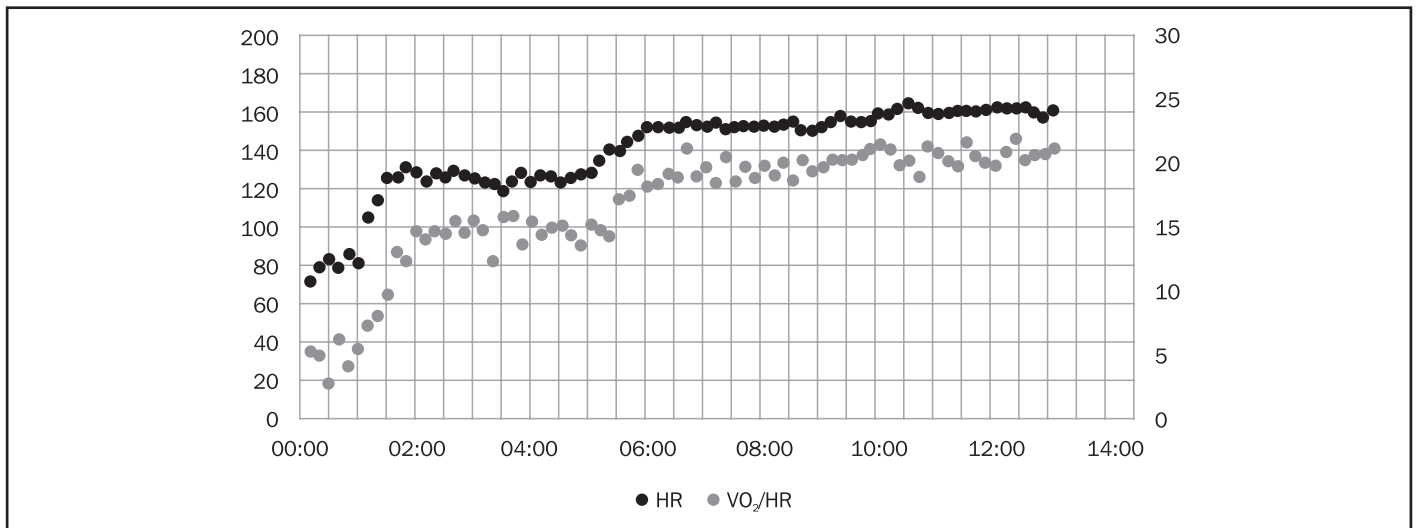
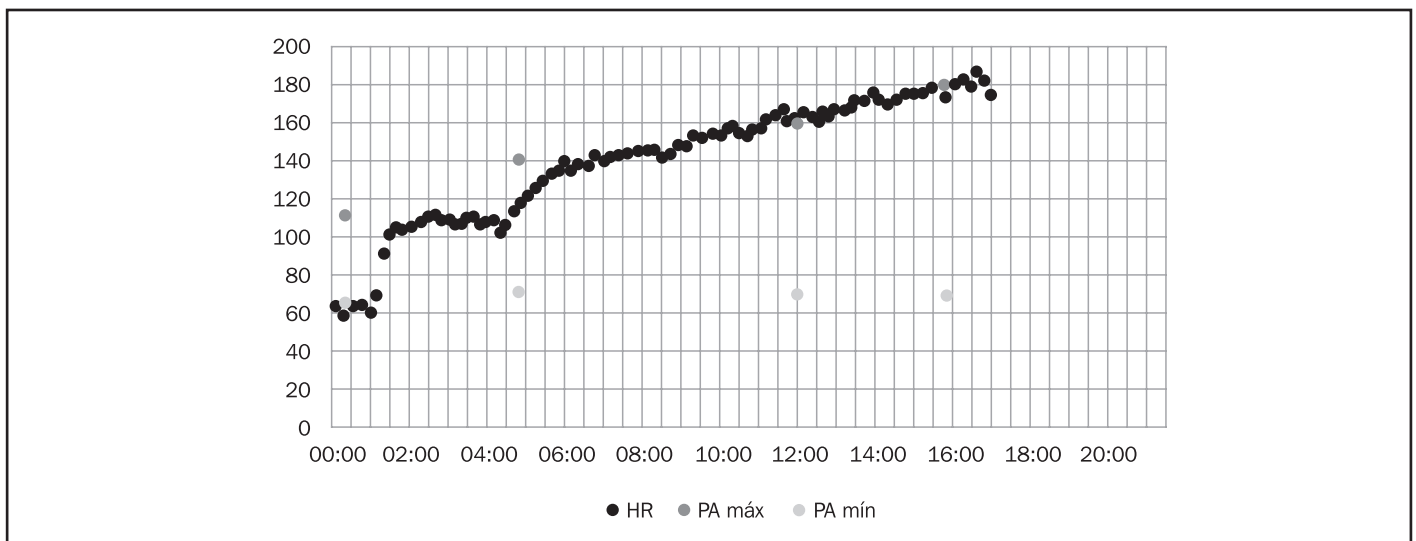


Figura 15. Comportamiento de la frecuencia cardiaca (HR) y la PA durante una prueba de esfuerzo con aumento progresivo de la carga cada 4 minutos.



los 95 mmHg. En este comportamiento no hay diferencias entre sexos ni grupos de edad, aunque sí suelen presentarse cifras más altas en las personas fumadoras¹²⁹.

Carga de trabajo

En las pruebas ergoespirométricas, la carga de trabajo es el medio que se utiliza para observar cómo se modifican los diferentes parámetros de estudio en función del protocolo de trabajo seleccionado. Según el ergómetro utilizado puede haber diferentes formas de expresión, pero la unidad estándar de referencia es la unidad de potencia (W). Su elección se debe a que tiene una relación directa con el VO_2 , ya que ambas medidas se expresan en función del tiempo. La relación es tan ajustada que, para el cálculo indirecto del VO_2 que un individuo está realizando

al hacer una actividad, basta conocer cuántos vatios está entregando para poder ajustarlo con una buena aproximación. En la bibliografía pueden encontrarse muchas aproximaciones^{126,129,139}.

En ciertas ocasiones se prefiere utilizar otra unidad, el MET, para expresar la potencia energética entregada. Un MET es el requerimiento energético necesario para el metabolismo basal, y equivale a un VO_2 de 3,5 ml/min por kilogramo de peso corporal^{126,148}. Por lo tanto, al expresar el VO_2 en MET se indica cuántas veces se está multiplicando el gasto energético basal para cumplir con los requerimientos energéticos exigidos por la actividad que se está realizando en el momento de la medición.

Cuando el protocolo de trabajo no es incremental, sino que se expresa como la realización de una actividad de cualquier intensidad en un periodo mayor o menor de tiempo, otra forma de indicar la carga de

trabajo realizada es en julios (J, o su múltiplo kilojulios, kJ), que es una unidad de trabajo, o en calorías (cal, o más frecuentemente su múltiplo kilocalorías, kcal, pues la caloría es una unidad muy pequeña), que son el equivalente de los julios como unidad energética ($1 \text{ J} = 0,239 \text{ cal}$). En definitiva, serán igual a la potencia media entregada durante todo el tiempo de desarrollo de una actividad multiplicado por el tiempo que se ha estado realizando esa actividad.

Lactato

El ácido láctico es un intermediario tricarbóxico del ciclo de Embden-Meyerhof⁴⁴, que se forma en la célula muscular a partir del ácido pirúvico y es vertido a la circulación, siendo gran parte de él reciclado en otros tejidos.

El lactato que se mide en una muestra de sangre es, por lo tanto, el resultado de unos procesos de síntesis y de otros procesos de reciclado (Figura 16). Su presencia en la sangre es en forma ionizada, ya que el ácido láctico es un ácido débil que se desdobra al pH de la sangre.

Su medición es sencilla, fiable y barata, y puede hacerse con muestras capilares. Se acumula en sangre en función de la carga de trabajo, por lo que permite monitorizar la intensidad individual que esa carga de trabajo representa para el sujeto en estudio. Ahora bien, hay que tomar varias precauciones cuando se quiere utilizar para la monitorización del entrenamiento.

El lactato acumulado varía en función de la carga de trabajo y de la presencia mayor o menor de un estímulo simpático suficiente, por lo que para trabajar adecuadamente es importante alcanzar un estado estable de trabajo. Solo así el lactato que se mide reflejará la sollicitación que está sufriendo la vía de la glucólisis durante la realización de la carga de trabajo por parte de esa persona. A veces es difícil estimar qué tiempo es necesario para alcanzar un estado estable, aunque si se está monitorizando mediante una ergoespirometría a ese individuo siempre será más sencillo, pues se podrá observar cómo el VO_2 entregado se estabiliza, dentro de unos márgenes, mientras se está realizando la

carga (Figura 16). Por lo general, suele aceptarse que es suficiente un mínimo de 3-4 minutos.

Otra precaución a tener en cuenta es que siempre que la carga de trabajo que se realice sea inferior al VT2, la obtención de la muestra de sangre para la medición del lactato deberá realizarse en cuanto se pueda, durante la misma carga de trabajo o justo al finalizarla (el ergómetro utilizado permitirá o no la toma durante el trabajo), pues el lactato a esos niveles de carga suele descender muy rápido cuando se detiene el ejercicio.

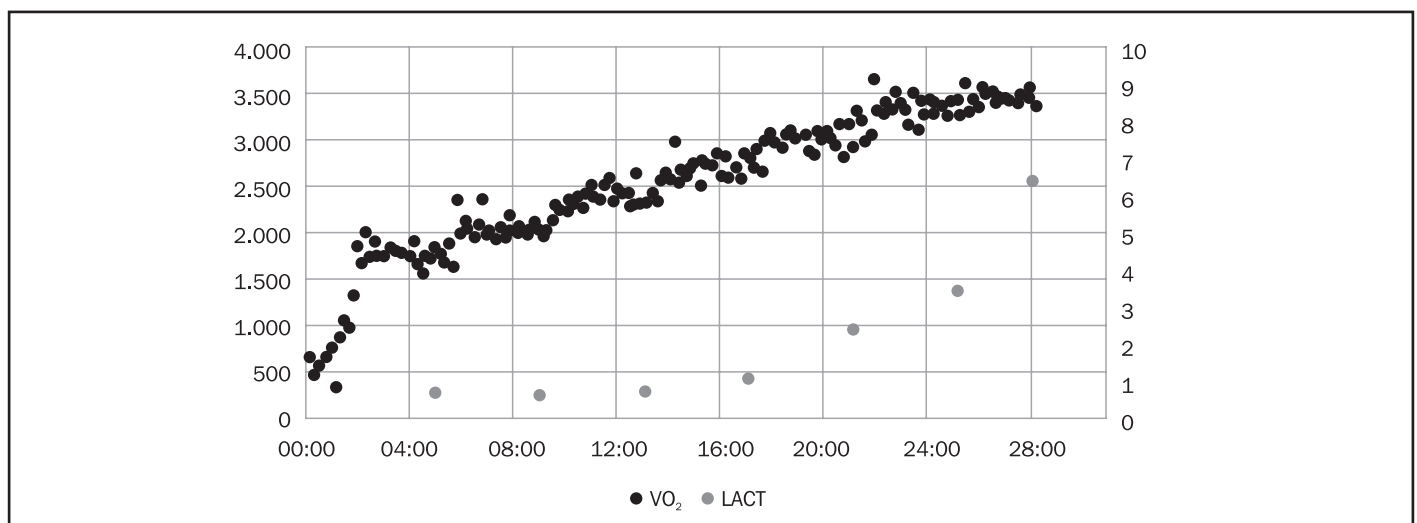
Cuando la carga de trabajo es superior al VT2, determinar el lactato hemático es más difícil, pues al no alcanzarse un estado estable de trabajo los valores de lactatemia van a ir variando en función del tiempo que dure la carga de trabajo. En estas condiciones suele utilizarse más a menudo como una herramienta que proporciona información sobre la tolerancia individual a una carga de trabajo de tal intensidad. Conviene entonces definir bien el protocolo de trabajo y tener presente que solo replicando las condiciones tendrá sentido el uso de esta variable.

Muchos autores han intentado definir diferentes "umbrales" en función del comportamiento de la lactatemia con respecto a las cargas de trabajo^{144,149}. Aunque muchas veces se haya usado una terminología incluso coincidente con la usada en este trabajo, los acontecimientos descritos por unos u otros no son los mismos, por lo que siempre tienen que ser considerados en su propio contexto.

pH

La medición del pH, que es el opuesto del logaritmo en base 10 de la concentración de hidrogeniones en la sangre, se ha utilizado muchas veces, pero ha perdido valor con el tiempo en favor de la medición del lactato. Por un lado, su medición es técnicamente más complicada que la del lactato; por otro, los protones generados por el ácido láctico son con mucho los principales iones que se modifican en la sangre durante la realización de un ejercicio y, por tanto, su control no aporta mucha más información que la aportada por el estudio del lactato.

Figura 16. Comportamiento del VO_2 y de la concentración de lactato en sangre durante una prueba de esfuerzo con aumento progresivo de la carga cada 4 minutos.



Amonio

Banister *et al.*¹⁵⁰ observaron que el amonio se acumulaba con mucha mayor velocidad que el lactato en función de la carga de ejercicio, e introdujeron su uso en la valoración del ejercicio. La fuente principal de amonio en el ejercicio es la desaminación del monofosfato de adenosina, y aumenta linealmente a medida que aumenta la carga de ejercicio¹⁵⁰⁻¹⁵², por lo que se utilizó principalmente para valorar ejercicios de muy corta duración y muy alta intensidad¹⁵².

Se ha podido comprobar que el aumento de la concentración de amonio en la sangre ocurre ya a cargas bajas de ejercicio, siendo más notable la variación de la concentración en sangre de amonio que la de lactato a ese nivel de carga. Esto indica que el amonio en sangre podría ser un mejor marcador de control de la fatiga que el lactato, en especial cuando se habla de trabajos de muy larga duración que se realizan con un bajo estímulo de la vía glucogénica¹⁵¹. También puede ser útil para valorar la adaptación al ejercicio en situaciones de mal estado de los depósitos energéticos de glucógeno o en caso de enfermedades musculares^{144,153}. Sin embargo, en la actualidad no hay muchos estudios que controlen los efectos del entrenamiento regular en la concentración de amonio en sangre a diferentes niveles de carga.

Interleucina 6

La interleucina 6 (IL-6) es una citocina producida por el músculo de forma secundaria al ejercicio, tanto concéntrico como excéntrico¹⁵⁴. Se ha podido relacionar su comportamiento con la resistencia a la insulina¹⁵⁵, la gestión de los depósitos de hidratos de carbono¹⁵⁵ y la movilización de las grasas¹⁵⁵.

Su producción y liberación dependen de la homeostasis del calcio, de la disponibilidad de glucosa y de la formación de radicales libres¹⁵⁶. La IL-6 así formada actúa tanto de forma paracrina como endocrina, y tiene efectos sistémicos, entre los que se encuentra el aumento de la liberación de glucosa por el hígado y el aumento de la lipólisis¹⁵⁶. Durante el ejercicio, su síntesis y liberación al torrente sanguíneo aumentan, facilitando por tanto la disponibilidad de sustratos para los tejidos activos¹⁵⁶.

Se conoce también que su síntesis aumenta cuanto mayor es la carga de ejercicio, pero sobre todo cuanto mayor es la duración de este. Durante un ejercicio de carga progresiva se ha observado que la IL-6 aumenta de forma paralela al aumento de la carga, a la estimulación adrenérgica y a la entrada de glucosa en el músculo¹⁵⁷. En cambio, su síntesis disminuye cuando se administran hidratos de carbono durante la realización del ejercicio. Por lo tanto, la baja disponibilidad de recursos energéticos parece ser uno de los principales estímulos para su producción¹⁵⁶.

Asimismo, se ha comprobado que su concentración en sangre se ve modificada por el entrenamiento¹⁵⁴. La baja condición física se asocia a valores aumentados de IL-6 en reposo, mientras el entrenamiento tiende a reducir la IL-6 producida durante el ejercicio¹⁵⁶.

Aunque hay poca experiencia para la monitorización del entrenamiento, parece ser un parámetro cuyo uso en un futuro cercano puede ser muy interesante.

Gases en sangre

En la ergoespirometría en sujetos normales, entre ellos los deportistas, los gases en sangre no suelen tener mucho interés porque no

presentan modificaciones significativas con respecto a otros parámetros. La presión parcial de oxígeno en sangre arterial (P_{aO_2}) no debe alterarse durante la PE, y la P_{aCO_2} suele disminuir a partir de la hiperventilación de esfuerzo¹²⁹. Los gases en sangre, habitualmente, tan solo se utilizan en entornos hospitalarios, pues en las ergoespirometrías ambulatorias pueden obtenerse informaciones aproximadas a partir del estudio de la presión parcial de oxígeno al final de la espiración (P_{EtO_2}), de la saturación arterial de oxígeno (SaO_2) por pulsioximetría y de la presión parcial de dióxido de carbono al final de la espiración (P_{EtCO_2}).

Si se utiliza la SaO_2 hay que tener en cuenta que los pulsioxímetros no distinguen la carboxihemoglobina de la oxihemoglobina¹²⁹. Durante el ejercicio, los artefactos producidos por el movimiento, interferencias lumínicas o alteraciones de la onda de pulso pueden alterar la medida. Así y todo, sigue siendo un método aceptable para la toma de decisiones¹²⁹, siempre que los sujetos en estudio presenten hipoxemias inferiores a 60 mmHg durante la prueba; si no, la pulsioximetría será insuficiente para detectar la hipoxemia.

En la ergoespirometría ambulatoria habitualmente se trabaja con el seguimiento de la P_{EtO_2} y de la P_{EtCO_2} (Figura 17), cuyos comportamientos no son muy diferentes a los de las respectivas fracciones espiradas (F_{EO_2} y F_{ECO_2}), al menos en sujetos normales (Figura 9).

Interpretación

La ergoespirometría ofrece una oportunidad única para valorar simultáneamente las respuestas de los sistemas celulares, cardiovascular y respiratorio en una situación de estrés controlado¹²⁹, para lo que es necesario mantener constantes las condiciones ambientales en que se realice la PE en función de la finalidad del diagnóstico. Si se quiere ver cómo se adapta el deportista a la carga de trabajo, será importante que esas condiciones sean lo más estándar posible. Si se quiere comprobar cómo se adapta el deportista a las condiciones en que se desarrollará un evento deportivo determinado, entonces será conveniente que las condiciones puedan ajustarse a las que se encuentran durante el desarrollo de la competición.

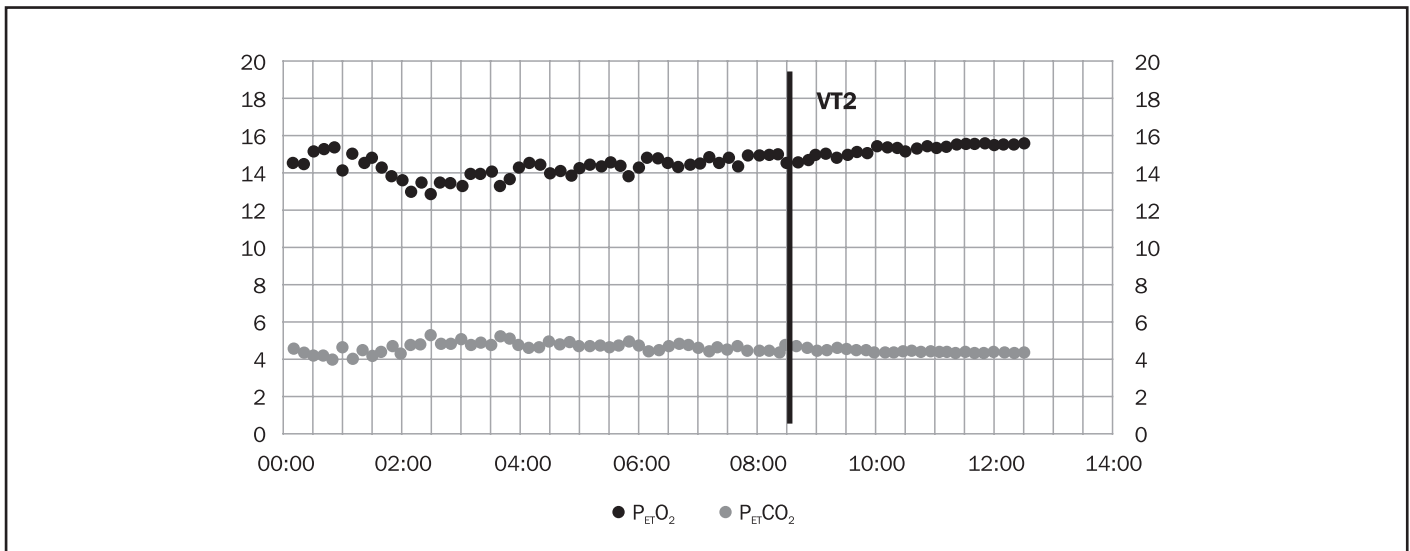
La interpretación de este tipo de exploración en los deportistas debe tener en cuenta que se trata de sujetos sin ninguna patología subyacente, o que si la hubiera, esta tendría una repercusión mínima sobre la disponibilidad del aporte de energía.

Este tipo de exploración, en primer lugar, va a servir para descartar la presencia de enfermedades de base que pudieran presentarse durante la realización del ejercicio, o que pudieran limitar la disponibilidad adecuada de los recursos energéticos para el deportista.

La parte principal de la interpretación debe dirigirse a valorar si los datos obtenidos van a ser suficientes para tener un buen rendimiento en la especialidad deportiva elegida. En este punto tendrá mucho interés la adecuada valoración del $VO_{2\text{máx}}$ y de la máxima carga alcanzada, siempre que puedan relacionarse con los datos obtenidos por otros deportistas de su misma especialidad deportiva¹³³.

Ahora bien, no debe olvidarse que el $VO_{2\text{máx}}$ es solo un buen predictor del rendimiento entre deportistas muy heterogéneos en su valor. En deportistas de una misma especialidad con $VO_{2\text{máx}}$ parecidos, otros factores van a ser mejores predictores del rendimiento¹⁵⁸.

También la correcta determinación del UAn será importante, pues aportará claves sobre la capacidad del deportista para trabajar

Figura 17. Comportamiento de la $P_{ET}O_2$ y de la $P_{ET}CO_2$ durante una prueba de esfuerzo con aumento progresivo de la carga cada minuto.

a determinadas fracciones de su capacidad máxima de esfuerzo. No obstante, también en este caso deberá valorarse específicamente para la especialidad deportiva que se esté estudiando, pues no todos los deportistas van a presentar el mismo tipo de adaptación.

Aplicaciones

Los resultados que se obtengan durante una ergoespirometría van a venir determinados por el protocolo de estudio diseñado previamente; por lo tanto, como se conoce la carga de ejercicio que va a ser aplicada, los resultados que se obtengan responderán al estímulo aplicado.

Las pruebas ergoespirométricas van a servir, en función del protocolo que se aplique, para valorar la potencia del sistema aeróbico de aporte de energía del deportista y su capacidad de resistencia, además de para obtener datos que ayuden en la prescripción del entrenamiento o la predicción del rendimiento¹⁴¹.

Se debe tener en cuenta que tanto el crecimiento como la maduración sexual y el proceso de entrenamiento producen cambios adaptativos en la respuesta del individuo a la carga de entrenamiento, y por ello la respuesta de una persona en un test ergoespirométrico va a depender mucho de sus antecedentes de dedicación al deporte y de su preparación.

Como se observaba anteriormente en el caso del VO_2 máx, este depende de diferentes factores, algunos de ellos modificables por el entrenamiento. Siempre que en el proceso de entrenamiento se incluyan cargas de ejercicio susceptibles de incidir en él, será interesante valorar si se han presentado *a posteriori* modificaciones secundarias al entrenamiento realizado.

Respecto al umbral ventilatorio sucede algo similar. De hecho, la determinación del umbral ventilatorio está destinada, en el caso de los deportistas, justamente al diseño y la modificación de los planes de entrenamiento^{141,158}, y en función de los distintos criterios que cada uno siga para su aplicación¹⁴⁹.

Diagnóstico y pronóstico de la prueba de esfuerzo

La PE o ergometría (del griego *ergon*, trabajo, y *metron*, medida) es un procedimiento diagnóstico que evalúa la respuesta del corazón a un ejercicio físico progresivo. Esta prueba es una de las exploraciones cardiacas más utilizadas y proporciona importantes datos diagnósticos y pronósticos en una amplia variedad de pacientes.

Ciertos individuos, como por ejemplo los que realizan trabajos relevantes para la seguridad pública (pilotos, controladores aéreos, conductores de autobús o tren, etc.) y los que desempeñan trabajos con grandes requerimientos físicos (bomberos, etc.), deberían someterse periódicamente a una PE.

Valor pronóstico del electrocardiograma de esfuerzo

Además del papel que tiene en el diagnóstico de la enfermedad arterial coronaria, el ECG de esfuerzo proporciona un método estandarizado para evaluar el pronóstico, independientemente de si está presente la enfermedad coronaria. A pesar del uso importante de la PE para el diagnóstico de la enfermedad coronaria, cada vez más están surgiendo nuevas estrategias diagnósticas alternativas, como son algunas modalidades de imagen (ecografía de estrés, RM de estrés, etc.). La solicitud del ECG durante el esfuerzo físico para valorar el pronóstico está en aumento^{159,160}.

Con mucha frecuencia, además, el ECG de esfuerzo tiene la utilidad de servir como punto de vista complementario para ayudar en la toma de decisiones^{159,161}.

Valor pronóstico de la capacidad máxima de ejercicio físico

La capacidad de realizar un ejercicio físico o la cantidad de trabajo alcanzado antes de llegar al agotamiento es un predictor muy potente

en el momento de valorar la supervivencia. Muchos estudios han demostrado, de manera específica, la utilidad del estudio de la capacidad máxima de ejercicio físico para establecer un pronóstico¹⁶²⁻¹⁶⁴.

“Cuanto más dure y más intenso sea el esfuerzo físico durante una PE, menor frecuencia existe, tanto para hombres como para mujeres, de fallecer de manera precoz o temprana, bien por causa de una enfermedad arterial coronaria, como por otras causas”.

Muchos autores consideran la PE cardiopulmonar con análisis de gases como un medio mejor para evaluar el rendimiento del ejercicio físico, debido a que el análisis de gases da información detallada del VO_2 máx, de la respuesta ventilatoria y del nivel de esfuerzo físico alcanzado².

La realización de pruebas de capacidad funcional requiere equipos especializados para dicho fin, en contraste con lo necesario al realizar la prueba con una cinta rodante o un cicloergómetro. Sin embargo, existe abundante literatura que demuestra que la duración del ejercicio, con un protocolo estándar, es un predictor del pronóstico en pacientes con ECV tanto conocida como sospechada. Existen algunas consideraciones al respecto, que pueden ayudar a optimizar el valor de la PE estándar en la valoración de la capacidad máxima de ejercicio y de su pronóstico. Por ejemplo, el protocolo de Bruce, tan ampliamente usado, fue desarrollado como un test diagnóstico muy eficiente para hombres de mediana edad, pero no es el protocolo óptimo para la valoración de la capacidad de ejercicio máxima en una población heterogénea, en particular en mayores, obesos o individuos no entrenados. En estos grupos, con este protocolo, puede ocurrir que se produzca una parada de la prueba de manera prematura, debido al incremento constante en los requerimientos aeróbicos, y será la limitación física, en lugar de la limitación fisiológica, la que hará detener la PE. De este modo, las implicaciones pronósticas, por una disminución en el rendimiento de la prueba, disminuirán.

Para estos grupos de población, los protocolos recomendados y más útiles son aquellos que realizan incrementos pequeños en las cargas de trabajo, para que a su vez las necesidades energéticas para realizar el ejercicio físico sean ligeras.

Hay una limitación para la evaluación sistemática del pronóstico sobre la capacidad de ejercicio, y es que, cuando se trata de realizar una PE con la finalidad de llevar a cabo un diagnóstico por la imagen, muchos laboratorios utilizan habitualmente como válida una PE que alcance el 85% de la predicción máxima prevista, asumiendo que este punto es lo bastante sensible como para alcanzar un diagnóstico de enfermedad arterial coronaria. Esto trae como consecuencia que la finalidad no sea realizar ejercicio físico hasta el agotamiento, con las consecuencias descritas para evaluar el pronóstico. Además, asumir que alcanzar solo el 85% de la FCmáx supone una carga de trabajo cardiaco suficiente para el diagnóstico de isquemia coronaria es un punto que ha sido cuestionado¹⁶⁵.

Se añade a esta debilidad que, cuando se valora la capacidad de ejercicio, con frecuencia se informa la prueba en términos solo de duración de la misma, pero no se contempla la intensidad del ejercicio, por lo que implícitamente se le quita valor a la PE como herramienta de pronóstico.

Si se cuantifica el ejercicio físico utilizando los MET, estos proporcionan un formato mejor para informar sobre la capacidad de ejercicio, y

además facilitan una comparación fisiológicamente significativa de los diferentes protocolos en los que idénticos tiempos de ejercicio pueden tener diferentes implicaciones pronósticas.

Otra limitación para cuantificar la capacidad de ejercicio como marcador pronóstico está relacionada con el reto de comparar las capacidades individuales con los estándares para similares edad y sexo^{159,166,167}.

Tanto el diagnóstico como la evaluación pronóstica podrían llevarse a cabo mejor utilizando protocolos de PE a medida de la verdadera capacidad de ejercicio máximo de cada paciente.

Respuesta cronotrópica anormal al ejercicio

En el apartado 2.3 (*Respuesta cardiovascular al ejercicio en sujetos normales*) se explica la respuesta cronotrópica como una más de las respuestas cardiovasculares al ejercicio físico.

La incompetencia cronotrópica es la incapacidad para elevar la FC necesaria y precisa para un momento específico de la actividad física realizada o para la demanda por parte de dicho esfuerzo físico. Una respuesta correcta de la FC se acompañará de una elevación correcta del gasto cardiaco, para así cubrir las demandas metabólicas durante el esfuerzo físico.

Una respuesta cronotrópica alterada e inadecuada es un predictor de padecer algún tipo de accidente cardiaco y de morir por cualquier tipo de causa. A pesar del teórico valor de este hallazgo, la definición o el concepto de respuesta cronotrópica aparecen en ocasiones como ambiguos.

Lo más sencillo es relacionar la FC alcanzada con el pico de la FCmáx teórica, que como es sabido desciende con la edad ($220 - \text{edad}$), por lo que una incapacidad para alcanzar el 85% o más de FCmáx predicha por la edad es considerada como una incompetencia cronotrópica. Sin embargo, la capacidad funcional basal y la FC en reposo también están relacionadas con la respuesta cronotrópica.

Un método alternativo para valorar la incompetencia cronotrópica conlleva la valoración de la proporción de la FC de reserva usada o utilizada:

Frecuencia cardiaca de reserva (FC Res): término acuñado por Karvonen, se define como la diferencia entre la FCmáx y la FC de reposo.

$$\text{FC reserva} = \text{FCmáx} - \text{FC de reposo}$$

Por ejemplo, en un individuo de 40 años de edad que tiene una FC de reposo de 70 lpm, su FC de reserva es:

$$\begin{aligned} (\text{frecuencia máxima } 220 - \text{edad} = 180) \\ 180 - 70 = 110 \end{aligned}$$

Si en la PE la FCmáx alcanzada es 157 lpm, el cálculo de la proporción o porcentaje de la FC de reserva será:

$$\begin{aligned} \text{FC reserva (\%)} = (157 - 70) / (180 - 70) = 0,79 \text{ (79\%)} \\ 87 / 110 = 79\% \end{aligned}$$

Un valor menor del 80% de la FC de reserva se ha usado para definir una incompetencia cronotrópica significativa¹⁶⁸.

Recientemente, con el afán de individualizar más la respuesta cronotrópica en individuos adultos sanos, se han propuesto unas nuevas fórmulas para el cálculo y la predicción de la FCmáx , que serían^{169,170}:

$$208 - 0,7 \times \text{edad} \text{ (para varones)}$$

$$206 - 0,88 \times \text{edad} \text{ (para mujeres)}$$

Otras condiciones que pueden afectar a la evolución de la FC durante la ergometría son un alto nivel de entrenamiento (especialmente de resistencia) y el tratamiento con beta-bloqueantes, que pueden dar lugar a una disminución de los incrementos de la FC para niveles similares de trabajo submáximo y también a una dificultad para alcanzar las FC_{máx} predichas. Esta es una causa muy observada y frecuente en la consulta de valoración deportiva, debido en ocasiones al alto grado de entrenamiento de fuerza realizado con los miembros inferiores.

Por último, la respuesta cronotrópica insuficiente¹⁷¹ (imposibilidad de alcanzar el 85% de la FC_{máx} prevista [FCMP]) o la presencia de una respuesta cronotrópica inadecuada se asocian con un mayor riesgo y un peor pronóstico de cardiopatía isquémica en las mujeres^{168,169,172,173}.

Valor pronóstico de la anormalidad de la frecuencia cardíaca durante la recuperación del ejercicio físico

A pesar de que un criterio universalmente aceptado sea que un descenso de la FC, o una reducción desde el pico del ejercicio físico máximo, igual o menor de 12 lpm después de cesar el ejercicio, y mientras el paciente permanece en bipedestación, es muy usado para definir una respuesta anómala de la FC durante la recuperación, no ha sido todavía bien establecido este parámetro en cuanto a su importancia¹¹¹.

Numerosas investigaciones han demostrado que el descenso de la FC durante la recuperación de un ejercicio físico es un marcador importante de padecer un problema cardiovascular, tanto en población aparentemente sana como en enfermos, y al margen de las diferencias en la población de pacientes, la medicación o la capacidad funcional basal^{110,114,174}.

La magnitud de la recuperación de la FC depende en gran manera del protocolo de ejercicio utilizado, pero algunas inconsistencias encontradas en la literatura han dado lugar a que exista una cierta incertidumbre sobre este índice. La información obtenida al principio del valor de la disminución de la FC durante la recuperación estaba basada en pacientes que tras acabar el ejercicio permanecían erguidos y caminaban lentamente durante 2 minutos. Con este protocolo se identificó, como mejor punto de corte, el de la reducción igual o menor de 12 lpm como marcador que incrementa cuatro veces el riesgo de muerte en estos pacientes. Se ha visto, en contraste con lo anterior, que algunos protocolos se llevan a cabo en diferentes posiciones del paciente al acabar el ejercicio, y según los diferentes protocolos usados el punto de corte de la recuperación de la FC tiende a ser mayor. No obstante, la implicación en la reducción o desaceleración de la FC es similar en todos ellos.

Anomalías de la presión arterial durante el ejercicio y la recuperación

La definición de hipotensión durante el ejercicio físico engloba dos situaciones: la primera es una disminución de la PA por debajo de la presión inicial durante el ejercicio, y la segunda es cuando se produce un incremento inicial al comienzo del ejercicio seguido de una disminución igual o mayor de 10 mmHg¹⁷⁵, siendo esta última una potencial situación para detener el ejercicio, en especial en presencia de isquemia o de cualquier otra enfermedad cardíaca.

Los mecanismos fisiopatológicos que inducen hipotensión durante el ejercicio incluyen obstrucción aórtica y del tracto de salida del ventrículo izquierdo, disfunción del ventrículo izquierdo e isquemia miocárdica.

El ejercicio, que produce una hipotensión evidente, significa un marcador pronóstico de incremento del riesgo de sufrir accidentes cardiovasculares¹⁷⁵. En sujetos sin patología cardíaca puede haber otras causas que provoquen hipotensión, como deshidratación, problemas con un tratamiento antihipertensivo o un ejercicio prolongado extenuante.

Se ha definido una respuesta exagerada de la PA, igual o mayor que 210 mmHg para varones y 190 para mujeres. Un aumento de la PAD durante el ejercicio superior a 10 mmHg por encima de los valores de reposo se considera anormal y puede predecir un aumento del riesgo de sufrir una enfermedad arterial coronaria¹⁷⁶.

Las indicaciones relativas recomendadas para detener una PE son alcanzar cifras superiores a 250 mmHg de PAS y 115 mmHg de PAD. Un aumento exagerado de la PAS como respuesta al esfuerzo suele indicar un aumento del riesgo de padecer hipertensión arterial en el futuro.

Un fallo de la PAS a disminuir o un aumento en el periodo de recuperación, en un tiempo aunque sea muy corto, en relación con los valores alcanzados durante el ejercicio máximo, se ha demostrado que es un predictor de riesgo de muerte¹⁷⁷.

Arritmias durante el ejercicio y la recuperación

La importancia o el significado de la presencia de extrasístoles ventriculares durante el ejercicio y la recuperación está todavía por establecer; aunque algunos trabajos indican que su presencia puede significar un aumento del riesgo de muerte¹⁷⁸, otros no lo hacen. Sin embargo, algunos autores encuentran un riesgo elevado de muerte en los sujetos que presentan la extrasístolia durante la recuperación. Por otro lado, se ha descrito una diferencia, con respecto al origen de la extrasístolia, que consiste en que cuando la extrasístole tiene morfología de BRD se asocia con disfunción del ventrículo izquierdo, y además con un riesgo más alto de predecir una muerte, en comparación con la extrasístolia originada en el tracto de salida del ventrículo derecho¹⁷⁹.

La prueba de esfuerzo en mujeres y niños

La prueba de esfuerzo en mujeres

Los objetivos y la utilidad de la realización de una PE en las mujeres son los mismos que en el resto de la población. Sin embargo, las mujeres han estado y todavía están insuficientemente representadas en la investigación en muchas áreas de la cardiología y de la MD¹⁸⁰, y numerosas pautas y recomendaciones se basan a menudo en investigaciones realizadas predominantemente en los hombres.

A continuación se describen los aspectos generales a tener en cuenta respecto a la realización de las PE en las mujeres:

- El cálculo de los parámetros indirectos a partir de los datos obtenidos en una PE y la interpretación de los resultados deben hacerse con valores de referencia o ecuaciones adecuadas a la población femenina.

- Las mujeres tienen en general una menor incidencia de alteraciones electrocardiográficas relacionadas con el deporte¹⁸¹, pero el ECG de la mujer presenta algunos rasgos diferenciales que pueden influir en la interpretación de los resultados obtenidos en una PE.
- La muerte súbita relacionada con el deporte tiene una incidencia significativamente menor en las mujeres, incluso después de tener en cuenta las posibles diferencias en las tasas de participación¹⁸². Esta información, además de hacer hincapié en la importancia de analizar a las mujeres por separado de los hombres en los estudios de las enfermedades cardíacas, es de particular interés para la planificación de los test a incluir en el *screening* poblacional.

Sin embargo, el aspecto más importante a tener en cuenta en las PE realizadas en mujeres es la interpretación del ECG (en particular la depresión del segmento ST) y sus implicaciones en cuanto al diagnóstico y al pronóstico de patología cardiovascular y de la enfermedad coronaria en particular.

Aunque clásicamente se ha considerado que el riesgo de ECV era menor en las mujeres¹⁸³, en los últimos años se ha puesto de manifiesto un aumento de la prevalencia de cardiopatía isquémica en mujeres de mediana edad (35-54 años)^{180,184}. Además, actualmente existen evidencias sobre un inadecuado manejo en el diagnóstico de la cardiopatía isquémica en las mujeres, hecho que probablemente sea la causa, en parte, de este aumento de la mortalidad y de la morbilidad por ECV en el sexo femenino¹⁸⁵.

Tradicionalmente se ha considerado que la depresión del segmento ST, como parámetro significativo de isquemia, tenía menor valor diagnóstico en las mujeres que en los hombres^{186,187}. Existen numerosos estudios que muestran que la sensibilidad y la especificidad de los criterios diagnósticos de cardiopatía isquémica son ligeramente inferiores, aunque similares en magnitud, en las mujeres que en los hombres (61% frente a 68%, y 70% frente a 77%, respectivamente)^{186,188}. En un metaanálisis de la *Agency for Healthcare Research and Quality*, de los Estados Unidos, que incluía 29 estudios con 3.392 mujeres, se obtuvo una sensibilidad y una especificidad para la detección de enfermedad coronaria obstructiva del 62% (intervalo de confianza del 95% [IC95%]: 55-68) y del 68% (IC95%: 63-73)¹⁸⁹, respectivamente, similares a las de una población mixta de hombres y mujeres. En cualquier caso, es probable que estas diferencias se deban, al menos en parte, a la mayor frecuencia de alteraciones basales en el segmento ST-T, a la disminución de la amplitud electrocardiográfica propia del sexo femenino³ o a factores hormonales en relación a las concentraciones de estrógenos endógenos en las mujeres premenopáusicas o a la terapia de reemplazo hormonal en las posmenopáusicas¹⁹⁰⁻¹⁹³.

Por otro lado, aunque el valor predictivo positivo de la depresión del segmento ST en la PE en las mujeres es significativamente menor que en los hombres (47% frente a 77%; $p < 0,05$), el valor predictivo negativo en las mujeres sintomáticas es similar al de los hombres (78% frente a 81%)¹⁹⁰. Así, un ECG de esfuerzo negativo en el entorno de un ejercicio máximo es útil para excluir enfermedad coronaria obstructiva.

Pero además, la PE proporciona información diagnóstica y pronóstica, mucho más allá de la respuesta del segmento ST. Por ello, el consenso de la AHA sobre pruebas no invasivas para el diagnóstico de cardiopatía isquémica en las mujeres¹⁸⁵ propone como parámetros a tener en cuenta la capacidad funcional, la respuesta cronotrópica y

la recuperación de la FC, así como la utilización de índices de riesgo multifactoriales, entre otros.

Capacidad funcional

El nivel de capacidad funcional evaluado con la PE es uno de los marcadores de riesgo cardiovascular más importantes a tener en cuenta y se considera un predictor independiente de enfermedad coronaria en las mujeres¹⁹⁴⁻²⁰⁰. En caso de dudas, tener una buena capacidad física mejora la sensibilidad y la especificidad diagnósticas de la PE cuando se asocia a un descenso del ST^{194,195}.

A partir de una serie de 5.721 mujeres asintomáticas, Gulati y Black¹⁹⁷ definieron la máxima capacidad funcional teórica en MET como $14,7 - (0,13 \times \text{edad})$. La imposibilidad de alcanzar el 85% de la máxima capacidad teórica de ejercicio se asoció con un aumento del riesgo de mortalidad por todas las causas y de mortalidad de causa cardíaca, tanto en mujeres sintomáticas como en asintomáticas¹⁹⁷. Por otro lado, el hecho de alcanzar una capacidad funcional superior a 10 MET, lo mismo en los hombres que en las mujeres, se asocia con una menor prevalencia de isquemia evaluada por tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT)²⁰¹, y por cada aumento de 1 MET en la capacidad de ejercicio hay una reducción del 17-25% de la mortalidad por todas las causas^{198,200}.

En conclusión, tanto para fines pronósticos como diagnósticos, la información relacionada con el nivel de aptitud cardiorrespiratoria debe incorporarse a la interpretación de la PE, si bien es muy importante adecuar el protocolo a la capacidad física de las mujeres. El protocolo de Bruce requiere cargas de trabajo iniciales de 4,7 MET y aumentos graduales de 2-3 MET por etapa, que pueden precipitar fatiga temprana en mujeres con poca masa muscular o baja capacidad física. Por tanto, en estos casos deberían aplicarse protocolos adaptados con pequeños aumentos o inicio a cargas de trabajo más bajas.

Respuesta cronotrópica

Cuando durante una PE no se produce un aumento de la FC adecuado al nivel de esfuerzo, se considera que existe una respuesta cronotrópica insuficiente¹⁷¹. La imposibilidad de alcanzar el 85% de la FCMP, o la presencia de una respuesta cronotrópica inadecuada, se asocian con un mayor riesgo y un peor pronóstico de cardiopatía isquémica en las mujeres^{168,169,172,173}. La fórmula propuesta por Gulati y Shaw¹⁶⁹ para el cálculo de la FCMP en mujeres asintomáticas es $206 - (0,88 \times \text{edad})$. En cualquier caso, en ausencia de clínica o de signos de isquemia evidentes, la PE debe prolongarse hasta el punto de fatiga voluntaria máxima, y no poner el objetivo en alcanzar el 85% de la FCMP. Por último, hay que tener en cuenta que, para valorar la respuesta de la FC durante el ejercicio, el test debe realizarse en ausencia de beta-bloqueantes.

Recuperación de la frecuencia cardíaca

Cuando la FC al minuto de finalizar la PE no ha disminuido al menos 12 lpm respecto al valor máximo obtenido, existe una recuperación insuficiente¹⁸⁵. Este dato es indicativo de una posible disfunción autonómica y se ha relacionado con resistencia a la insulina en adultos jóvenes²⁰². Además, es un predictor independiente de riesgo de mortalidad por todas las causas en caso de cardiopatía isquémica en las mujeres²⁰³.

Índices de riesgo

La utilización de índices de riesgo que integren varios parámetros obtenidos en la PE ha demostrado ser una herramienta útil en el diagnóstico de eventos cardiovasculares. Uno de los más utilizados es el índice de Duke (DTS, *Duke Treadmill Score*), obtenido a partir del tiempo total de la PE, los cambios en el segmento ST y la aparición de angina^{204,205}. En función de los resultados obtenidos es posible estratificar el nivel de riesgo y mejorar la precisión diagnóstica y pronóstica de la PE^{83,204,205}, si bien probablemente sea menos eficaz en mujeres de edad avanzada²⁰⁶. También se ha observado que la supervivencia de las mujeres parece ser mejor que la de los hombres a todos los niveles del índice de Duke^{204,205}.

Según el estudio WOMEN (*What is the Optimal Method for Ischemia Evaluation in Women?*)²⁰⁷, las PE realizadas a mujeres con una buena capacidad de esfuerzo y con ECG valorable tienen el mismo valor predictivo que los estudios de perfusión miocárdica, y por lo tanto son una herramienta diagnóstica con una buena relación coste-beneficio que debería tenerse en cuenta en las baterías de test iniciales a realizar en mujeres sintomáticas con sospecha de enfermedad coronaria.

En cuanto a las PE falsamente positivas en las mujeres, es probable que una gran parte de ellas se deban a la presencia del síndrome X. Este síndrome se caracteriza por dolor torácico y cambios electrocardiográficos en el ejercicio sin evidencia de enfermedad coronaria por angiografía^{208,209}. Aunque su pronóstico es mejor que el de las mujeres con enfermedad coronaria obstructiva evidente, se asocia a menudo con un aumento de la mortalidad de causa cardiovascular y, por lo tanto, es necesario tenerlo en cuenta de cara a evaluar mujeres con dolor torácico persistente y PE falsamente positiva.

Conclusiones

En conclusión, en comparación con la población masculina, las PE en las mujeres presentan algunas limitaciones en su realización, evaluación y significado pronóstico y diagnóstico, que deben tenerse en cuenta. La cuestión fundamental que queda sin resolver sigue siendo el alto número de resultados falsamente positivos basados en la interpretación de la depresión del segmento ST, que posiblemente se deba a una mayor prevalencia de la enfermedad coronaria no obstructiva en las mujeres. Sin embargo, dado el bajo coste del ECG de esfuerzo y su eficacia en comparación con otras opciones diagnósticas, la PE puede ayudar a guiar las decisiones clínicas y ser una prueba de elección óptima y rentable, sobre todo en mujeres sintomáticas. En la Tabla 14 se exponen las recomendaciones de la AHA y los niveles de evidencia para el uso de las PE en la cardiopatía isquémica en las mujeres¹⁸⁵.

La prueba de esfuerzo en niños

Las indicaciones para la PE en el grupo de edad pediátrica son amplias y tienen como objetivo general la evaluación de la capacidad física y de los mecanismos que limitan o pueden limitar el ejercicio. Además, cada vez son más numerosos los niños y adolescentes que participan en actividades de competición de alta exigencia, y que por tanto precisan un análisis exhaustivo de su condición física.

Sin embargo, las PE en población pediátrica tienen algunas características diferenciales que es esencial tener en consideración, tanto en el niño sano como en el niño enfermo. Antes de la realización del test es

Tabla 14. Recomendaciones respecto a la utilización de pruebas de esfuerzo en mujeres con sospecha de cardiopatía isquémica.

- El test de esfuerzo es la prueba diagnóstica de elección en el caso de mujeres sintomáticas con ECG de reposo normal y con capacidad funcional superior a 5 MET, reservando las pruebas de imagen para aquellos casos de alteraciones basales en el segmento ST o incapacidad para realizar esfuerzos (clase I, nivel de evidencia B).
- La interpretación de la prueba de esfuerzo debe incluir no solo la valoración del segmento ST, sino también la capacidad de ejercicio, la respuesta cronotrópica, la recuperación de la FC y la respuesta de la PA durante el ejercicio (clase I; nivel de evidencia B).
- En aquellos casos con resultados anómalos o no concluyentes en la prueba de esfuerzo (por ejemplo, ECG negativos en un test submáximo o con incapacidad de alcanzar el 85% del valor teórico de la FC_{máx} prevista), se debe completar el estudio con pruebas diagnósticas de imagen (clase I; nivel de evidencia C).

Modificada de AHA¹⁸⁵.

muy importante que tanto el niño como los padres o tutores entiendan perfectamente el procedimiento a realizar. Además, el laboratorio de fisiología debe estar equipado con material apropiado para la edad y el tamaño del niño (manguitos de presión, mascarillas pediátricas, ergómetros adecuados, etc.), así como con medidas de seguridad y protocolos de urgencias adaptados para esta población (equipo de RCP pediátrica).

Ergómetros

Se debe valorar de manera individualizada cada caso en función del tamaño y la edad del niño, de su nivel de coordinación, su condición física, el objetivo de la prueba y la especificidad del deporte. En general se prefiere el uso del tapiz, que se considera seguro incluso para niños de 3-4 años^{210,211}, aunque puede ser necesario el uso de un arnés de seguridad. El cicloergómetro proporciona mediciones fisiológicas más estables durante el ejercicio y se prefiere cuando el objetivo es priorizar la medida de la PA, el ECG o medidas ecocardiográficas. Sin embargo, algunos niños, especialmente los menores de 6 años, pueden tener dificultades para mantener una cadencia constante de pedaleo, incluso cuando el cicloergómetro se ajusta a su tamaño²¹⁰, y esto hace que sea más difícil alcanzar un esfuerzo máximo debido a fatiga prematura²¹¹.

Protocolos

Existe una gran heterogeneidad en la elección de los protocolos de ejercicio⁵¹, que en última instancia deberá hacerse de acuerdo con las características del niño, la finalidad de la prueba, las variables a medir y el material disponible^{211,212}. Lo ideal es que el protocolo esté diseñado para conseguir el límite máximo en 10 ± 2 minutos, con un periodo inicial de recogida de datos en reposo, un calentamiento previo de 2-3 minutos y un periodo de recuperación de 5-10 minutos^{210,211}. En la Tabla 15 se encuentran los protocolos habitualmente utilizados en cardiología y fisiología pediátricas. Alguno de ellos, como el de Bruce, son de dudosa aplicación en los niños (sobre todo en los más pequeños o con poca capacidad física), por lo que es recomendable utilizar modificaciones de los mismos con menores incrementos de la carga, o elegir otras alternativas.

Tabla 15. Protocolos de esfuerzo utilizados en niños.

Protocolo	Usos
Protocolos escalonados múltiples. Tapiz: Bruce Cicloergómetro: James Balke McMaster Cornell Strong McNaughton Godfrey	Medición de VO ₂ máx, UAn y potencia máxima. Análisis de las causas de la limitación del ejercicio. Evaluación de isquemia miocárdica o arritmias.
Protocolos incrementales continuos con incrementos de 1 minuto o en rampa	Las mismas. Medida del trabajo y la eficiencia ventilatoria.
Protocolos de carga constante	Medición submáxima de los parámetros ventilatorios o de la FC. Análisis del efecto de una intervención terapéutica o del coste energético de actividades de la vida diaria.
Protocolos de <i>sprint</i>	Estudio del broncoespasmo inducido por el ejercicio.
Test de marcha de 6 minutos	Evaluación de la tolerancia al ejercicio en niños con limitaciones de moderadas a graves.

Modificada de Paridon et al.²¹⁰.

Los protocolos en rampa constituyen una buena opción, ya que proporcionan una mejor respuesta hemodinámica y de intercambio de gases que los protocolos con escalones más largos. Lo más recomendable es la utilización de protocolos incrementales continuos o en rampa, cuyo incremento de carga se adecúe a la duración óptima de la prueba. Una buena estimación¹²⁹ de esta pendiente es $W/\text{min} = (\text{VO}_2 \text{ máx previsto} - \text{VO}_2 \text{ reposo}) / 92,5$. En términos generales, el aumento de la carga de trabajo para los adolescentes en buena condición física puede ser de 20-25 W/min, mientras que para niños más pequeños o con mayores limitaciones será de 5-10 W/min. Algunos autores proponen para los niños sanos un incremento de la carga de trabajo en relación al peso corporal, con aumentos de 0,25 W/min por kilo de peso²¹³.

Otros protocolos utilizados son el test de la marcha de 6 minutos²¹⁴, indicado para evaluar la tolerancia al ejercicio en niños con una limitación de moderada a grave, en quienes una PE puede ser demasiado exigente, o protocolos específicos en función del objetivo, como el test de provocación de broncoespasmo. En este caso es preferible la utilización de tapiz frente a cicloergómetro, ya que el tipo de ejercicio es más propenso a inducir broncoespasmo. Se utilizan protocolos de 5-8 minutos de ejercicio a una intensidad elevada, en torno al 80% de la capacidad máxima, carga que debe alcanzarse en un plazo máximo de 2 minutos, y con un periodo de calentamiento breve para evitar la refractariedad en el desarrollo del broncoespasmo²¹⁰.

De cualquier forma, e independientemente del protocolo y del ergómetro utilizados, en las pruebas con análisis de gases ventilatorios hay que tener especial cuidado en asegurar que la boquilla o mascarilla

se ajuste correctamente. Las mascarillas suelen ser más adecuadas porque permiten una respiración más natural, tanto por la boca como por la nariz, y evitan el clip nasal, que es mal tolerado por los niños. En los niños más pequeños y en aquellos con enfermedad pulmonar restrictiva grave debe evitarse que el espacio muerto del sistema sea excesivo.

Crterios de maximalidad

Se estima que entre el 20% y el 40% de los niños o adolescentes no presentan a nivel máximo la típica meseta de VO₂^{212,215,216}, y por ello, tanto en niños entrenados como no entrenados, es preferible usar el VO₂ pico y utilizar otros criterios de cara a establecer la maximalidad de la prueba^{210,216,217}:

- Cociente respiratorio mayor de 1 o 1,1, según los autores.
- FCmáx cercana a 200 lpm durante la PE en tapiz o a 195 lpm en cicloergómetro, o un ritmo cardiaco dentro del 85-95% del máximo previsto para la edad. Hay que tener en cuenta que en los niños con insuficiencia cronotrópica u otras limitaciones al ejercicio este valor puede ser difícil de alcanzar.
- Nivel de lactato en sangre ≥ 6 mmol/l.

Algunos autores, sin embargo, consideran que el uso de criterios secundarios puede condicionar la aceptación de un VO₂ pico inferior al real, o rechazar una medida verdadera de VO₂ máx en los niños no entrenados²¹². Por ello, es importante tener en cuenta también el criterio subjetivo del examinador experimentado²¹⁰, y en caso de duda realizar test supramáximos tras la primera medición del VO₂ máx para confirmar sus valores²¹⁶.

Interpretación de los resultados

La edad, el sexo, la pubertad, la condición física y el propio proceso de crecimiento afectan de forma sustancial a la respuesta fisiológica al ejercicio. Por eso, y de cara a evitar interpretaciones erróneas, tanto por exceso como por defecto, es necesario ajustar los datos obtenidos en la PE de acuerdo al estado madurativo del niño y a sus especiales características.

En un estudio acerca de la validez de los valores de referencia pediátricos se observa que existe una gran heterogeneidad en la elección de los protocolos de ejercicio y en los ajustes realizados en relación al tamaño del niño, lo cual dificulta la posibilidad de encontrar un conjunto amplio y fiable de valores de referencia para los niños⁵¹. Esto contribuye en gran medida a generar dudas en la interpretación de los resultados, hecho de especial importancia en la evaluación de niños y adolescentes con enfermedades congénitas del corazón, en los que el estudio objetivo de la intolerancia al ejercicio es un complemento crucial para las evaluaciones clínicas.

En general, los valores de referencia se expresan en un formato no paramétrico, en el cual una variable se presenta como una media y su desviación estándar de acuerdo con diversos subgrupos (edad, sexo, etc.), o bien pueden ser ajustados por medio de una regresión matemática basándose en uno o varios factores de influencia. Lo más habitual es utilizar ecuaciones de predicción que tienen en consideración la talla (en lugar del peso), si bien estas ecuaciones pueden no ser adecuadas para niños altos con un índice de masa corporal (IMC) inferior a 18 kg/m² o para niños con baja talla^{218,219}. Es probable que el peso, la altura o la edad tengan un papel independiente en la explicación del VO₂ máx, y

así la normalización basada en una única variable (por ejemplo, el peso del niño) puede generar un dato inadecuado o incompleto^{51,220,221}. Por ello, y ante la falta de datos de referencia adecuados, es recomendable interpretar los resultados obtenidos en la PE teniendo en cuenta los estudios prospectivos de grupos poblacionales y protocolos concretos, asumiendo que la evolución de los parámetros a lo largo del desarrollo del niño no es lineal y que es probable que influya más de una variable⁵¹.

Variables

Al igual que en los adultos, las PE pueden realizarse con o sin análisis de gases ventilatorios. Una PE con monitorización del ECG puede ser suficiente para el estudio de la PA, los cambios electrocardiográficos o la SaO₂, o cuando el niño no tolera la boquilla o la mascarilla para toma de muestras ventilatorias. En estos casos, el parámetro indicativo de la capacidad de esfuerzo será el tiempo hasta la fatiga en tapiz rodante, o el pico de potencia en cicloergómetro. Sin embargo, el rango de normalidad de estas variables es muy amplio en los niños, por lo que su utilidad es limitada. Además, en caso de existir, proporcionan escasa información sobre la causa de una posible intolerancia al ejercicio. Por lo tanto, siempre que sea posible, y tanto en el niño sano como en el enfermo, es preferible la utilización de PE con análisis de gases. En la Tabla 16 se expone una relación de las principales variables a analizar y su utilidad en diferentes cardiopatías en los niños²¹¹.

Niños con enfermedad cardiaca

La PE se utiliza en el diagnóstico y el pronóstico de las ECV y de las enfermedades respiratorias en niños y adolescentes, y se considera un procedimiento seguro incluso en niños de alto riesgo²¹⁰. A diferencia de lo que ocurre en los adultos, la cardiopatía isquémica es poco frecuente en los niños y por ello las principales indicaciones para las PE son la evaluación de la capacidad funcional y la identificación de arritmias o de otras respuestas anómalas inducidas por el ejercicio²¹¹. La PE también permite obtener información objetiva de cara a la toma de decisiones, la evaluación de la eficacia de un tratamiento y la definición de los límites de seguridad individuales^{222,223}. Además, inculca confianza al niño y a la familia, y motiva a los pacientes a participar en programas de actividad física que mejoren su capacidad funcional.

Las situaciones más destacadas dentro de la cardiología pediátrica en las cuales se realizan PE son las cardiopatías congénitas, las enfermedades cardíacas adquiridas o miocardiopatías, y otras que a continuación se exponen.

Cardiopatías congénitas

En los niños con cardiopatía congénita se recomienda la realización de una PE máxima (o lo más cercana al máximo posible) con objeto de valorar su capacidad física y realizar una prescripción individualizada de actividad física. La FC_{máx} en este contexto no es un indicador válido de

Tabla 16. Variables a estudiar en la prueba de esfuerzo en niños.

Variable	Interpretación	Indicaciones
VO ₂ pico	↓ En baja condición física o insuficiencia cardiorrespiratoria	Cardiopatía congénita, miocardiopatía, hipertensión pulmonar, receptores de trasplante cardíaco, BAV completo.
FC _{máx}	↓ En insuficiencia cronotrópica	Cardiopatía congénita operadas, síndrome del QT largo, trasplante de corazón.
	↓ En el tratamiento con beta-bloqueantes	Cardiopatía congénita/miocardiopatía con insuficiencia cardíaca, arritmias.
ECG	Arritmias inducidas por el ejercicio Isquemia	Cardiopatía congénita, arritmias primarias, enfermedad de Kawasaki, anomalías coronarias.
	Otros cambios inducidos por el ejercicio	Síndrome del QT largo, síndrome de Brugada, WPW, marcapasos.
Pulso de O ₂	↓ En la disfunción ventricular	Cardiopatía congénita, miocardiopatía, enfermedad de Fontan.
SaO ₂	↓ En enfermedad pulmonar, <i>shunt</i> intracardiaco o intrapulmonar	Cardiopatía congénita.
PA	↓ En disfunción sistólica	Cardiopatía congénita, miocardiopatía (hipertrófica, sobre todo), coartación aórtica.
	↑ En HTA	
Umbral anaeróbico	↓ En baja condición física o insuficiencia cardiorrespiratoria	Cardiopatía congénita, miocardiopatía, programas de rehabilitación.
Pendiente VE/VO ₂ , VE/VCO ₂	↑ En situaciones de ventilación ineficaz (alteraciones de la ventilación/perfusión)	Cardiopatía congénita con fallo cardíaco o <i>shunt</i> derecha-izquierda, Fallot operado, hipertensión pulmonar, receptores de trasplante de corazón.
Test de función pulmonar	↓ En presencia de enfermedad pulmonar añadida	Cardiopatía congénita con múltiples toracotomías, <i>shunt</i> derecha-izquierda, alteraciones de la ventilación/perfusión.

Modificada de Massin *et al*²¹¹.

maximalidad, ya que muchas cardiopatías congénitas se acompañan de cierto grado de insuficiencia cronotrópica que impide alcanzar valores máximos de FC²²⁴, por lo que habría que considerar otros criterios, como se mencionó anteriormente.

En general, las directrices de actividad física en los niños con cardiopatía congénita son de valor limitado para la mayoría de los pacientes, ya que se centran principalmente en los deportes de competición y basan el proceso de toma de decisiones en las lesiones anatómicas individuales. Un enfoque más adecuado sería formular recomendaciones basadas en el estudio dinámico de las variables hemodinámicas y electrofisiológicas²²³. En este enfoque, la PE puede ayudar a proporcionar una recomendación individualizada basándose en la interpretación del VO₂ pico, la FC_{máx}, la escala de Borg, la respuesta de la PA al ejercicio, la saturación de oxígeno y la detección de los trastornos del ritmo y de la conducción durante la actividad física²²³. Estos datos son también de interés para la evaluación del estado clínico en pacientes potencialmente candidatos a trasplante cardiaco²²⁵.

Niños con enfermedad cardiaca adquirida o miocardiopatías

En estos casos, además de valorar la tolerancia al esfuerzo, la respuesta de la PA y las alteraciones electrocardiográficas, es interesante la determinación del UAn y del VO₂ pico. Estos datos aportan información interesante para la evaluación de la gravedad de la insuficiencia cardiaca, la progresión de la enfermedad y la eficacia de los tratamientos. Se ha demostrado que el VO₂ pico tiene valor pronóstico en los niños con miocardiopatía dilatada, en quienes la morbilidad y la mortalidad aumentan cuando el valor es inferior al 62% del teórico²²⁶. El VO₂ sirve también de referencia para decidir el momento adecuado para un posible trasplante cardiaco.

En la miocardiopatía hipertrófica se recomienda una PE anual con objeto de evaluar el riesgo de muerte súbita, que entre otros factores se asocia con una respuesta anómala de la PA. Además, la PE también puede aportar información diagnóstica en las miocardiopatías metabólicas primarias gracias a la detección de acidosis grave.

Otras situaciones

Aunque la isquemia miocárdica es rara en los niños, hay que tener en cuenta que algunas anomalías en el ECG de base (alteraciones en la conducción, patrón ST juvenil, etc.) pueden confundirse con cambios isquémicos inducidos por el ejercicio y disminuir, incluso en el caso de cardiopatías potencialmente isquémicas, la sensibilidad y la especificidad de la PE para detectar isquemia. Por tanto, si tras una PE se sospecha la presencia de cardiopatía isquémica en los niños es necesario confirmar el diagnóstico por medio de otras pruebas, como la ecografía cardiaca de esfuerzo o pruebas de perfusión^{227,228}.

Por otro lado, el dolor torácico sí es un síntoma relativamente frecuente en pediatría, aunque rara vez es de origen isquémico y se relaciona más habitualmente con problemas asmáticos. En estos casos, una espirometría antes y después del esfuerzo será la prueba prioritaria a realizar. No obstante, cuando exista sospecha clínica o exploratoria de que el dolor es de origen isquémico, y dado que el ECG de esfuerzo tiene escaso valor diagnóstico para detectar cardiopatía isquémica en los niños²²⁹, será necesario realizar pruebas complementarias que confirmen el diagnóstico^{227,228}.

Las PE también pueden ser útiles en el manejo de las arritmias en los niños. En general, se considera que el desencadenamiento de arritmias cardiacas durante el esfuerzo es un factor de riesgo. En cuanto a la presencia de latidos ectópicos, su desaparición durante el esfuerzo es un signo de benignidad en corazones estructuralmente sanos²³⁰, pero no así en el caso de alteraciones estructurales, en las que tienen escaso valor pronóstico²³¹. La PE puede servir también de apoyo en el diagnóstico de la taquicardia ventricular polimórfica catecolaminérgica²³², del síndrome de QT largo^{233,234}, y del síndrome de Brugada^{232,234}, entre otras afecciones.

La prueba de esfuerzo en personas mayores y en personas con discapacidad

La prueba de esfuerzo en personas mayores

La edad a la que se considera a una persona mayor o anciana son los 65 años, y para el correcto uso de la PE se requiere conocer los cambios asociados a la edad en la respuesta aeróbica y también en las patologías asociadas a esa misma edad, fundamentalmente en lo referente a ECV²³⁵⁻²³⁷.

El motivo para realizar una PE en ancianos sanos es similar al considerado para la población adulta en iguales condiciones de salud^{1,238}.

La PE estaría indicada para prescribir ejercicio en pacientes con EPOC y que vayan a realizar un programa de ejercicio como rehabilitación²³⁹⁻²⁴¹, y en aquellos con enfermedad vascular periférica que también realicen programas de ejercicio como rehabilitación^{242,243}.

Como norma general, los ancianos necesitan un mayor tiempo de adaptación para una intensidad de trabajo²⁴⁴. Además, en esta población hay que tener en cuenta que la FC en reposo suele estar disminuida o sin cambios respecto a los adultos²³⁸, pero los ancianos tienen limitaciones para elevarla con el ejercicio, lo que dificulta alcanzar la FC_{máx}.

La PAS aumenta a lo largo de la vida adulta debido al progresivo endurecimiento arterial²⁴⁵, mientras que la PAD se estabiliza en la década de los 60 años para luego disminuir. La respuesta de la PAS al ejercicio máximo y submáximo aumenta con la edad, y esto ocurre de forma más pronunciada en las mujeres²⁴⁶.

El VO₂ máx decrece alrededor de un 10% por década de edad, desde la juventud tardía en las mujeres y en mitad de la década de los 20 años en los hombres. Esta disminución está asociada con una disminución de la actividad de *endurance* cardiorrespiratoria. La FC_{máx} también disminuye con la edad, aproximadamente un latido por año, como ya se ha comentado antes. Estos cambios son menores en deportistas mayores que han seguido practicando ejercicio, lo que indica que la inactividad física está muy ligada a estos cambios ocurridos por la edad²⁴⁷.

Numerosas enfermedades frecuentes en los ancianos pueden limitar la capacidad de realizar PE, como por ejemplo la EPOC, comúnmente asociada a la ECV, o la artrosis, y también la obesidad, de gran prevalencia en estas edades. Además, también hay que tener en cuenta los problemas de salud mental y las alteraciones cognitivas²⁴⁸. Todo esto, unido a la falta de costumbre de realizar ejercicio vigoroso

o al miedo al aparataje, suele tener como consecuencia la realización de PE submáximas.

Para la realización de las PE máximas se usa tanto la cinta rodante como el cicloergómetro. Es preferible la cinta, excepto lógicamente en personas con alteraciones de la marcha o de la vista, aunque la fatiga muscular aparece más prematuramente en el cicloergómetro²⁴⁹.

La prueba debe durar entre 8 y 12 minutos, y los incrementos de potencia deben ser pequeños y frecuentes para evitar la fatiga física y psíquica. Por ello, son preferibles los protocolos que mantienen constante la velocidad de la cinta y aumentan la elevación, como por ejemplo los de Naughton o Balke, frente al habitual de Bruce. De la misma manera, en el cicloergómetro se prefieren los protocolos en rampa con incrementos pequeños de la potencia, de 0,5-1 MET por estadio. Así mismo, es conveniente realizar una fase de calentamiento de unos 2-3 minutos para mejorar la ansiedad del paciente y evitar problemas musculares^{249,250}.

La edad puede aumentar el riesgo de aparición durante la PE de extrasístoles supraventriculares o ventriculares incluso en individuos asintomáticos, pero no parece aumentar el riesgo de infarto o de muerte durante la prueba^{250,251}.

La PE es un buen método para valorar el progreso de la ECV y del infarto de miocardio en estos pacientes. Con los datos que se tienen, el valor de la PE es similar en pronóstico al de otras poblaciones²⁵². Por lo general, tras un infarto, la imposibilidad de realizar la PE indica un gran riesgo de mortalidad. Hay estudios que confirman un aumento de la mortalidad a 1 año en aquellos pacientes que no pudieron realizar una PE postinfarto, así como en aquellos con un aumento menor de la PAS durante el ejercicio (≤ 30 mmHg)^{253,254}.

En pacientes con ECV estable, la PE tiene una gran utilidad diagnóstica y pronóstica^{255,256}. Varios estudios demuestran que las alteraciones del ST tienen una gran capacidad de predicción en los pacientes ancianos^{257,258}. Aunque no se recomienda el uso sistemático de la PE en ancianos sanos, esta prueba tiene una gran capacidad pronóstica en dicha población^{259,260}.

La información sobre la utilidad de la PE en los pacientes mayores de 75 años es limitada, pero los datos existentes sugieren que puede tener el mismo valor que en los ancianos más jóvenes, como así parecen indicar diversos estudios sobre PE en pacientes de avanzada edad^{261,262}.

Por su simplicidad, bajo coste y extendida familiaridad en su realización e interpretación, la PE en tapiz con control electrocardiográfico es el mejor test para la selección de personas mayores con ECG normal que quieran realizar ejercicio²⁶³.

Las indicaciones de la PE en ancianos, según la Sociedad Española de Cardiología¹, son:

- *Clase I*: ninguna.
- *Clase IIa*: ancianos con enfermedades crónicas que puedan beneficiarse de la prescripción individualizada de ejercicio dentro de un programa de rehabilitación.
- *Clase IIb*: valoración de ancianos con múltiples factores de riesgo. Valoración en varones y mujeres mayores de 65 años sintomáticos:
 - Que desean comenzar a realizar un ejercicio vigoroso (intensidad mayor del 60% del $VO_{2\text{máx}}$ y especialmente si son sedentarios).

- Que padezcan enfermedades crónicas que supongan un alto riesgo de sufrir enfermedades coronarias (diabetes, insuficiencia renal crónica, etc.).

- *Clase III*: detección sistemática en ancianos asintomáticos.

La prueba de esfuerzo en personas con discapacidad

Existen protocolos de PE para personas con discapacidad física²⁶⁴, especialmente con hemiplejía, paresias tras un accidente cerebrovascular (ACV) u otras con lesiones medulares. Estos protocolos emplean ergómetros de brazos y también cicloergómetros. La prueba comienza con potencias de 20 W y se incrementa en 10 W por escalón.

Tanto los protocolos como los criterios de detención de la PE son similares a los de las personas sin discapacidad, pero serán de elección los protocolos submáximos y discontinuos, por ser más seguros y parecidos a la actividad cotidiana.

La $FC_{\text{máx}}$ será 10-20 lpm inferior a la alcanzada en las PE realizadas con las piernas, por lo que las cifras estimadas de $FC_{\text{máx}}$ serán reducidas en esos valores.

En personas sanas sin entrenamiento de miembros superiores, el $VO_{2\text{máx}}$ alcanzado en ergómetros de brazos es solo un 50-70% del alcanzado en cicloergómetros. Asimismo, para cualquier valor de intensidad submáxima el VO_2 es mayor, y el aumento de la FC y de la PA es más rápido en el ejercicio de miembros superiores que en el de miembros inferiores²⁶⁵. Por este motivo, la sensibilidad de la PE con ergómetro de brazos para detectar una cardiopatía isquémica será inferior a la que ofrece la realizada con las piernas²⁶⁵.

La PE clínica o funcional de personas en silla de ruedas podrá realizarse en ergómetros de manivela, ergómetros de silla de ruedas o con la propia silla de ruedas en un tapiz rodante.

Las indicaciones de la PE en personas con discapacidad serán las mismas que en aquellas sin discapacidad, manteniendo los mismos subgrupos: asintomáticos, deportistas y cardiopatas¹.

Desafortunadamente, la limitación de la capacidad de ejercicio en estos test hace que puedan ser inadecuados para la detección de respuestas anormales, en cuyo caso serán preferibles los test de esfuerzo farmacológicos³, aunque algún estudio pone en duda esta tesis y da más especificidad a los test físicos²⁶⁶.

En los últimos años han aparecido trabajos en los cuales personas con discapacidad intelectual realizan PE en tapiz con protocolos máximos y submáximos²⁶⁷⁻²⁶⁹. Es importante que estas personas tengan cierto entrenamiento en los protocolos para poder realizar la prueba.

El test incremental máximo comienza con una velocidad de 4 km/h durante 2 minutos, para ir subiendo cada 5 minutos un 2,5% la pendiente hasta llegar al 7,5 %. Desde ese momento se sube cada 2 minutos otro 2,5% hasta alcanzar una pendiente máxima del 12,5%. A partir de entonces, la pendiente será constante y se incrementará la velocidad 1,6 km/h hasta la extenuación. La recuperación se hará durante 3 minutos a 2,4 km/h con una pendiente del 2,5%²⁷⁰.

Los valores del $VO_{2\text{máx}}$ en personas con síndrome de Down son inferiores a los observados en pacientes con otras deficiencias intelectuales y a los de la población general²⁷¹.

La prueba de esfuerzo en personas con patología

La prueba de esfuerzo en las enfermedades cardiovasculares

Las ECV continúan siendo la principal causa de muerte en España. La precocidad de su diagnóstico y el manejo de los factores de riesgo son la principal estrategia para combatirlas.

Así como las patologías valvulares y las miocardiopatías tienen un diagnóstico basado en técnicas de imagen, la cardiopatía isquémica y las arritmias tienen un diagnóstico electrocardiográfico, y la ergometría es una de las pruebas que más precozmente pueden diagnosticar la enfermedad coronaria.

De forma general, la PE en los pacientes con ECV tiene los siguientes objetivos:

- Diagnóstico de alteraciones cardiovasculares isquémicas o arrítmicas, mediante criterios electrocardiográficos o ecocardiográficos.
- Estudio funcional, para establecer una estratificación pronóstica y para individualizar el tratamiento, incluyendo las indicaciones de trasplante cardiaco.
- Estudio de parámetros dirigidos a la prescripción de ejercicio físico dentro de programas de rehabilitación cardiaca o dirigidos a las actividades de la vida cotidiana.

Dentro de las ECV se distinguen tres principales áreas de aplicación de las PE: cardiopatía isquémica, arritmias y enfermedades valvulares.

Cardiopatía isquémica

La cardiopatía isquémica es una de las enfermedades con mayor trascendencia por su repercusión sobre la mortalidad global, si bien en los últimos años la mortalidad por cardiopatía isquémica ha disminuido en España²⁷². De ahí la necesidad de continuar con la prevención, el diagnóstico y el tratamiento precoces, y de controlar los factores de riesgo (HTA, dislipidemia, obesidad, diabetes, tabaquismo) y los desequilibrios entre demanda y aporte de VO₂ miocárdico, propios de la enfermedad coronaria.

Aunque la principal utilidad de la PE en la cardiopatía isquémica es en el diagnóstico, acompañada de datos clínicos, biomarcadores y técnicas de imagen, la ergometría también tiene un papel destacado en la evaluación funcional, la estratificación pronóstica y la prescripción

de ejercicio físico en los pacientes coronarios al incorporar la medición del VO₂máx y del UAn mediante variables espirométricas^{1,272}.

Diagnóstico de enfermedad coronaria

La decisión de realizar una PE con carácter diagnóstico en los pacientes coronarios pasa por evaluar previamente la probabilidad de que el sujeto padezca una cardiopatía isquémica según la edad, el sexo y los síntomas (Tabla 17).

Las indicaciones de una PE con finalidad diagnóstica son las siguientes:

- *Clase I*: evaluación inicial de pacientes con probabilidad intermedia de enfermedad coronaria.
- *Clase IIa*: pacientes con angina vasoespástica y pacientes con sospecha sintomática de enfermedad coronaria con alteraciones en el ECG basal poco significativas.
- *Clase IIb*: pacientes asintomáticos con factores de riesgo adicionales.
- *Clase III*: pacientes con importantes alteraciones del ECG basal (síndrome de preexcitación, ritmo ventricular de marcapasos, depresión del ST mayor de 1 mm, BRI).

En los adultos sanos, la PE tiene indicación de clase IIb en la evaluación de personas con múltiples factores de riesgo y de varones mayores de 45 años y mujeres mayores 50 años asintomáticos que deseen comenzar a realizar ejercicios vigorosos, especialmente si son sedentarios, o que presenten un alto riesgo de cardiopatía isquémica (insuficiencia renal crónica, trasplante renal, diabetes con vasculopatía periférica)¹.

Protocolo de prueba de esfuerzo en enfermos coronarios

Los protocolos para PE en estos pacientes difieren dependiendo de que el VO₂máx pueda medirse directamente o indirectamente, en cuyo caso deben utilizarse protocolos estandarizados en los cuales los MET se calculen en razón del estadio alcanzado durante la prueba.

Cuando la medición del VO₂máx se realiza directamente mediante ergoespirometría, los protocolos más adecuados son aquellos en rampa que permiten alcanzar la maximalidad y calcular los umbrales de una manera más precisa.

El protocolo de Bruce es uno de los utilizados en personas sedentarias y en pacientes cardiacos. En él se varían tanto la inclinación como la velocidad de la cinta, y el VO₂máx se estima de forma indirecta. Además del control electrocardiográfico, en este protocolo se hace control de la PA.

Tabla 17. Probabilidad de cardiopatía isquémica.

Edad (años)	Sexo	Angina típica	Dolor no típico	Dolor no anginoso	Asintomático
30-39	Hombre	Intermedia	Intermedia	Baja	Muy baja
	Mujer	Intermedia	Muy baja	Muy baja	Muy baja
40-49	Hombre	Alta	Intermedia	Intermedia	Baja
	Mujer	Intermedia	Baja	Muy baja	Muy baja
50-59	Hombre	Alta	Intermedia	Intermedia	Baja
	Mujer	Intermedia	Intermedia	Baja	Muy baja
60-69	Hombre	Alta	Intermedia	Intermedia	Baja
	Mujer	Alta	Intermedia	Intermedia	Baja

Alta: mayor del 90%; intermedia: 10-90%; baja: menor del 10%; muy baja: menor del 5%.

El protocolo de Bruce modificado es una variación del de Bruce con estadios de menor intensidad (velocidad, inclinación). Es más adecuado para la adaptación a la cinta de los sujetos con menor capacidad física (Tabla 18).

Los protocolos en bicicleta ergométrica se utilizan principalmente en las PE con control ecocardiográfico^{2,273}. Para estimar el VO_2 pueden utilizarse algunas fórmulas, como la del *American College of Sport Medicine (ACSM)*²³⁸:

$$VO_2 \text{ (l/min)} = 0,0108 \times \text{potencia (W)} + 0,007 \times \text{peso corporal (kg)}$$

Este protocolo en cicloergómetro se inicia con resistencias bajas (25-50 W) y se incrementa la carga cada 2 minutos en 20-25 W hasta el objetivo que se persiga, máximo o submáximo.

Las PE en cicloergómetro presentan las siguientes ventajas con relación a las realizadas en cinta rodante²:

- Mayor estabilidad en el registro del ECG.
- Mayor facilidad para el control de la PA.
- Menores coste y espacio.

En la Tabla 19 se indican los parámetros evaluados en la ergoespirometría diagnóstica.

Todas estas medidas deben controlarse desde la fase de reposo previa al inicio de la prueba hasta la finalización de la misma. El control electrocardiográfico, de la PA y de los síntomas debe mantenerse durante la fase de recuperación, ya que en ella pueden aparecer síntomas como angina, bajadas de PA o arritmias, y además, en caso de que se hayan observado alteraciones electrocardiográficas durante la prueba, debe controlarse el tiempo que tardan en normalizarse, con una finalidad pronóstica.

Motivos de finalización de la prueba

La PE finaliza cuando se llega al nivel de fatiga que impide continuar con el esfuerzo en las pruebas maximales, con el objetivo de obtener variables de capacidad o funcionalidad máxima, como $VO_{2\text{máx}}$, FC y PA máxima, y velocidad o W máximos. En las pruebas submáximas, el objetivo es determinar respuestas o variables en intensidades intermedias para el control y el seguimiento de tratamientos, entrenamientos, etc.

Los criterios absolutos de finalización de la PE son^{1,2,273}:

- Deseo reiterado del sujeto de finalizar la prueba.
- Dolor precordial anginoso progresivo.
- Descenso o falta de incremento de la PAS a pesar del aumento de la carga.

Tabla 18. Protocolo de Bruce modificado en cinta rodante⁴².

Estadio	Tiempo	Velocidad	Inclinación	MET
1	3	2,7	0	1,7
2	3	2,7	5	2,8
3	3	2,7	10	5,4
4	3	4,0	12	7,0
5	3	5,4	14	10
6	3	6,7	16	13
7	3	8,0	18	17
8	3	8,9	20	20

Tabla 19. Parámetros evaluados en la ergoespirometría diagnóstica.

Parámetros electrocardiográficos:

- Depresión del segmento ST
- Elevación del segmento ST
- Arritmias y alteraciones de la conducción

Parámetros hemodinámicos:

- Frecuencia cardiaca (según el ECG)
- PA tomada al inicio, al final y al final de cada estadio
- Doble producto FC × PAS

Parámetros ventilatorios:

- VO_2
- Producción de CO_2
- VE
- Equivalentes metabólicos (VO_2/VE ; VCO_2/VE)
- Cociente respiratorio

Parámetros clínicos:

- Angina
- Disfunción ventricular (mareos, palidez, sudoración fría, cianosis)
- Disnea y claudicación
- Percepción subjetiva del esfuerzo

Parámetros de capacidad funcional:

- Trabajo externo expresado en MET
- Tiempo de ejercicio

- Arritmias graves o malignas: FA taquicárdica, extrasístoles ventriculares frecuentes, progresivas y multiformes, rachas de taquicardia ventricular, *flutter* o FV.
- Síntomas neurológicos centrales, como ataxia, mareo o síncope.
- Signos de mala perfusión: cianosis, palidez.
- Mala señal electrocardiográfica que impide el control del trazado. Los criterios relativos de finalización de la PE son:
- Cambios llamativos del segmento ST o del complejo QRS (cambios importantes del eje).
- Fatiga, cansancio, disnea y claudicación.
- Taquicardia no grave, incluyendo la paroxística supraventricular.
- Bloqueo de rama que simule taquicardia ventricular.

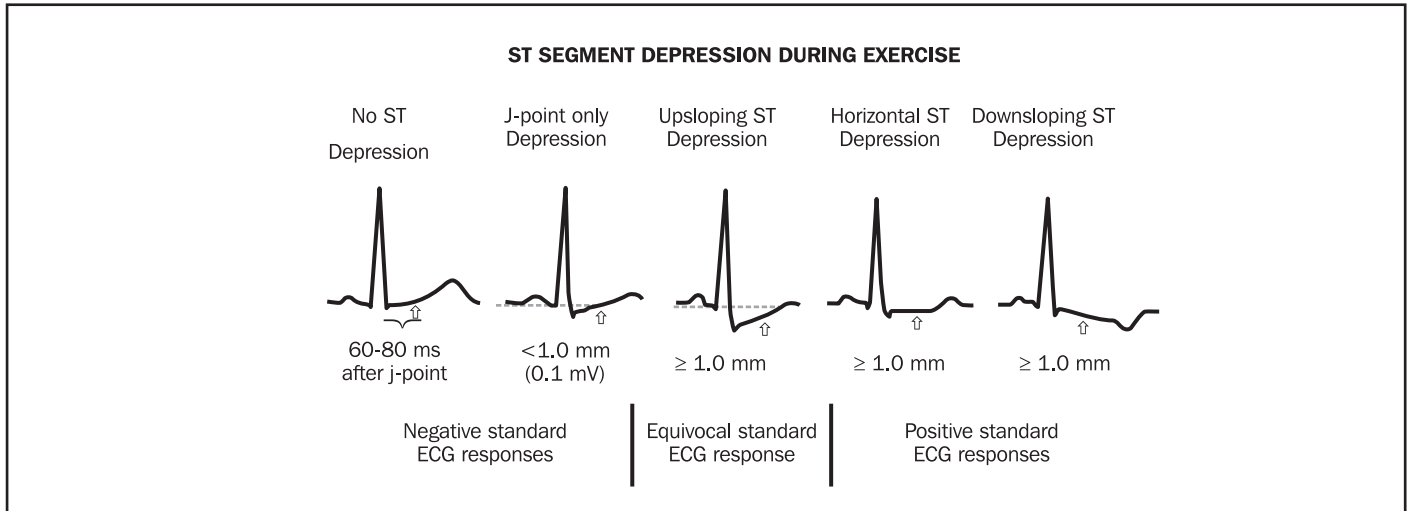
Interpretación de los resultados de la prueba

Interpretación cardiológica

Desde el punto de vista cardiovascular, se consideran criterios de anormalidad de la PE los siguientes^{1,2,6,7,273}:

- Clínicos:
 - Angina durante la PE.
 - Signos de disfunción ventricular izquierda (hipotensión o falta de progresión de la PA, mareo, palidez, sudor frío, náuseas).
- Electrocardiográficos (criterios no absolutos que deben matizarse en el contexto clínico de cada paciente) (Figura 18):
 - Descenso del punto J, respecto al nivel basal, de 0,1 mV o más, seguido de un segmento ST horizontal o descendido a los 60-80 ms.

Figura 18. Cambios en la morfología del segmento ST y del punto J, y su interpretación como respuesta positiva o negativa de ischemia durante el ejercicio. (Tomada de AHA Scientific Statement⁷).



- Descenso del punto J, respecto al 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 isoelectrica.
- Elevación del segmento ST más de 0,1 mV en ausencia de necrosis previa (excepto en aVR).
- Inversión de la onda U.

Las limitaciones en la interpretación diagnóstica de cardiopatía isquémica según los hallazgos electrocardiográficos son:

- Los descensos del segmento ST en pacientes con BRI no son valorables, y no se asocian a isquemia.
- En los pacientes con BRD, el descenso de ST en V1-V3 no se asocia a isquemia, pero cuando se observa en V4-V6 y II-aVF sí tiene valor como signo de isquemia.
- En la hipertrofia ventricular izquierda con alteraciones de la repolarización, la ergometría tiene menos especificidad, sin variar la sensibilidad, y un resultado negativo sí tiene valor para descartar la isquemia.
- El tratamiento con algunos fármacos puede interferir en la interpretación de los resultados (digoxina, beta-bloqueantes).

En la Tabla 20 se muestran las causas de falsos positivos y falsos negativos en la PE¹.

Interpretación funcional

Los pacientes coronarios presentan un déficit funcional que no puede ser valorado mediante los parámetros determinados en reposo, como es el caso de la valoración de la fracción de eyección. La valoración funcional se realiza mediante la determinación del VO₂máx, como variable que refleja la funcionalidad del sistema aeróbico, permitiendo evaluar objetivamente el deterioro funcional de los pacientes y los efectos del tratamiento instaurado^{1,2}.

Además del VO₂máx, el cálculo del UAn permite de forma precisa la prescripción y el seguimiento del entrenamiento en los pacientes de mayor riesgo, como es el caso de aquellos con insuficiencia cardiaca.

Tabla 20. Causas de falsos positivos y falsos negativos en las pruebas de esfuerzo¹.

Falsos positivos	Falsos negativos
Electrocardiográficos: - Alteraciones basales del ECG - Trastornos de la conducción - Síndrome de preexcitación	Nivel insuficiente de esfuerzo: - No alcanzar las FC submáximas. - Limitaciones musculoesqueléticas o vasculares.
Cardiopatías: - Valvulopatías - Prolapso mitral - Miocardiopatías - Hipertrofia ventricular izquierda - Enfermedades pericárdicas	- Personas entrenadas físicamente (en pruebas de esfuerzo submáximas).
HTA	De origen coronario: - Enfermedad de un vaso. - Lesiones de escasa significación. - Circulación colateral suficiente.
Alteraciones metabólicas y electrolíticas	Ciertos fármacos: - Nitratos. - Beta-bloqueante.
Alteraciones vasorreguladoras: - Hiperventilación - Ortostatismo - Ejercicio excesivo repentino - Ansiedad	Aspectos técnicos de valoración: - Número insuficiente de derivaciones. - Error de interpretación.
Efectos de fármacos (digital, diuréticos, antidepressivos, estrógenos)	
Otros: - Anemia - Hipoxemia - <i>Pectum excavatum</i> - Mujeres - Defectos técnicos de interpretación	

La ergoespirometría ofrece la ventaja de su buena reproducibilidad de forma incruenta, que la convierte en una prueba ideal para el seguimiento de los pacientes coronarios.

Según los MET alcanzados en la PE, los pacientes pueden clasificarse de acuerdo con los criterios del ACSM y de la *New York Heart Association*²⁷⁴. En las Tablas 21 y 22 se muestran la clasificación de la población general según el VO_2 máx y la de los pacientes con insuficiencia cardiaca según los valores de VO_2 en el UAn.

Interpretación clínica

Angina

La presencia de angina durante la PE es un signo que se relaciona con patología. El comportamiento del dolor anginoso a lo largo de la PE también es importante, ya que aporta información adicional sobre el pronóstico dependiendo del momento de aparición, las características y la intensidad del dolor, y el comportamiento con el incremento o la disminución de la intensidad del esfuerzo^{2,7,273}.

En la Tabla 23 se muestran las características del dolor anginoso según su intensidad y características.

Disnea

Uno de los síntomas sobre los que debe hacerse un diagnóstico diferencial es la disnea. El diagnóstico diferencial debe establecerse entre la disnea de origen cardiológico o respiratorio. La ergoespirometría permite hacer esta diferenciación de acuerdo con los siguientes criterios y variables:

- Enfermedad pulmonar:
 - VO_2 máx reducido (inferior al 85%).

Tabla 21. Clasificación según los valores de VO_2 máx alcanzados en la prueba de esfuerzo.

	Edad	Baja	Aceptable	Media	Buena	Alta
Hombres	20-29	<25	25-33	34-42	43-52	>53
	30-39	<23	23-30	31-38	38-48	>49
	40-49	<20	20-26	27-35	36-44	>45
	50-59	<18	18-24	25-33	34-42	>43
	60-69	<16	16-22	23-30	31-40	>41
Mujeres	20-29	<24	24-30	31-37	38-48	>49
	30-39	<20	20-27	28-33	34-44	>45
	40-49	<17	17-23	24-30	31-41	>42
	50-59	<15	15-20	21-27	28-37	>38
	60-69	<13	13-17	18-23	24-34	>35

Tabla 22. Clasificación de los pacientes con insuficiencia cardiaca según criterios de la *New York Heart Association*²⁷⁴.

Clase	Deterioro	VO_2 pico (ml/kg/min)	UAn (ml/kg/min)
A	De ninguno a poco	>20	>14
B	De poco a moderado	16-20	11-14
C	Moderado a grave	10-16	8-11
D	Grave	<10	<8

Tabla 23. Clasificación del dolor anginoso según la intensidad en la prueba de esfuerzo⁷.

Descripción	Nivel
Comienzo de la angina. Leve, pero reconocida como dolor al esfuerzo previamente sentido por el paciente	1
El mismo dolor, pero moderadamente intenso, aunque soportable	2
Dolor anginoso intenso que obliga al paciente a detenerse	3
Dolor precordial insoportable. Es el dolor más intenso sentido por el paciente	4

- VO_2 en el umbral superior a 40%.
- Reserva inspiratoria reducida (inferior al 30% o a 15 l).
- Enfermedad cardiaca:
 - VO_2 máx reducido (inferior al 85%).
 - VO_2 en el umbral superior a 40%.
 - Reserva inspiratoria normal (superior al 30% o a 15 l).

Si no se evidencian síntomas durante la PE y la respuesta electrocardiográfica es negativa, el pronóstico es bueno, siempre que se alcancen los MET adecuados para la edad y el sexo.

Estratificación pronóstica

El pronóstico de los pacientes con cardiopatía isquémica depende del daño miocárdico provocado y del estado de funcionalidad del sistema aeróbico de producción de energía^{2,6,7,273,275}.

Las indicaciones de PE con carácter pronóstico son:

- *Clase I*: pacientes sometidos a evaluación inicial de enfermedad coronaria.
- *Clase IIa*: pacientes con enfermedad coronaria con evolución desfavorable.
- *Clase IIb*: pacientes con enfermedad coronaria y alteraciones del ECG, y pacientes estables clínicamente que son evaluados con cierta periodicidad.
- *Clase III*: pacientes con esperanza de vida limitada por cualquier causa.

Los resultados de la PE pueden evidenciar signos de mal pronóstico por reflejar una respuesta miocárdica deteriorada o alteraciones isquémicas precoces. Los signos de mal pronóstico de la PE se muestran en la Tabla 24.

Prescripción de ejercicio^{2,6,7}

La prescripción del ejercicio físico en la cardiopatía isquémica debe ser individualizada y precisa, para evitar los riesgos del ejercicio a intensidades inadecuadas y para promover el mayor número de adaptaciones beneficiosas para la salud cardiovascular y global del paciente.

Las indicaciones de PE con finalidad de asesoramiento sobre actividad física en pacientes postinfarto son:

- *Clase I*: para prescribir la actividad física.
- *Clase IIa*: para evaluar los programas de rehabilitación cardiaca.
- *Clase IIb*: pacientes con ECG anormal.
- *Clase III*: pacientes con esperanza de vida limitada por cualquier causa.

Tabla 24. Signos de mal pronóstico en la prueba de esfuerzo en pacientes coronarios¹.

- Síntomas como disnea o angina desde los estadios más precoces de esfuerzo.
- FC <100 lpm al comienzo de los síntomas limitantes.
- Con relación a las alteraciones del segmento ST:
 - Comienzo de depresión del ST a una FC <100 lpm o con un esfuerzo menor de 4-5 MET.
 - Depresión >0,2 mV.
 - Duración de la depresión del ST hasta el minuto 6 de la recuperación.
 - Elevación del segmento ST.
- Inversión de la onda U.
- Taquicardia ventricular.
- Disminución de la PA >10 mmHg que se mantiene a pesar del aumento de la intensidad del esfuerzo, acompañándose de síntomas de bajo gasto.

Las variables utilizadas para la prescripción de ejercicio en los pacientes con cardiopatía isquémica se desprenden de los valores de maximalidad y en los correspondientes al UAn, cuya determinación es más precisa cuando se utilizan los equivalentes del oxígeno (VE/VO_2) y del dióxido de carbono (VE/VCO_2).

La prescripción se realiza mediante las siguientes variables:

- Consumo de oxígeno:
 - Porcentaje del VO_2 máx.
 - VO_2 en el umbral.
- Frecuencia cardíaca:
 - Porcentaje de la FC máx.
 - Frecuencia cardíaca en el umbral (Figura 19).
 - Frecuencia cardíaca de reserva (FCR).
- Escala de percepción del esfuerzo (Escala de Borg).
- Velocidad de ejercicio.

Pruebas de esfuerzo en las arritmias

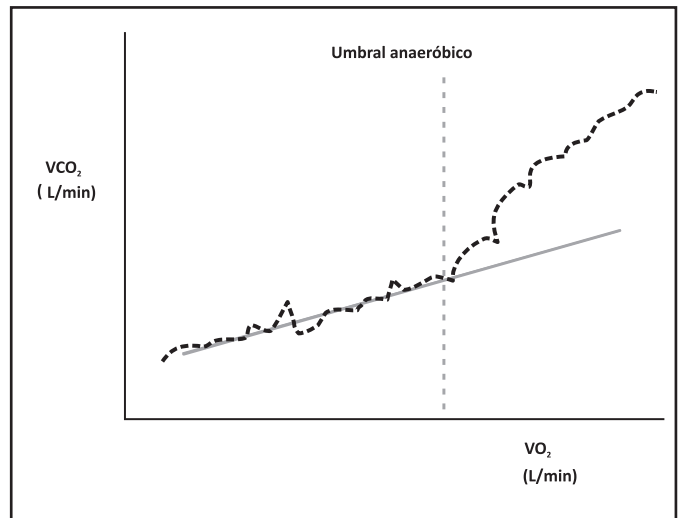
La activación adrenérgica que el ejercicio físico provoca sobre el sistema de conducción cardiaco puede desencadenar arritmias. La PE es una prueba adecuada para explorar arritmias, dentro de las pruebas diagnósticas dirigidas a este fin¹⁷.

Arritmias supraventriculares

Las palpitaciones paroxísticas pueden estar inducidas por extrasístoles auriculares o ventriculares (que infrecuentemente desencadenan crisis de taquicardias), o por taquicardias supraventriculares paroxísticas. En todos estos casos, la PE tiene un papel muy limitado y solo está indicada en los casos en que se presume que las arritmias puedan estar inducidas por isquemia.

En el WPW, la PE está indicada cuando el diagnóstico haya sido evidenciado casualmente en un ECG de control, sin la existencia de síntomas durante el ejercicio. En estos casos, la desaparición de la preexcitación es un signo de buen pronóstico.

Figura 19. Cálculo del umbral anaeróbico según el método V-slope².



Arritmias ventriculares^{2,6,7,275,276}

El ejercicio físico es un estímulo para la inducción de arritmias ventriculares tanto en sujetos asintomáticos como en pacientes cardiovasculares. Las arritmias inducidas por el ejercicio pueden deberse a isquemia miocárdica (en pacientes coronarios o con miocardiopatías), en cuyo caso suelen acompañarse de angina y alteraciones isquémicas del ECG, o a alteraciones no isquémicas relacionadas con la estimulación adrenérgica, como es el caso de las taquicardias ventriculares idiopáticas, o en el síndrome del QT largo.

Bradiarritmias

El ejercicio puede desencadenar bloqueos de segundo o tercer grado, aunque estas alteraciones son infrecuentes, y pueden estar relacionadas con isquemia miocárdica o con alteraciones del sistema de conducción infrahisiano.

Por otro lado, la PE puede ser útil para la valoración de bloqueos y bradiarritmias inducidas por disfunción del nódulo sinusal o de otras vías del sistema de conducción.

Las indicaciones de PE en pacientes con arritmias son:

- *Clase I:* diagnóstico de cardiopatía isquémica.
- *Clase IIa:* inducción de arritmias relacionadas con el ejercicio físico. Programación de marcapasos con modulación de la FC y de desfibriladores automáticos.
- *Clase IIb:* estudio de refractariedad en el WPW en pacientes adultos. Valoración de la eficacia de la terapia instaurada. Estudio del efecto proarrítmico. Estudio de arritmias ventriculares desencadenadas por estados hiperadrenérgicos.

Enfermedades valvulares

La PE tiene un valor relativo en los pacientes con valvulopatías significativas de distintos orígenes. En algunos casos la PE está contraindicada, como en la estenosis aórtica grave. En la gran mayoría de las valvulopatías se observan alteraciones electrocardiográficas basales que impiden el diagnóstico de isquemia, por lo que teniendo en cuenta el valor diagnóstico de la ecocardiografía en estos pacientes, la PE queda

relegada a casos muy concretos cuando se dispone de ergoespirometría, que permite la valoración funcional en pacientes con estenosis aórtica y síntomas atípicos, en pacientes con estenosis mitral para valorar el gasto cardiaco cuando hay discrepancia entre los síntomas y la magnitud de la estenosis, y en la insuficiencia mitral para valorar la indicación quirúrgica.

Las indicaciones de la PE en los pacientes con valvulopatías son^{1,2,7,273}:

- Clase I: ninguna.
- Clase IIa: valoración de la capacidad funcional en caso de estenosis mitral.
- Clase IIb: valoración de la capacidad funcional en la valvulopatía aórtica y en la insuficiencia mitral.
- Clase III: diagnóstico de cardiopatía isquémica en cualquier valvulopatía.

Prueba de esfuerzo en pacientes con hipertensión arterial

La HTA es uno de los factores de riesgo cardiovascular con mayor prevalencia, que se estima en un 30-45% de la población general en Europa (según las guías de la *European Society of Hypertension (ESH)* de 2013)²⁷⁷, y es la principal causa de mortalidad por ictus en este continente.

Los criterios de definición de la HTA se muestran en la Tabla 25, y la evaluación diagnóstica de la HTA se basa en la medición de la PA en la consulta en reposo mediante esfigmomanómetro de mercurio y con la técnica consensuada descrita por Mancia *et al.*²⁷⁷, junto con la medición

Tabla 25. Criterios para el diagnóstico de hipertensión arterial.

Categoría	Sistólica (mmHg)		Diastólica (mmHg)
Óptima	<120	o	<80
Normal	120-129	o	80-84
Normal alta	130-139	o	85-89
HTA grado 1	140-159	o	90-99
HTA grado 2	160-179	o	100-109
HTA grado 3	≥180	o	≥110
HTA sistólica aislada	≥140	y	<90

Tomada de Mancia G, *et al.*⁷⁷.

Tabla 26. Definiciones de hipertensión arterial según los valores de presión arterial en la consulta y fuera de la consulta.

Categoría	PAS (mmHg)		PAD (mmHg)
PA en la consulta	≥140	o	≥90
PA ambulatoria			
Diurna (despierto)	≥135	o	≥85
Nocturna/descansando	≥120	o	≥70
PA de 24 h	≥130	o	≥80
PA en el domicilio	≥135	o	≥85

de la FC, ya que esta ha demostrado ser un factor de riesgo cardiovascular de morbilidad y mortalidad independiente en los pacientes con HTA.

La automedida de la PA (AMPA) en el domicilio y la monitorización ambulatoria de la PA (MAPA) son dos métodos que complementan la información sobre el comportamiento de la PA para el diagnóstico de HTA^{1,277} (Tabla 26).

Respuestas de la presión arterial durante el esfuerzo

Las modificaciones de la PA durante el esfuerzo se deben al aumento del gasto cardiaco (elevando la PAS) y a la reducción de la resistencia vascular periférica (reduciendo o manteniendo la PAD)²⁷⁸.

Existen muchas discrepancias sobre los valores que definen una respuesta hipertensiva durante el esfuerzo¹, siendo el valor de referencia actual el propuesto en las últimas *Guías de Práctica Clínica ESH/ESC 2013 para el Manejo de la Hipertensión Arterial*²⁷⁷, que definen una respuesta hipertensiva cuando los valores de PAS alcanzan 210 mmHg en los varones y 190 mmHg en las mujeres^{1,277}. En los deportistas, algunos autores han cifrado la respuesta hipertensiva en valores de PAS de 250 mmHg y de PAD de 115 mmHg^{7,278}, y también se ha propuesto relacionar la respuesta de la PA con la intensidad del esfuerzo medida en MET. Los valores de normalidad son elevaciones de 7-10 mmHg por cada MET de intensidad de esfuerzo realizado, siendo el valor de corte >11 mmHg/MET^{279,280}.

La prueba de esfuerzo en el diagnóstico y el pronóstico de la hipertensión arterial

Aunque la PE no es de uso frecuente en el manejo de la HTA, su utilización puede aportar información de interés en algunas indicaciones específicas:

- *Diagnóstico de HTA en normotensos*^{1,277,278}: la PE es una técnica útil para valorar el riesgo de sufrir HTA en sujetos normotensos con antecedentes familiares de HTA, en pacientes que presentan HTA lábil y en los sujetos con síndrome metabólico.
- *Diagnóstico de complicaciones de la HTA*^{1,277-279}:
 - Cardiopatía isquémica: la principal indicación de la PE en hipertensos es el diagnóstico de cardiopatía isquémica, cuyas indicaciones y metodología son las mismas que en los pacientes normotensos^{1,277}. Una respuesta hipertensiva en pacientes con sospecha de enfermedad coronaria es signo de menor gravedad, e incluso de buen pronóstico en pacientes mayores (edad superior a 75 años), por reflejar una buena función inotrópica. Sin embargo, la respuesta hipertensiva en hipertensos adultos jóvenes aumenta el riesgo a largo plazo de provocar insuficiencia cardiaca y eventos cardiovasculares²⁷⁸. Una escasa elevación de la PA durante el esfuerzo se considera un signo de mal pronóstico por reflejar disfunción sistólica del ventrículo izquierdo.
 - Arritmias: las arritmias ventriculares son frecuentes en los pacientes hipertensos, especialmente cuando existe hipertrofia ventricular izquierda. Las arritmias malignas ocasionadas por isquemia silente aumentan el riesgo de muerte súbita^{1,278}. Otros factores que pueden desencadenar arritmias en los hipertensos son la hipopotasemia y la hipomagnesemia secundarias al uso de diuréticos.

- *Función pronóstica:* la PE es un indicador pronóstico útil para evaluar la capacidad funcional, la respuesta electrocardiográfica y la respuesta de la PA, que cuando es anormal debe complementarse con una MAPA para poder establecer un diagnóstico de certeza.
- *Estudios de capacidad funcional en cardiopatía hipertensiva y para prescripción de ejercicio.* En los pacientes con cardiopatía hipertensiva, la disminución de la capacidad funcional en la PE puede reflejar una disfunción ventricular sistólica o diastólica^{277,278}. En los pacientes hipertensos, la prescripción de ejercicio terapéutico se basa en los valores de la capacidad funcional y del UAn, obtenidos en la PE, que son más precisos cuando esta se hace con medición del consumo de gases.

Evaluación y seguimiento del tratamiento

La PE puede utilizarse para evaluar la respuesta al tratamiento antihipertensivo, tanto el farmacológico como el basado en cambios del estilo de vida (ejercicio físico y nutrición). En estos casos, en la PE se evalúan las variaciones en la capacidad funcional y en el UAn.

Indicaciones

Las indicaciones de la PE en los pacientes con HTA son^{1,277}:

- *Clase I:* diagnóstico de isquemia miocárdica.
- *Clase IIa:* prescripción de ejercicio físico terapéutico.
- *Clase IIb:* diagnóstico de HTA en situaciones prehipertensivas. Diagnóstico de HTA en casos limítrofes y valoración de la capacidad funcional y de la eficacia del tratamiento.

Contraindicaciones

Las contraindicaciones para realizar una PE en los hipertensos son las mismas que para otras patologías.

Una PA de 240/130 mmHg es una contraindicación absoluta para realizar la PE, y valores de 200/110 mmHg son una contraindicación relativa^{1,277}.

Protocolos en la prueba de esfuerzo^{1,2,6,7,268,277}

Una de las limitaciones para el uso de las PE en hipertensos y para la clasificación de los pacientes es la falta de estandarización de los protocolos de esfuerzo.

La medición de la PA durante la ergometría es más precisa y fácil de realizar cuando se utiliza el cicloergómetro. Con independencia de la elección del ergómetro, los incrementos de las cargas en estas pruebas deben ser lentamente progresivos, para alcanzar la carga máxima en unos 10 minutos.

Además del registro electrocardiográfico y de la medición de los gases espirados cuando se dispone de ergoespirómetro, debe medirse la PA antes de comenzar la prueba, al finalizar cada escalón de esfuerzo, al finalizar la prueba y en los 3-5 primeros minutos de la recuperación^{1,2,6,278,280}.

La toma de la PA durante el esfuerzo debe realizarla siempre personal bien entrenado.

Prueba de esfuerzo en pacientes obesos

El diagnóstico de la obesidad no es una indicación específica para la realización de una PE. Sin embargo, los riesgos cardiovasculares,

metabólicos y músculo-articulares asociados a la obesidad, junto con la sintomatología que puede acompañar a estos pacientes, como disnea, hacen que la PE esté indicada como método de evaluación del riesgo cardiometabólico, del diagnóstico diferencial de los síntomas (disnea, dolor precordial, mareos, palpitaciones), para la evaluación de la capacidad funcional y para la prescripción y el seguimiento del ejercicio físico².

Diagnóstico de cardiopatía isquémica

Las indicaciones de la PE para el diagnóstico de cardiopatía isquémica son las mismas que para los adultos con normopeso, si bien en estos casos hay que considerar la presencia de factores de riesgo adicionales.

Las indicaciones son^{1,273}:

- *Clase I:* evaluación inicial de pacientes con probabilidad intermedia de enfermedad coronaria.
- *Clase IIa:* pacientes con angina vasoespástica y pacientes con sospecha sintomática de enfermedad coronaria con alteraciones en el ECG basal poco significativas.
- *Clase IIb:* pacientes asintomáticos con factores de riesgo adicionales.
- *Clase III:* pacientes con importantes alteraciones del ECG basal (síndrome de preexcitación, ritmo ventricular de marcapasos, depresión del ST mayor de 1 mm, BRI).

Merecen especial mención los pacientes con obesidad mórbida que van a ser sometidos a cirugía bariátrica, dado el riesgo de complicaciones agudas posquirúrgicas²⁸¹. Existe una relación demostrada entre la capacidad funcional preoperatoria y las complicaciones postoperatorias en estos pacientes, lo que ha hecho que la AHA y el ACC hayan destacado la utilidad de evaluar mediante PE la capacidad funcional de los pacientes con obesidad mórbida²⁸². La capacidad de corte es de 15,8 ml/kg de VO₂, siendo el riesgo de ACV, tromboflebitis, IAM, angina inestable y muerte superior en los que tienen valores de VO₂máx inferiores a dicha cifra, siendo esta variable un factor pronóstico significativo de complicaciones².

Diagnóstico diferencial ante una disnea de esfuerzo en el obeso

La obesidad está frecuentemente asociada a otras patologías cardiovasculares (HTA, enfermedad coronaria, arritmias), respiratorias (EPOC) y metabólicas (diabetes), además de estar ligada al hábito sedentario con disminución del componente muscular en la composición corporal. La disnea de esfuerzo es un síntoma frecuente en los obesos, debido a que el aumento del peso corporal incrementa el gasto energético para una actividad determinada, elevando la VE/VCO₂. Sin embargo, este síntoma puede deberse además a la sobrecarga ventilatoria que acompaña a patologías del sistema cardiovascular o respiratorio.

La PE es útil para hacer este diagnóstico diferencial (indicación de clase I), si bien debe acompañarse siempre de los datos de la historia clínica, análisis sanguíneo, espirometría, ECG y estudio radiológico torácico. En la Tabla 27 se muestran las diferencias entre la disnea de origen cardiaco (insuficiencia cardiaca) y respiratorio (EPOC).

Tabla 27. Diferenciación entre disnea de origen cardiaco y respiratoria según las variables ergoespirométricas.

Variable	Cardiaca (insuficiencia cardiaca)	Respiratoria (EPOC)
VO ₂ máx	Disminuido	Disminuido
Umbral ventilatorio	Disminuido	Normal o disminuido
Reserva respiratoria	>20%	<15%
SaO ₂	Normal	Disminuida
FEV1 postesfuerzo	Igual que en reposo	Muy disminuida con relación al reposo

Evaluación de la capacidad funcional y prescripción de ejercicio

Las indicaciones de la PE para la prescripción de ejercicio físico en los pacientes obesos son de clase IIa¹, y considerando la obesidad como factor de riesgo cardiovascular puede indicarse una PE con criterios similares a los que se aplican en cardiología:

- *Clase I*: diferenciación entre enfermedad cardiaca y pulmonar como causa de la disnea, cuando tenga relevancia clínica para el paciente.
- *Clase IIa*: evaluación de la capacidad de esfuerzo cuando está indicada por razones médicas en sujetos en quienes la evaluación subjetiva no sea 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 cardiaca.
- *Clase III*: utilización habitual para evaluar la capacidad de esfuerzo.

La capacidad funcional aeróbica es una importante variable pronóstica en la obesidad. Al comparar el valor pronóstico sobre la mortalidad mediante distintas variables en pacientes obesos, la capacidad funcional ha demostrado tener un mayor valor pronóstico que el IMC²⁸³.

Como anteriormente también se expuso, la capacidad funcional preoperatoria en cirugía bariátrica es un importante factor de predicción de complicaciones posquirúrgicas.

Además de la evaluación de variables para la prescripción de ejercicio, la PE se utiliza para hacer el control y seguimiento de los programas de ejercicio, siendo en muchos casos más precoz el cambio en las variables funcionales, como el VO₂máx, que en las variables estructurales, como el peso graso^{6,283}.

Protocolos de esfuerzo

Las PE en los pacientes obesos deben utilizar protocolos que permitan alcanzar la máxima capacidad funcional reduciendo factores como el impacto, para evitar la fatiga precoz por sobrecarga y el dolor en los miembros inferiores. Deben extremarse las medidas de seguridad para evitar caídas, dada la posible inestabilidad durante el ejercicio en estos pacientes.

El cicloergómetro es una herramienta segura y está indicado siempre que los pacientes puedan realizar correctamente el pedaleo, aunque la prueba puede quedar limitada por una finalización precoz debido a fatiga de los miembros inferiores.

Los protocolos en cinta rodante tipo Bruce también están indicados por mantener velocidades que permiten caminar incrementando la inclinación de la cinta, para evitar el impacto de la carrera, aunque pueden desencadenar fatiga por sobrecarga de la musculatura de la pierna debido a la inclinación. El uso de la cinta rodante aumenta el riesgo de caídas en personas poco adaptadas, por lo que a menudo es necesario utilizar barandillas y sistemas de apoyo para evitar caídas, aunque la cuantificación del esfuerzo sea más inexacta cuando se requiere apoyo manual.

La determinación precisa de la máxima capacidad funcional y de los umbrales ventilatorios requiere la utilización de ergoespirometría con medición directa del consumo de gases. En caso de no disponer de ella, los protocolos como el de Bruce en cinta rodante permiten estimar correctamente el VO₂.

La prueba de esfuerzo en diabéticos

El ejercicio físico puede considerarse, junto con la medicación y la dieta, como uno de los medios de que dispone la persona diabética para intentar normalizar las alteraciones clínicas y metabólicas de su enfermedad²⁸⁴. De hecho, la *American Diabetes Association* y la *European Association of the Study of Diabetes* recomiendan a los diabéticos tipo 2 la práctica de 150 minutos semanales de ejercicio entre moderado y vigoroso para evitar complicaciones²⁸⁵. En las personas con diabetes tipo 1 el ejercicio tiene menor importancia en el control de la glucemia, pero siempre será beneficioso en la prevención del riesgo cardiovascular²⁸⁶.

La manifestación temprana de cardiopatía se ha reconocido como una complicación de la diabetes en adultos^{284,287}.

La PE es un buen método de detección de ECV en diabéticos asintomáticos^{3,288}. Estos individuos tienen menos capacidad aeróbica que los no diabéticos de su misma edad²⁸⁹. La respuesta cronotrópica está disminuida en la PE incluso cuando no existe neuropatía autónoma²⁹⁰. La reducción de la recuperación de la FC asociada con reacciones cardiovasculares adversas puede ser causa de muerte²⁹¹. Numerosos estudios informan de una relación inversa entre la capacidad de ejercicio y el índice de mortalidad en los diabéticos, de tal forma que por cada MET que baja la capacidad aeróbica aumenta un 18% el riesgo de muerte en los siguientes 7,8 años²⁹².

Las PE sistemáticas no están indicadas en los diabéticos sin síntomas que deseen iniciar un ejercicio físico ligero o moderado²⁹³, pero sí se recomiendan para aquellos diabéticos asintomáticos que inicien un ejercicio vigoroso²⁶³, en hombres mayores de 45 años y en mujeres mayores de 55 años²⁹⁴.

La prueba de esfuerzo en personas bajo tratamiento

Aunque en el ámbito de la MD no cabe esperar tener que trabajar con una alta tasa de población bajo tratamientos médicos cardiovas-

culares de importancia, dado que cada vez hay una mayor población general realizando diversas formas de práctica deportiva lúdica, y en ocasiones con un alto componente competitivo, es necesario considerar la posibilidad de tener que realizar PE en pacientes que estén bajo tratamiento cardiovascular¹.

A continuación se describen las situaciones de tratamiento cardiovascular más habituales.

Beta-bloqueantes

Los beta-bloqueantes no impiden la interpretación morfológica de una PE, pero afectan a la respuesta cronotrópica, limitando e incluso reduciendo la FC que se alcanza en la PE y, por lo tanto, el momento en que aparecen las alteraciones electrocardiográficas o clínicas²⁹⁵.

Digital

La toma de derivados digitálicos es cada día menos frecuente en los pacientes en ritmo sinusal, pero es frecuente en aquellos con FA en quienes se controla la FC de reposo; sin embargo, no afecta a la FC en ejercicio (como sí lo hacen los beta-bloqueantes)²⁹⁶.

En cuanto a la morfología, si la impregnación es suficiente se produce un descenso en el ST en muchas de las derivaciones (llamada cubeta digital), que puede alterar la interpretación de los posibles cambios isquémicos del ECG durante la PE²⁹⁷.

Amiodarona

La amiodarona tiene dos tipos de influencia en la PE: una significativa amortiguación de la FC, como ocurre con los beta-bloqueantes, aunque en menor grado, y por otra parte la impregnación de amiodarona altera la morfología de la repolarización del ECG de reposo, lo que puede limitar la interpretación del mismo en la PE (prolongación del QT, aplanamiento de T o T bimodal).

Nitritos, dihidropiridinas y otros vasodilatadores

En general, los antianginosos pueden hacer que los signos electrocardiográficos y la clínica se retrasen en relación con la carga impuesta, lo que puede alterar la interpretación de la PE. También pueden moderar la PA. Los nitritos y las dihidropiridinas no afectan al desarrollo de la FC con el ejercicio, pero el diltiazem puede inducir un frenado de la FC, de manera similar a los beta-bloqueantes.

Diuréticos

Los diuréticos *per se* no modifican el comportamiento del ECG en una PE. Sin embargo, un tratamiento determinado (por su intensidad o duración) con diuréticos puede alterar el equilibrio electrolítico (magnesio, calcio, potasio), lo que puede producir una alteración de la morfología del ECG y la aparición de arritmias o bloqueos (especialmente fasciculares) con el ejercicio. Queda fuera del ámbito de este apartado detallar tales alteraciones, en especial porque su incidencia es muy escasa.

Marcapasos

De forma cada día más frecuente es posible que un paciente con un marcapasos implantado haga una PE. Desde el punto de vista electrocardiográfico, hay que hacer notar algunos detalles:

- De una parte, las limitaciones a la FC que impone la presencia de un estímulo de marcapasos. Si el marcapasos es de frecuencia variable, tipo XXXR, y el paciente es dependiente del marcapasos, la FC estará limitada tanto por arriba como por abajo, según los límites programados en el marcapasos. Si el paciente no es dependiente del marcapasos, la FC estará limitada solo por abajo, pero podrá subir hasta la FC que el sistema de conducción nativo del paciente le permita.
- Por otra parte, durante el ejercicio, la morfología de los latidos estimulados por el marcapasos no será interpretable, mientras que si aparece latido propio en la taquicardia o ritmo por esfuerzo, la morfología reflejará los cambios expresados en el capítulo 6 (*El electrocardiograma de esfuerzo*) con todas sus características y limitaciones.

En todo caso, ante una PE en un paciente con marcapasos hay que prever otros parámetros para su interpretación: dolor torácico, grado de fatiga física (escalas de fatiga), control de cociente respiratorio, control de lactato, etc.

Prótesis intracoronarias de *stent* o cirugía de revascularización

Una PE en un paciente que haya sido sometido a revascularización coronaria, o a una angioplastia con (eventualmente) implantación de prótesis intracoronaria de *stent*, puede tener alguna alteración basal del ECG que debe tenerse en cuenta al interpretar el ECG. De hecho, también las alteraciones del ECG durante la PE son de baja fiabilidad, y con frecuencia puede darse el caso de una prueba eléctricamente positiva con una revascularización correcta o un *stent* permeable. Por lo tanto, para valorar la PE es necesario recurrir a complementos (como ecocardiograma de esfuerzo o pruebas isotópicas) o bien a parámetros no electrocardiográficos (dolor torácico, grado de fatiga física mediante escalas de fatiga, control del cociente respiratorio, control del lactato, etc.)²⁹⁸.

La prueba de esfuerzo como apoyo al entrenamiento

Consideraciones previas

Si bien el objetivo principal de la PE en el deportista es descartar patología que contraindique por completo o parcialmente la práctica de la actividad física a distintos niveles (competitivo, recreacional...), la estimación del estado de forma, la prescripción de intensidades de trabajo y la objetivación de su evolución a lo largo del tiempo constituyen otros objetivos que resultan especialmente útiles para el deportista.

Aunque deportes individuales como el atletismo o el ciclismo pueden ser los que más se beneficien de los datos que aporta, también los colectivos como el fútbol o el baloncesto pueden aprovecharlos para

objetivar la carga física real de sus modelos específicos de entrenamiento a partir de los datos obtenidos en las PE.

En función del tipo de ergómetro y de la prueba realizada se obtienen diferentes indicadores de utilidad para el entrenamiento: FC, tasas de producción de lactato, velocidad máxima alcanzada (también denominada velocidad máxima aeróbica, VMA, que se expresa en km/h o T/km) y PMA (que se expresa en W o W/kg).

Aunque las PE realizadas con analizadores de gases permiten una mayor precisión de los datos, su complejidad y elevado costo, así como la incomodidad del propio analizador, hacen que las denominadas PE indirectas sean las más utilizadas, sirviéndose en este caso de diversas fórmulas para el cálculo del VO_2 máx. A continuación se mencionan algunas de las más utilizadas en los ergómetros habituales (tapiz rodante y cicloergómetro), aunque el dato de la carga máxima alcanzada (VMA o PMA) también se utiliza como elemento de referencia.

Tapiz rodante

VO_2 máx = $2,209 + (3,1635 \times V)^{299}$, siendo V la velocidad en km/h.

En la valoración de un mismo deportista en el laboratorio y en la pista de entrenamiento, con el mismo analizador de gases, se obtiene el mismo VO_2 máx en ambas determinaciones³⁰⁰, aunque existen algunos problemas en cuanto a la relación de estos valores máximos y su aplicación para pautar intensidades de entrenamiento.

En las pruebas realizadas en tapiz, teniendo en cuenta el concepto de VMA definido como "la velocidad mínima a la que se alcanza el VO_2 máx"³⁰¹, puede darse el caso de que la meseta de VO_2 máx se produzca antes de la última carga, por lo que, de acuerdo con la definición mencionada, la VMA no coincidiría con la velocidad final alcanzada³⁰². No obstante, dada la frecuencia de test indirectos en los que no puede apreciarse esta meseta, y ante la posibilidad de comparación con los test de campo a efectos de planificación de entrenamiento, se identifican ambos conceptos entendiendo como VMA la velocidad final alcanzada. Este criterio también ha de aplicarse a las pruebas en cicloergómetro en las que se identifica la potencia final alcanzada con la potencia máxima aeróbica.

El segundo problema deriva de la equiparación de las velocidades entre el laboratorio y el campo. Para compensar el efecto de la resistencia que ofrece el aire sobre el terreno, se ha planteado elevar la pendiente del tapiz desde el 1% al 3%, sin resultados concluyentes. Otra opción es corregir la velocidad del tapiz en función de la superficie corporal en el plano frontal⁶¹, teniendo en cuenta el incremento del "costo" de VO_2 a través de la clásica ecuación propuesta por Pugh³⁰³:

$$\Delta VO_2 = 0,00354 \times Ap \times V^3$$

donde ΔVO_2 es el VO_2 suplementario en l/min para luchar contra la resistencia del aire, Ap es la superficie del deportista en m² proyectada sobre el plano frontal = 26,2% de la superficie corporal, y V es la velocidad del viento en m/s.

Con este incremento, la fórmula final equivalente es:

$$VO_2 = 2,209 + (3,1633 \times V) + (0,00354 \times Ap \times V^3)$$

Teniéndola en cuenta, pueden corregirse las velocidades del tapiz para así aproximarlas a las obtenidas sobre el terreno.

Cicloergómetro

Deportistas³⁰⁴:

$$VO_2 \text{ máx} = [12 \times \text{potencia (W)}] + 350$$

Población general y periodo de crecimiento³⁰⁵:

Hombres: VO_2 máx = $[10,51 + \text{potencia (W)}] + [6,35 \times \text{peso (kg)}] - [10,49 \times \text{edad (años)}] + 519,3$

Mujeres: VO_2 máx = $[9,39 + \text{potencia (W)}] + [7,70 \times \text{peso (kg)}] - [5,88 \times \text{edad (años)}] + 136,7$

En el cicloergómetro no se pueden compensar los efectos del viento y la pendiente, por lo que el dato de la velocidad alcanzada no puede ser trasladado al campo. Por eso, los indicadores para el entrenamiento son fundamentalmente la FC y la potencia en W. En la actualidad cada vez es más frecuente que el deportista realice la prueba con su propia bicicleta insertándola en un rodillo (Figura 20). De esta forma, además de usar sus medidas exactas, incluso puede calcular directamente los W con los sensores de potencia integrados en la máquina, con lo que su traslación al entrenamiento es aún más específica.

Tres son las utilidades básicas de la PE para el entrenamiento: en primer lugar, la estimación del estado de forma; en segundo lugar, la propuesta de intensidades de entrenamiento y la predicción del rendimiento en competición; y por último, el seguimiento de la evolución a lo largo del proceso de entrenamiento.

La prueba de esfuerzo en la evaluación del estado de forma

El VO_2 obtenido, de forma directa o indirecta, resulta el indicador más referenciado para evaluar el estado de forma, tanto en sedentarios como en deportistas, aunque también la carga máxima alcanzada (VMA o PMA) se emplea con el mismo fin.

En relación a la población general, son diversas las clasificaciones del estado de forma. Es de utilidad la publicada por el ACSM, que se presenta en percentiles del VO_2 máx (Tabla 28).

En relación a los deportistas de élite, la Tabla 29 muestra los valores de referencia según la modalidad deportiva.

Figura 20. Detalle de una prueba de esfuerzo en la propia bicicleta.



Tabla 28. Percentiles de estado de forma basada en el VO₂máx, según la edad¹³⁹.

VO ₂ máximo (mujeres)							Nivel
Percentil	20-29	30-39	40-49	50-59	60 o más		
90	44,2	41,0	39,5	35,2	35,2	Muy bueno	
80	41,0	38,6	36,3	32,3	31,2	Bueno	
70	38,1	36,7	33,5	30,9	29,4		
60	36,7	34,6	32,3	29,4	27,2		
50	35,2	33,5	30,9	28,2	25,8	Promedio	
40	33,8	32,3	29,5	26,9	24,5	Bajo	
30	32,3	30,5	28,3	25,5	23,8		
20	30,6	28,7	26,5	24,3	22,8		
10	28,4	26,5	25,1	22,3	20,8	Muy bajo	

VO ₂ máximo (hombres)							Nivel
Percentil	20-29	30-39	40-49	50-59	60 o más		
90	51,4	50,4	48,2	45,3	42,5	Muy bueno	
80	48,2	46,8	44,1	41,0	38,1	Bueno	
70	46,8	44,6	41,8	38,5	35,3		
60	44,2	42,4	39,9	36,7	33,6		
50	42,5	41,0	38,1	35,2	31,8	Promedio	
40	41,0	38,9	36,7	33,8	30,2	Bajo	
30	39,5	37,4	35,1	32,3	28,7		
20	37,1	35,4	33,0	30,2	26,5		
10	34,5	32,5	30,9	28,0	23,1	Muy bajo	

La prueba de esfuerzo en la planificación del entrenamiento, la predicción del rendimiento y el control de la carga de entrenamiento

Planificación del entrenamiento

Dos son los parámetros fundamentales que aporta la PE: la FCmáx y la carga máxima (VMA o PMA)³⁰⁶. Además, diversos estudios han hallado una correlación entre el porcentaje de VO₂ y la FCmáx, lo que permite expresar las intensidades de trabajo según ambos parámetros.

Al establecer intensidades de entrenamiento se parte de estos valores, así como de la FCR, entendida esta como la diferencia entre la FCmáx y la FC basal.

Se ha establecido la relación entre diversos porcentajes de VO₂ y la FC³⁰⁷, que puede verse en la Tabla 30.

La concentración de lactato (mmol/l) y el VO₂ son otros parámetros también obtenidos según el protocolo de PE utilizado que, principalmente el primero, ayudan a caracterizar los diversos tipos de entrenamiento.

A partir de los valores máximos obtenidos y de la estimación del UAn pueden proponerse las intensidades de trabajo para las distintas áreas funcionales. En la Tabla 31 se presenta un compendio promediado de las áreas funcionales de entrenamiento a partir de los datos de VMA, UAn y FCmáx³⁰⁸⁻³¹¹.

Predicción del rendimiento

Conociendo la VMA puede establecerse una predicción de marca en las disciplinas atléticas, como se aprecia en la Tabla 32.

Control de la carga de entrenamiento

La FCmáx obtenida en la PE sirve de punto de apoyo para modelos de cuantificación de la carga de entrenamiento, entre los que el más utilizado ha sido el clásico de Bannister *et al.*³¹³, que se basa en las denominadas unidades de impulso de entrenamiento (TRIMP, *training impulse*) utilizando los parámetros de FC, tiempo de ejercicio y FCmáx:

$$\text{TRIMP} = (\%FCR \times T \times K)$$

donde FCR es la FC de reserva, T es el tiempo en minutos y K es una constante variable según el sexo (hombres: $0,64 \times e^{1,92 \times \%FCR}$); mujeres: $0,86 \times e^{1,67 \times \%FCR}$; siendo e = 2,718.

Posteriormente Foster *et al.*³¹⁴ lo modificaron y establecieron un modelo más sencillo tomando como base el modelo trifásico de Skinner y Mclellan¹⁴³, que delimita tres zonas de trabajo. La zona I estaría por debajo del umbral ventilatorio VT1 (asimilable a <65% de la FCmáx) y se multiplicaría por 1 cada minuto que se permanece en ella; la zona II estaría situada entre los umbrales VT1 y VT2 (65-85% FCmáx) y se multiplicaría por 2 cada minuto en esta zona; y la zona III se situaría por encima del umbral VT2 (>85% FCmáx) y se multiplicaría por 3 cada minuto en esta zona.

Tabla 29. Valores de VO₂ máx en deportistas de élite de diversas modalidades³⁰⁶.

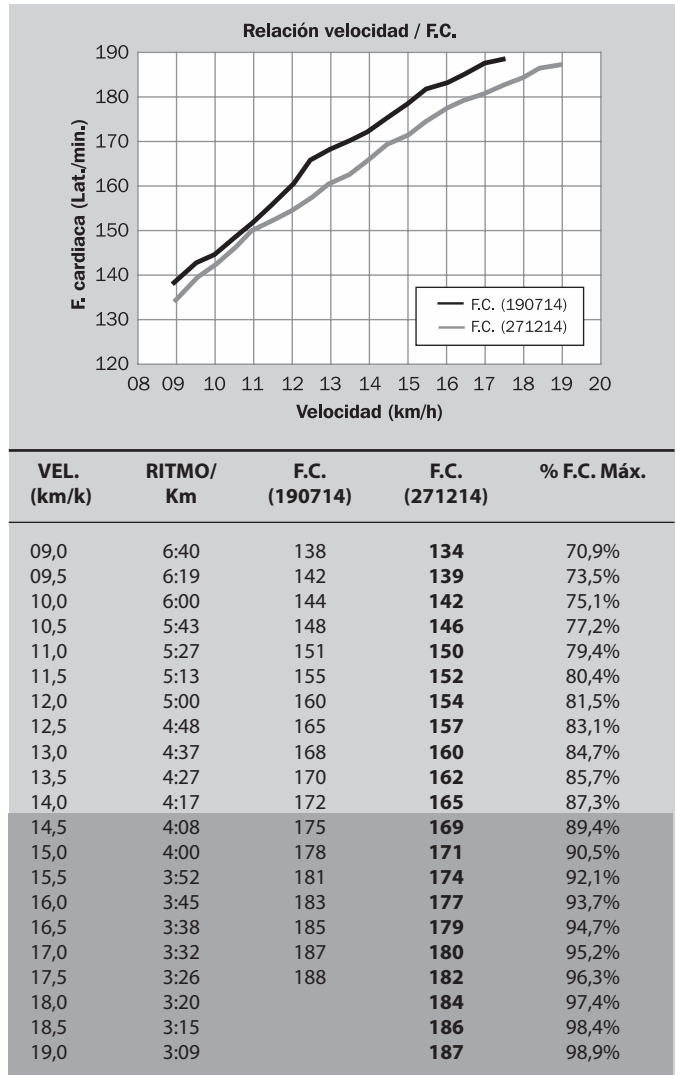
Tipo de deporte	Hombres (ml/kg/min)	Mujeres (ml/kg/min)
Deportes de resistencia		
Atletismo (fondo)	75-80	65-70
Esquí nórdico	75-78	65-70
Duatlón	75-78	
Ciclismo en ruta	70-75	60-65
Atletismo (medio-fondo)	70-75	65-68
Patínaje sobre hielo	65-72	55-60
Carreras de orientación	65-72	60-65
Natación	60-70	55-60
Remo	65-69	60-64
Ciclismo en pista	65-70	55-60
Piragüismo	60-68	50-55
Marcha atlética	60-65	55-60
Juegos		
Fútbol	50-57	
Balónmano	55-60	48-52
Hockey hielo	55-60	
Voleibol	55-60	48-52
Baloncesto	50-55	40-45
Tenis	48-52	40-45
Tenis de mesa	40-45	38-42
Deportes de combate		
Boxeo	60-65	
Lucha	60-65	
Judo	55-60	50-55
Esgrima	45-50	40-45
Deportes de potencia		
Ciclismo velocidad (200 pista)	55-60	45-50
Atletismo velocidad (100-200)	48-52	43-47
Salto de longitud	50-55	45-50
Pruebas combinadas (hepta-decatlon)	60-65	50-55
Halterofilia	40-50	
Lanzamiento de peso y disco	40-45	35-40
Jabalina	45-50	42-47
Salto con pértiga	45-50	
Esquí saltos	40-45	
Deportes técnico-acrobáticos		
Esquí alpino	60-65	48-53
Patínaje artístico	50-55	45-50
Gimnasia	45-50	40-45
Gimnasia rítmica		40-45
Vela	50-55	45-50
Tiro	40-45	35-40

Tabla 30. Intensidades de ejercicio basadas en la FC y su relación con el porcentaje del VO₂ máx.

% VO ₂ máx	% FC basal	% FC máx
90	90	98
80	80	89
70	70	82
60	60	76
50	50	69
40	40	63

Adaptada de Swain et al.³⁰⁷.

Figura 21. Comparación de dos pruebas de esfuerzo tras 5 meses de entrenamiento.



La prueba de esfuerzo en el control de la evolución del proceso de entrenamiento

La PE es un método fiable para objetivar la evolución del estado de forma, lo que permite evaluar los efectos del entrenamiento planificado.

En la Figura 21 se aprecia la mejora de un deportista tras 5 meses de entrenamiento evaluada con un test indirecto en tapiz rodante antes y después del periodo de entrenamiento. Se aprecia que, tras el tiempo de trabajo, el deportista ha sido capaz de completar tres cargas más de la PE, y que la FC es más baja en cada carga, en especial a partir del 80% de la FC máx.

Cuando la PE se realiza con control del lactato aporta mayor precisión en la evaluación de los efectos del entrenamiento, tal como se observa en la Figura 22. En las dos primeras gráficas se ve un desplazamiento a la derecha de la curva del lactato y de la intensidad del entrenamiento, lo que indica una mejora del estado de forma. El efecto

Tabla 31. Áreas funcionales de entrenamiento a partir de los datos de VMA, UAn y FC máx.

Tipo de trabajo	% VMA	% UAn*	% FCmáx	% FCR	Lactato, mmol/l**	Tipo de entrenamiento
Condición aeróbica I (capacidad)	60-80	70,5-94,1	75-88	60-80	1-3	
A	60-70	70,5-82,3	75-82	60-70	1,0-1,6	V0 (rodaje regenerador)
B	70-75	82,3-88,2	82-85	70-75	1,6-2,3	V1 ₁ (rodaje o carrera lenta)
C	75-80	88,2-94,1	85-88	75-80	2,3-3,0	V1 ₂ (rodaje o carrera media)
Condición aeróbica II (potencia)	80-99	94,1-116,5	88-100	80-99	3-6	
A	80-85	94,1-100,0	88-91	80-85	3,0-4,0	V1 ₃ (rodaje o carrera rápida)
B	86-94	101,0-110,5	92-97	86-94	4,0-5,0	Intervalos extensivos largos
C	95-99	110,5-116,5	98-100	95-99	5,0-6,0	Intervalos extensivos cortos
VMA	100-115	117,5-135,3			8-12	
A	100-103	117,5-121,2			8,0-9,0	Intervalos intensivos largos (1.000-800)
B	104-108	122,2-127,0			9,0-10,5	Intervalos intensivos medios (600-400)
C	108-115	127,0-135,3			10,5-12	Intervalos intensivos cortos (200-100)
Condición anaeróbica I (capacidad)	105-125	123,5-147,0			12-16	
A	105-112	123,5-131,8			12-14	Repeticiones extensivas largas (1.000-500)
B	113-125	133,0-147,0			14-16	Repeticiones extensivas cortas (500-100)
Condición anaeróbica II (potencia)	126-138	148,2-162,3			>16	Repeticiones intensivas (300-100)

*Supuesto UAn en el 85% de la VMA.

**Supuesto UAn en el lactato = 4 mmol/l.

Figura 22. Distintas evoluciones de la curva de lactato tras un proceso de entrenamiento¹⁴⁹.

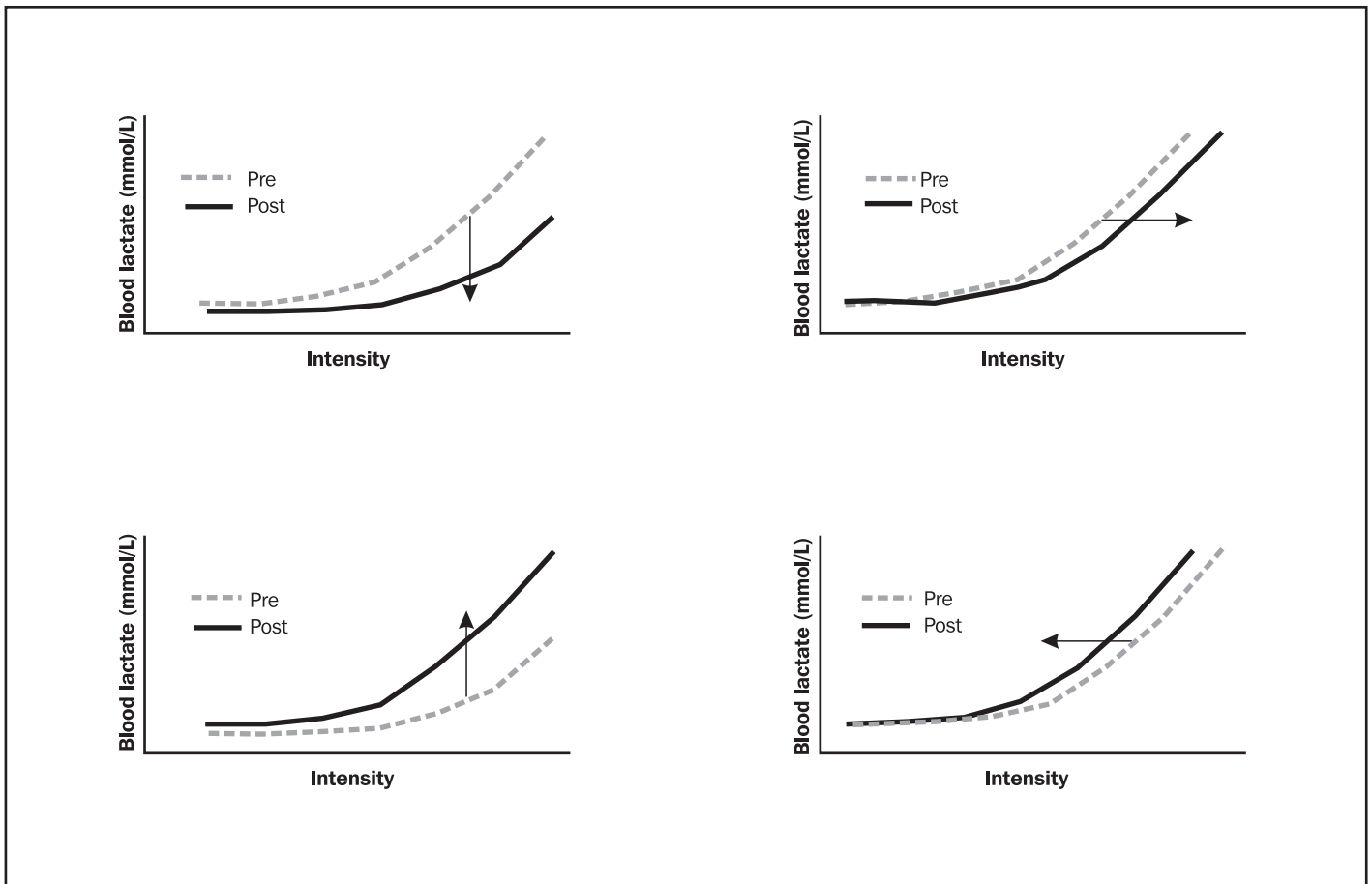


Tabla 32. Intensidades de VMA que pueden ser mantenidas en diversas distancias.

Distancia	Intensidad
100 metros	150,0-180,0%
200 metros	150,0-180,0%
400 metros	125,0-135,0%
800 metros	116,0-122,0%
1.500 metros	106,0-112,0%
1.609 metros (milla)	105,0-111,0%
3.000 metros	97,0-103,0%
3.000 m. obstáculos	90,0- 94,0%
5.000 metros	94,0-98,0%
10.000 metros	88,0-93,0%
20.000 metros	85,0-90,0%
21.097 metros	84,5-89,5%
42.195 metros	75,0-82,0%
100.000 metros	57,0-60,0%

Modificada de Peronnet y Thibault³⁰⁹ y de Leger Mercier y Gauvin³¹².

es más acusado en la primera de ellas, en las cargas altas, sin apenas modificación en las cargas más aeróbicas, lo que demuestra un mayor entrenamiento en intensidades superiores a su umbral. En las dos últimas gráficas se constata un empeoramiento del estado de forma evidenciado por el desplazamiento de la curva a la izquierda.

La prueba de esfuerzo en otras situaciones

Prescripción de ejercicio

La prescripción de ejercicio se define como el proceso mediante el cual se recomienda a una persona un régimen de actividad física de manera sistemática e individualizada. Los objetivos fundamentales de la prescripción de ejercicio físico incluyen la mejora de la condición física, la mejora de la salud (promoción de la salud, prevención y tratamiento de enfermedades) y la mejora de la seguridad en la práctica del ejercicio físico³¹⁵.

La condición física se define como la capacidad de desarrollar las actividades habituales de la vida diaria sin fatiga y de forma que se pueda disfrutar de las actividades de ocio activo y afrontar las emergencias imprevistas sin una fatiga excesiva. Una adecuada condición física ayuda a evitar las enfermedades provocadas por el sedentarismo³¹⁶.

Los componentes más importantes de la condición física son la fuerza y la fuerza-resistencia, la flexibilidad, una adecuada composición corporal, el equilibrio, la coordinación y la resistencia cardiorrespiratoria. Esta última probablemente es el componente más importante, junto con la fuerza, desde el punto de vista de la salud, y a la que se hará referencia en esta sección, ya que puede valorarse con las PE³¹⁷.

Los resultados obtenidos en las PE son la base de la prescripción de ejercicio físico de forma individualizada: para la mejora del rendimiento deportivo, para la indicación de ejercicio físico en la mejora de la condi-

Tabla 33. Clasificación del nivel de condición cardiorrespiratoria según los MET*.

	MET	VO ₂ máx (ml/kg/min)
Muy baja	1-3,9	3,5-13,9
Baja	4-6,9	14-24,9
Media	7-10,9	25-38,9
Buena	11-13,9	39-48,9
Alta	14-16	49-56
Muy alta	>16	>56

*Datos para adultos de 40 años. En mujeres, un 10-20% menores.

ción física en la población general, y para la prevención y el tratamiento de una gran cantidad de enfermedades.

Prescripción de ejercicio en el deporte de competición

Aunque en el deporte de competición no se utiliza el concepto de "prescripción de ejercicio", la mejora del perfil aeróbico que se busca en muchos deportes se basará en el diagnóstico u objetivación de la potencia aeróbica (VO₂máx) y de la transición aeróbico-anaeróbica: umbrales 1 y 2, ya sean ventilatorios (VT1/VT2) o de lactato (LT1/LT2), en el momento del estudio y en las evaluaciones de control a lo largo de la temporada o temporadas deportivas.

Los datos a nivel máximo y en la transición aeróbico-anaeróbica obtenidos en las pruebas médicas (metabólicos, carga de trabajo físico, cardiovasculares, respiratorios) servirán para planificar las cargas y los entrenamientos por los preparadores físicos de cada especialidad deportiva³¹⁷.

Prescripción de ejercicio en el deporte saludable

La práctica habitual de actividad y ejercicio físico reduce la morbimortalidad total. La evidencia científica actual muestra claros beneficios para la salud, en el caso de las ECV (cardiopatía isquémica, enfermedad cerebrovascular, HTA), enfermedades metabólicas (diabetes tipo 2, síndrome metabólico, sobrepeso-obesidad), determinados tipos de cáncer (cáncer de colon y cáncer de mama), aparato locomotor (mejora de la fuerza, osteoporosis), dependencia funcional en geriatría y mejora de la función cognitiva, así como en la ansiedad y la depresión³¹⁸⁻³²².

El ejercicio físico saludable debe tener unas características determinadas, tanto en el tipo de actividad como en la frecuencia, la duración, la intensidad y la progresión, y tiene que orientarse a la mejora de alguna de las cualidades de la condición física que se relacionan con la salud, en especial con la resistencia cardiorrespiratoria.

La prescripción de ejercicio se basará en su individualización, es decir, en adaptar lo máximo posible la prescripción a las características propias de cada paciente³²²⁻³²⁵.

En la prescripción de ejercicio físico, la frecuencia y la duración siguen unos estándares aceptados mayoritariamente, pero debe profundizarse en la individualización fisiológica del programa de reentrenamiento (intensidad).

Los resultados obtenidos en una ergometría (cardiovasculares: FC_{máx}, PA; de rendimiento mecánico: carga alcanzada; metabólicos: VO₂_{máx}, umbrales ventilatorios, cifras de lactato; umbral de disnea; escala analógica visual de percepción del esfuerzo) pueden ser la base y de gran utilidad en la correcta prescripción de ejercicio físico de forma individualizada³²⁶.

Además de la visión fisiológica, también hay que individualizar la prescripción teniendo en cuenta los antecedentes médicos personales y familiares, las patologías asociadas que presenten los pacientes, los tratamientos médicos que sigan, el nivel sociocultural y económico, y los objetivos y preferencias personales.

Prescripción de ejercicio: potencia aeróbica y capacidad.

Resistencia aeróbica

Se entiende por potencia aeróbica máxima (VO₂_{máx}) la máxima capacidad individual de resintetizar ATP por la vía metabólica oxidativa.

La *endurance*-capacidad-resistencia aeróbica (también denominada resistencia cardiorrespiratoria) es la capacidad física y psíquica de soportar el cansancio ante esfuerzos relativamente prolongados, y también la capacidad de recuperación rápida después de finalizarlos. Esta cualidad fisiológica se relaciona con la mejora y la optimización de la capacidad de producir energía (ATP) por la vía oxidativa, sin sobreestimar la glucólisis extramitocondrial¹³⁰.

En el deporte con fines de salud es importante destacar el reentrenamiento de la resistencia aeróbica-cardiorrespiratoria (*endurance*), que es una cualidad que refleja la capacidad funcional de los aparatos circulatorio y respiratorio para adaptarse a las necesidades del metabolismo muscular durante el ejercicio y la recuperación³¹⁶.

La resistencia aeróbica-cardiorrespiratoria (*endurance*) es una de las cualidades fisiológicas que se relacionan directamente con la mejora de la salud y la calidad de vida³²⁶. A continuación se describen las características del ejercicio que permite desarrollar esta cualidad en lo que se refiere al tipo de actividad, frecuencia, duración, intensidad y otros aspectos para su realización.

Tipos de actividad

El ejercicio para el desarrollo de la resistencia aeróbica-cardiorrespiratoria se realiza mediante actividades que movilizan grandes grupos musculares, de naturaleza aeróbica y que pueden mantenerse durante periodos de tiempo prolongados. Pueden clasificarse según: 1) el gasto energético que requieren, 2) la posibilidad de mantener un gasto energético más o menos constante durante su realización, y 3) el impacto que tienen sobre las articulaciones.

Para la práctica de deporte saludable se realizan inicialmente actividades que requieran un gasto energético bajo-moderado, que puedan mantenerse en el tiempo de forma constante y con un impacto articular medio-bajo (incluso bajo en determinados pacientes). Son ejemplos de estas actividades caminar, trotar, bicicleta estática o de paseo, elíptica, nadar y patinar, entre otros^{316,322}.

Frecuencia

Se recomiendan frecuencias de entrenamiento de entre 3 y 5 días por semana. Frecuencias de dos o menos sesiones semanales no parecen conseguir efectos significativos en las variables fisiológicas

relacionadas con la salud, mientras que frecuencias de más de 5 días por semana pueden aumentar la incidencia de lesiones sobre el aparato locomotor^{316,322}.

Duración

La duración de cada sesión estaría comprendida entre los 30 y los 60 minutos, que se pueden realizar de forma continuada o discontinua, en series de al menos 10 minutos. A esto habría que añadir la recomendación de acumular (durante el desarrollo de la vida cotidiana) entre 30 y 60 minutos de caminar diariamente en series de 10 minutos, con el objetivo de aumentar el gasto calórico^{316,322}.

Intensidad

Es la variable más importante y la más difícil de determinar. Se puede definir como el grado de esfuerzo que exige un ejercicio físico. Los principales indicadores de la intensidad del ejercicio físico son la carga de trabajo físico (W), la FC y el gasto energético o consumo de oxígeno (VO₂ o MET).

El MET es una forma de expresar el consumo energético de la actividad realizada y se define como la cantidad de oxígeno necesaria para el mantenimiento durante un minuto de las funciones metabólicas del organismo con el individuo en reposo y sentado. Un MET equivale a 3,5 ml/kg/min de VO₂ o 1 kcal/kg/h¹³⁰.

Se consideran de baja intensidad las actividades por debajo de los 3,5 MET; actividades de intensidad moderada, las que requieren un gasto energético de entre 4 y 8 MET; de intensidad media, las de 8 a 12 MET; y de intensidad elevada, las superiores a 12 MET³¹⁵.

Los MET también pueden utilizarse para clasificar el nivel de condición cardiorrespiratoria de los individuos³¹⁵ (Tabla 33).

Por la simplicidad de su control, habitualmente la prescripción de ejercicio físico se realiza mediante el control de la FC.

Utilización de las pruebas de esfuerzo para la prescripción de ejercicio

Al igual que lo que sucede en el ámbito diagnóstico y en el control del entrenamiento, pueden utilizarse PE directas e indirectas para prescribir ejercicio.

Pruebas directas

Estas pruebas permiten objetivar el VO₂_{máx}, los W máximos y la FC_{máx}, así como el VO₂ (% del VO₂_{máx}), la carga de trabajo y la FC en la transición aeróbico-anaeróbica (umbrales VT1/LT1 y VT2/LT2). Estos datos servirán para la prescripción de ejercicio físico.

En la prescripción de ejercicio de forma continuada para deporte saludable y para tratamiento de enfermedades crónicas, las intensidades recomendadas se sitúan por debajo de VT2, habitualmente en VT1, aunque también puede hacerse el entrenamiento de forma interválica, según las intensidades correspondientes a VT1, de 4 minutos de duración y picos de 1 minuto en las intensidades de VT2 o ligeramente por debajo de esta intensidad^{323,327}.

Pruebas indirectas

La prescripción de ejercicio por PE indirectas se basa fundamentalmente en la FCR por su relación lineal 1/1 con el gasto energético (VO₂_{máx}/VO₂ de reserva). Así, una intensidad de ejercicio físico del 60% de la FCR se corresponderá con un 60% del VO₂_{máx}³²⁷.

La FCR se define como la diferencia entre la FC_{máx} alcanzada en la ergometría menos la FC de reposo o basal. El VO₂ de reserva se define como la diferencia entre el VO₂_{máx} alcanzado en la ergometría y el VO₂ de reposo.

La FC de entrenamiento (fórmula de Karvonen) es igual a la FC de reposo más el porcentaje (intensidad de entrenamiento) que se indique o prescriba, FCR³²⁸.

El porcentaje de la FC de entrenamiento se sitúa, como norma general, entre el 40% y el 85% de la FCR, según los objetivos y la situación del paciente o de la enfermedad en cuestión.

Habitualmente, la intensidad de entrenamiento, en patologías crónicas, será del 40% al 60% de la FCR.

Fórmula de Karvonen:

$$FCR = FC_{máx} - FC \text{ de reposo}$$

$$FC \text{ de entrenamiento} = [(FC_{máx} - FC \text{ reposo}) \times \% \text{ trabajo}] + FC \text{ reposo}$$

El porcentaje de trabajo en los sujetos sanos se sitúa entre el 40% y el 85% de la FCR, y en caso de patologías crónicas se sitúa habitualmente entre el 40% y el 60% de la FCR.

Otro método de control de la intensidad del esfuerzo realizado, que es de utilidad en la prescripción de ejercicio, es la valoración subjetiva del esfuerzo mediante la escala de esfuerzo percibido (RPE) o escala de Borg⁷⁶. Los valores de la escala original iban de 6 a 20 y se incrementaban linealmente con la intensidad del ejercicio realizado, correlacionándose con las variables fisiológicas estudiadas: FC, VO₂, lactato, W, ventilación, etc. La nueva escala, de 0 a 10, también se adapta a las modificaciones que se producen durante la realización de la PE.

Intensidades moderadas de ejercicio (40-60% de la FCR) se corresponden con una valoración de 12-13 o 5-6 en las escalas de Borg, mientras que intensidades vigorosas (60-84% de la FCR) se corresponden con puntuaciones de 14-16 o 7-8.

Habitualmente, en pacientes con enfermedades crónicas el programa de ejercicio se comienza con intensidades moderadas, del 40-60% de la FCR, o incluso por menores según la patología, el grado de sedentarismo y las posibilidades del individuo. Posteriormente se irán aumentando la intensidad y el volumen del ejercicio físico según la adaptación al esfuerzo y los objetivos marcados para cada paciente, hasta alcanzar como norma un máximo del 75% de la FCR.

Progresión

Al inicio de los programas de ejercicio físico se emplearán intensidades, duraciones y frecuencias bajas, para irlos aumentando de forma progresiva y adaptándolos de manera individual a la situación de cada paciente.

Estos programas se dividen clásicamente en las fases de iniciación, de mejora y de mantenimiento. En esta última, lo más importante es el mantenimiento de la intensidad.

Como norma general se han de marcar objetivos realistas, con un inicio muy suave, evitando el cansancio-fatiga, así como los dolores y el malestar del sujeto. Hay que intentar que el paciente se sienta cómodo con la realización de la actividad prescrita.

Una vez alcanzados los objetivos previstos se revisarán y se plantearán otros nuevos, incorporando el ejercicio regular como un hábito cotidiano en la vida del paciente y recordando que, para mantener los

efectos positivos del ejercicio físico para la salud, este debe practicarse de forma regular a lo largo de toda la vida.

Adherencia

Uno de los mayores problemas asociados a la prescripción de ejercicio físico es la gran tasa de abandono. Por eso, es de vital importancia implementar técnicas y estrategias para conseguir la adherencia de los pacientes y de la población general a los programas de ejercicio físico.

En este sentido, la motivación de los sujetos es esencial. En diversos estudios³²⁹⁻³³¹ se observa una mayor adherencia a los programas de ejercicio físico cuando estos son sencillos y fáciles de realizar y de incorporar en la vida habitual de los pacientes.

Son útiles para mejorar la adherencia a los programas de ejercicio físico otras estrategias, como las consultas frecuentes en las que se supervisa la realización del programa de ejercicio, el cumplimiento de objetivos y los refuerzos positivos. Por último, parece que la realización periódica de test físicos (PE, test de los 6 minutos de marcha y estudios antropométricos) también mejora la adherencia a los programas de ejercicio^{332,333}.

Estructura de una sesión de entrenamiento

La sesión de entrenamiento, clásicamente, consta de tres partes:

- El calentamiento, de 5-10 minutos de duración.
- El esfuerzo o entrenamiento propiamente dicho, con el tipo, la intensidad y la duración indicados.
- La recuperación, en la que se disminuye de forma progresiva el ejercicio hasta la vuelta a la calma.

No hay que olvidar incluir en el entrenamiento ejercicios de fuerza, de flexibilidad y de equilibrio.

Riesgos del ejercicio físico

La práctica de ejercicio físico comporta un aumento del riesgo de lesiones del aparato locomotor, un aumento del riesgo cardiovascular y, en menor medida, la presentación de problemas médicos relacionados con el control de la temperatura interna³²².

Deben evitarse o minimizarse las lesiones del aparato locomotor, para que no sean excusa de sedentarismo para los pacientes. En cuanto al riesgo cardiovascular, las complicaciones más importantes son la muerte súbita y el infarto de miocardio.

Prescripción de ejercicio en enfermedades crónicas

Se resumen a continuación las recomendaciones de prescripción para algunas de las enfermedades o condiciones crónicas más prevalentes^{3,334-336}.

Obesidad

- *Ejercicio aeróbico*: 60% de la FCR/VO₂_{máx}, 60 minutos diarios continuados o en series, la mayor parte de los días de la semana.
- *Fuerza*: 2 días a la semana, grandes grupos musculares de tren superior e inferior, y abdominales. Dos o tres series de 8-15 repeticiones por sesión. Intensidad: 30-60% de una resistencia máxima (RM).
- *Objetivo*: aumento del gasto calórico, aumento de la lipólisis, disminución de la masa grasa total y visceral, y mantenimiento o mejora del peso magro.

Dislipidemia

- *Ejercicio aeróbico*: 60% de la FCR/VO₂_{máx}, 60 minutos diarios continuados o en series, la mayor parte de los días de la semana. La

mejora es dependiente de la dosis, fundamentalmente del volumen y no de la intensidad.

- **Fuerza:** no hay evidencia de efectos beneficiosos de este ejercicio sobre la dislipidemia.
- **Objetivo:** mejorar el perfil lipídico, que es independiente de la pérdida de peso, por una mejora enzimática del metabolismo lipídico.

Diabetes tipo 2

- **Ejercicio diario, aeróbico y de fuerza** (recomendaciones ya descritas para la obesidad), con intensidades individualizadas, comenzando por el 40-60 % de la FCR/VO₂máx y aumentando según la adaptación al entrenamiento con una duración de 60 minutos por sesión.
- **Objetivo:** mejorar el metabolismo de la glucosa, aumentar la sensibilidad a la insulina y mejorar el control de la glucemia posprandial, entre otros.

Hipertensión arterial

- **Ejercicio aeróbico:** intensidad basada en la respuesta de la PA al esfuerzo, la mayor parte de los días, 60 minutos por sesión.
- **Fuerza:** dinámico e isométrico.
- **Objetivo:** prevención del desarrollo de HTA y descenso de las cifras de PA por disminución de las resistencias vasculares periféricas y del tono simpático, y de las catecolaminas circulantes, entre otros mecanismos involucrados.

Valoración de la respuesta terapéutica

Según la *Task Force* sobre PE publicada en los Estados Unidos y el ACSM^{249,337}, 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, valorar la evolución de enfermedades que puedan limitar la capacidad de esfuerzo, y ayudar a diferenciar las limitaciones de la capacidad de esfuerzo de origen cardiaco o pulmonar.

La respuesta terapéutica al ejercicio prescrito puede evaluarse mediante una PE en la que se cuantifiquen los cambios en los parámetros metabólicos (VO₂máx, RQ, ECG, FC, PA)³.

Valoración de la respuesta terapéutica en la hipertensión arterial

La PE es útil para mejorar la prescripción de ejercicio en pacientes con HTA y para valorar la eficacia del tratamiento antihipertensivo³³⁸.

No existen protocolos sobre prescripción de ejercicio en la HTA basados en los resultados de la PE, como sucede con otros métodos como, por ejemplo, la 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 antihipertensivos³³⁸⁻³⁴¹.

Valoración de la respuesta terapéutica en la obesidad

La PE es útil en la valoración de la respuesta terapéutica en los pacientes obesos, pues puede objetivarse la mejora en la oxidación de sustratos (grasas e hidratos de carbono), en la capacidad funcional y en la respuesta cardiovascular^{342,343}.

Valoración de la respuesta terapéutica en la diabetes

De manera similar al paciente obeso, con la PE en los pacientes diabéticos puede valorarse la mejoría metabólica, cardiovascular y funcional³⁴⁴.

Hay que tener en cuenta que una mala recuperación de la FC postesfuerzo se ha asociado a episodios cardiovasculares adversos en la población diabética²⁹¹.

Valoración de la respuesta terapéutica en la enfermedad arterial periférica

La PE es el test más objetivo para la valoración clínica de la respuesta terapéutica en los pacientes con enfermedad arterial periférica, por la precisión en la cuantificación de la capacidad de ejercicio y en la determinación del tiempo caminando hasta la aparición de síntomas^{345,346}. Además, se puede asociar a la medición de los índices de PA brazo-tobillo, después del ejercicio³⁴⁶. La respuesta al test de esfuerzo es, en estos pacientes, un buen indicador del pronóstico³⁴⁷.

Valoración de la respuesta terapéutica en las dislipidemias

En los pacientes con dislipidemias, la PE valora la respuesta metabólica al ejercicio prescrito; si la respuesta terapéutica es correcta, se observará una mayor oxidación de los lípidos^{343,348-350}.

El informe de la prueba de esfuerzo

Muchos de los valores obtenidos en la PE son útiles en el contexto clínico y en el del deporte, pero es muy importante expresar en un informe la gran cantidad de datos obtenidos en la PE para que puedan ser utilizados de una forma práctica. Por ello, el contenido del informe final de la PE dependerá de la indicación para la que se realizó.

El informe debe incluir el motivo de realización del test y el tipo de test, los datos antropométricos del paciente, los principales datos clínicos y las respuestas fisiológicas al ejercicio realizado: duración, carga de trabajo, síntomas, motivo de finalización, VO₂máx, RQ, VE, VE/VCO₂, VE/VO₂, PA, concentración de lactato y parámetros electrocardiográficos (FC, modificaciones del ST-T, arritmias, etc.)³³⁷.

Debería finalizar con una serie de comentarios o recomendaciones concisas y específicas, que respondan a las razones por las que se realizó el test.

Cuando se trata de deportistas de competición, el informe debe indicar el valor del VO₂máx, o potencia aeróbica, y de la transición aeróbico-anaeróbica: umbrales 1 y 2, ya sean ventilatorios (VT1/VT2) o de lactato (LT1/LT2); también las cargas de trabajo y las FC en cada carga, así como su evolución, si se tienen datos anteriores³¹⁷. En determinados deportes debe incluirse en el informe la zona de máxima oxidación de grasas³⁵¹.

Cuando se trata de PE para la prescripción de ejercicio con fines de mejora de la salud, se informará de los parámetros cardiovasculares (FC submáxima y máxima, PA), del rendimiento mecánico (carga alcanzada), de los parámetros metabólicos (VO₂máx, umbrales ventilatorios o de lactato), del umbral de disnea y de la escala de percepción subjetiva del esfuerzo⁷⁶. Todos pueden ser de gran utilidad en la correcta prescripción de ejercicio físico de forma individualizada^{3,346}.

El informe de la PE para prescripción de ejercicio debe incluir los tipos de actividad recomendados y su frecuencia, duración e intensidad^{316,322}, indicando si se recomiendan en carga de trabajo o en percepción de esfuerzo (RPE), o en ambos, y también la FC o el gasto energético (VO₂ o MET) recomendados^{130,336}. Dependiendo de la patología, hay que

informar de las zonas metabólicas en las que se oxidan más grasas o más hidratos de carbono^{352,353}, y en determinadas afecciones, como la obesidad y las dislipidemias, se incluirá en el informe la zona de máxima oxidación de grasas³⁴³.

ABREVIATURAS

ACSM:	<i>American College of Sports Medicine</i>	m:	Metro
ACC:	<i>American College of Cardiology</i>	MAPA:	Monitorización ambulatoria de la presión arterial
ACV:	Accidente cerebral vascular	MD:	Medicina del deporte
AHA:	<i>American Heart Association</i>	MET:	Equivalente metabólico
AMPA:	Automedida de la presión arterial	mg:	Miligramos
ATP:	Trifosfato de adenosina	min:	Minutos
ADP:	Difosfato de adenosina	ml:	Mililitros
BAV:	Bloqueo auriculoventricular	mm:	Milímetros
BF:	Frecuencia respiratoria	mmHg:	Milímetros de mercurio
BRD:	Bloqueo de rama derecha	mmol:	Milimoles
BRI:	Bloqueo de rama izquierda	ms:	Milisegundos
cal:	Calorías	mV:	Milivoltios
CO₂:	Dióxido de carbono	O₂:	Oxígeno
CrP:	Fosfato de creatina	PA:	Presión arterial
DMOA:	Test del déficit máximo de oxígeno acumulado	PaO₂:	Presión parcial de oxígeno en sangre arterial
ECV:	Enfermedad cardiovascular	PaCO₂:	Presión parcial de dióxido de carbono en sangre arterial
ECG:	Electrocardiograma	PAD:	Presión arterial diastólica
EPOC:	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	PAS:	Presión arterial sistólica
ECOP:	Exceso de consumo de oxígeno postejercicio	PMA:	Potencia máxima alcanzada
ESH:	<i>European Society of Hypertension</i>	PE:	Prueba de esfuerzo
FA:	Fibrilación auricular	P_{ET}O₂:	Presión parcial de oxígeno al final de la espiración
FC:	Frecuencia cardiaca	P_{ET}CO₂:	Presión parcial de dióxido de carbono al final de la respiración
FC basal:	Frecuencia cardiaca basal	PWC:	<i>Physical work capacity</i>
FCmáx:	Frecuencia cardiaca máxima	RCP:	Reanimación cardiopulmonar
FCMP:	Frecuencia cardiaca máxima prevista	RER:	Cociente o razón de intercambio respiratorio (<i>respiratory exchange ratio</i>), VCO_2/VO_2
FCMT:	Frecuencia cardiaca máxima teórica	RM:	Resonancia magnética
FCR:	Frecuencia cardiaca de reserva	RM:	Resistencia máxima
F_ECO₂:	Fracción de dióxido de carbono en el aire espirado	RPE:	Escala de esfuerzo percibido
F_EO₂:	Fracción de oxígeno en el aire espirado	rpm:	Revoluciones por minuto
FEV1:	Volumen máximo espirado en el primer segundo de una respiración forzada	RQ:	Cociente respiratorio
FR:	Frecuencia respiratoria	s:	Segundos
FV:	Fibrilación ventricular	SaO₂:	Saturación arterial de oxígeno
h:	Hora	SPECT:	Tomografía computarizada por emisión de fotón único
HR:	Frecuencia cardiaca	TRIMP:	<i>Training impulse</i>
HTA:	Hipertensión arterial	UAn:	Umbral anaeróbico
IAM:	Infarto agudo de miocardio	Vd:	Espacio muerto
IL-6:	Interleucina 6	VE:	Ventilación
IMC:	Índice de masa corporal	VCO₂:	Producción de dióxido de carbono
J:	Julios	VMA:	Velocidad máxima aeróbica
kcal:	Kilocalorías	VO₂:	Consumo de oxígeno
kJ:	Kilojulios	VO₂máx:	Consumo máximo de oxígeno
km:	Kilómetros	Vt:	Volumen tidal o corriente
Kpm:	Kilopondímetros	W:	Vatios
l:	Litro	WPW:	Síndrome de Wolff-Parkinson-White
lpm:	Latidos por minuto		

Bibliografía

- 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. *Rev Esp Cardiol* 2000;53:1063-94.
- Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, Forman D, Franklin B, Guazzi M, Gulati M, Keteyian SJ, Lavie CJ, Macko R, Mancini D, Milani RV; 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;122:191-225.
- 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;128:873-934.
- Strath SJ, Kaminsky LA, Ainsworth BE, Ekelund U, Freedson PS, Gary RA, et al. Guide to the assessment of physical activity: Clinical and research applications: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2013;128:2259-79.
- Myers J, Arena R, Franklin B, Pina I, Kraus WE, McInnis K, et al. Recommendations for clinical exercise laboratories. A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2009;119:3144-61.
- 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;40:1531-40.
- Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, Chaitman B, Eckel R, Fleg J, et al. Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation*. 2001;104:1694-740.
- American College of Sports Medicine Position Stand and American Heart Association. Recommendations for cardiovascular screening, staffing, and emergency policies at health/fitness facilities. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30:1009-18.
- American College of Sports Medicine; American Heart Association. American College of Sports Medicine and American Heart Association joint position statement: automated external defibrillators in health/fitness facilities. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:561-4.
- Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep*. 1985;100:126-31.
- Lamb DR. Fisiología del esfuerzo. *Respuestas y adaptaciones*. Nueva York: Ed. Augusto E. Pila Teleña, 1978;18-9.
- Wilmore JH, Costill DL. Eds. *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Barcelona: Paidotribo. 2007;34-61.
- McArdle W, Katch F, Katch V. *Exercise Physiology: nutrition, energy and human performance*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- Rabadán M. Test de campo. En: Segovia JC, López-Silvarrey FJ, Legido JC, eds. *Manual de valoración funcional*. Madrid: Elsevier, 2008;293-305.
- López J, Fernández A. *Fisiología del Ejercicio*. Madrid: Panamericana, 1995;7-8.
- Peinado B, Calvo PJ, Bruzos SC, Gómez Candel C, Iglesias Rosado C. *Alimentación y nutrición en la vida activa: ejercicio físico y deporte*. Madrid: UNED, 2014.
- Gibbons RJ. Abnormal heart-rate recovery after exercise. *Lancet*. 2002;359:1536-7.
- Halliwil JR, Sieck DC, Romero SA, Buck TM, Ely MR. Blood pressure regulation X: what happens when the muscle pump is lost? Post-exercise hypotension and syncope. *Eur J Appl Physiol*. 2014;114:561-78.
- Sarnoff SJ. Hemodynamic determinants of oxygen consumption of the heart with special reference to the tension-time index. En: Rosenbaum FF, Hoerber PB, eds. *Work and the heart*. New York: Harper & Bros, 1959.
- American College of Sports Medicine. *ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*. 7nd. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer - Lippincott Williams & Wilkins, 2014;57.
- Astrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB. *Manual de Fisiología del ejercicio*. Barcelona: Paidotribo, 2010.
- Santalla E. Factores determinantes del ejercicio físico. En: Naranjo Orellana J, Santalla Hernández A, Manonelles Marqueta P, eds. *Valoración del rendimiento del deportista en el laboratorio*. Barcelona: Esmon Publicidad, 2013;61-87.
- Lopez Chicharro J, Legido Arce J. *Umbral aerobio*. Madrid: Interamericana - McGraw Hill, 1991;1-23.
- Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal. BOE, número 298, 14 de diciembre 1999. Páginas 43088-43099.
- Sosa Rodríguez V. Las pruebas de esfuerzo y de estimulación. Instituto Nacional de Medicina y Seguridad del Trabajo. Estudio de la incapacidad laboral por enfermedades cardiocirculatorias. Instituto Nacional de Medicina y Seguridad del Trabajo. Madrid, 1998;37-53.
- Gil S. Prueba de Esfuerzo. *NEUMOSUR*. 1997;9:40-8.
- De Teresa C. Protocolos de ergometría para uso clínico en deportistas. En: Naranjo Orellana J, Santalla Hernández A, Manonelles Marqueta P, eds. *Valoración del rendimiento del deportista en el laboratorio*. Barcelona: Esmon Publicidad, 2013;427-59.
- Lear SA, Brozic A, Myers JN, Ignaszewski A. Exercise stress testing. An overview of current guidelines. *Sports Med* 1999;27:285-312.
- Myers J, Voodi L, Umann T, Froelicher VF. A survey of exercise testing: methods, utilization, interpretation, and safety in the VAHCS. *J Cardiopulm Rehabil* 2000;20:251-8.
- Ley 44/2003, de 21 de noviembre, de ordenación de las profesiones sanitarias. BOE núm. 280. Sábado 22 noviembre 2003. 41442- 41458.
- Schlant RC, Friesinger GC, Leonard JJ. Clinical competence in exercise testing. A statement for physicians from the ACP/ACC/AHA Task Force on Clinical Privileges in Cardiology. *J Am Coll Cardiol* 1990;16:1061-5.
- Kligfield P, Gettes LS, Bailey JJ, Childers R, Deal BJ, Hancock EW, et al; American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; American College of Cardiology Foundation; Heart Rhythm Society, Josephson M, Mason JW, Okin P, Surawicz B, Wellens H. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part I: The electrocardiogram and its technology: a scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society: endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology. *Circulation*. 2007;115:1306-24.
- Perloff D, Grim C, Flack J, Frohlich ED, Hill M, McDonald M, Morgenstern BZ. Human blood pressure determination by sphygmomanometry. *Circulation*. 1993;88(pt 1):2460-70.
- Hopkins SR. Exercise induced arterial hypoxemia: the role of ventilation-perfusion inequality and pulmonary diffusion limitation. *Adv Exp Med Biol*. 2006;588:17-30.
- Naranjo J. El laboratorio de Fisiología del Ejercicio. Instrumentación. Protocolos de pruebas de esfuerzo. En: Naranjo Orellana J, Santalla Hernández A, Manonelles Marqueta P, eds. *Valoración del rendimiento del deportista en el laboratorio*. Barcelona: Esmon Publicidad, 2013;37-60.
- Villarino-Cabezas S, González-Ravé JM, Juárez D, Navarro F. Comparison between a laboratory test in kayak-ergometer and continuous and interval exercises on open water in well-trained young kayakers. *ISMJ*. 2013;14:196-204.
- Alacid F, Torres G, Sanchez J, Carrasco L. Validez de la ergometría en piragüismo para la determinación del umbral anaeróbico. Estudio preliminar. Seminario del III Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte. Valencia. 2004.
- Holway F, Guerci G. Capacidad predictiva de los parámetros antropométricos y de maduración sobre el rendimiento de adolescentes noveles en remo-ergómetro. *Apunts Med Esport*. 2012;47:99-104.
- Rabadán M, Boraita A. Las pruebas de esfuerzo en la valoración cardiológica y funcional del deportista. En: Manonelles P, Boraita A, Luego E, Boraita A, eds. *Cardiología del Deporte*. Barcelona: Nexus Médica, 2005;79-123.
- Villa JG. *Valoración del metabolismo aeróbico en el laboratorio*. Monografía FEMEDE nº6. Pamplona: FEMEDE, 1999;345-425.
- American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for graded Exercise testing and prescription*. Ninth edition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2014.
- Will PM, Walter JD. Exercise testing: Improving performance with a ramped Bruce protocol. *Am Heart J*. 1999;138:1033-7.
- Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol*. 1981;50:217-21.
- Davis JA, Whipp BJ, Lamarra N, Huntsman DJ, Frank MH, Wasserman K. Effect of ramp slope on measurement of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14:339-43.
- Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M, Froelicher VF. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol* 1991;17:1334-42.
- Margarita R, Aghemo P, Rovelli E. Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J Appl Physiol*. 1966;21:1662-4.

47. Astrand I. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol Scand*; Suppl 1960;49:1-92.
48. Lambert G. The exercise blood pressure test of myocardial efficiency. *Br Med J*. 1918;2:366-8.
49. Scherf D. Fifteen years of electrocardiographic exercise test in coronary stenosis. *NY State J Med*. 1947;47:2420-4.
50. Pina IL, Baladi GJ, Hanson P, Labovitz AJ, Madonna DW, Myers J. Guidelines for clinical exercise testing laboratories. A statement for healthcare professionals from Committee on exercise and cardiac rehabilitation, American Heart Association. *Circulation*. 1995;91:912-21.
51. Blais S, Berbari J, Counil FP, Dallaire F. A systematic review of reference values in pediatric cardiopulmonary exercise testing. *Pediatr Cardiol*. 2015;36:1553-64.
52. Rowland TW. Aerobic exercise testing protocols. En: Rowland TW ed. Pediatric laboratory exercise testing. Clinical guidelines. Champaign IL: *Human Kinetics*, 1993;19-41.
53. 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. Ad hoc committee on exercise testing. *Circulation*. 1982;66:1377A-97A.
54. Strong WB, Stanitski CL, Smith RE, Wilmore JH. Cardiovascular responses to exercise in childhood. *AJDC*. 1990;144:1255-60.
55. Hartung GH, Lally DA, Blancq RJ. Comparison of treadmill exercise testing protocols for wheelchair users. *Eur J Appl Physiol*. 1993;66:362-5.
56. Klasnja A, Barak O, Popadić-Gaćesa J, Drapsin M, Knezević A, Grujić N. Analysis of anaerobic capacity in rowers using Wingate test on cycle and rowing ergometer. *Med Pregl*. 2010;63:620-3.
57. Ozkaya O. Familiarization effects of an elliptical all-out test and the Wingate test based on mechanical power indices. *J Sports Sci Med*. 2013;12:521-5.
58. Cumming GR, Everatt D, Hastman L. Bruce treadmill test in children: normal values in a clinic population. *Am J Cardiol*. 1978;41:69-75.
59. López Chicharro J. Aspectos fisiológicos del ejercicio físico en la edad infantil. En: López Chicharro J, Fernández Vaquero A, eds. *Fisiología del Ejercicio*, 3ª edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2006;609-11.
60. Pérez Ruiz M. Pruebas funcionales de valoración aeróbica. En: López Chicharro J, Fernández Vaquero A, eds. *Fisiología del Ejercicio*, 3ª edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2006;449.
61. Billat V. Teoría del entrenamiento. En: Billat V, ed. *Fisiología y metodología del entrenamiento, de la teoría a la práctica*. 1ª edición. Barcelona: Ed. Paidotribo, 2002;143.
62. Scherer D, Kaltenbach M. Frequency of life-threatening complications associated with exercise testing (author's translation). *Dtsch Med Wochenschr*. 1979;104:1161-5.
63. Rochmis P, Blacburn H. Exercise test: a survey of procedures, safety and litigation experience in approximately 170.000. *JAMA*. 1971;217:1061-6.
64. Rousseau M, Brasseur L. Criteres d'arret des épreuves d'effort. *Acta Cardiol*. 1972;27:392-406.
65. Sheffield LT. Safety of exercise testing volunteer subject: the lipid research clinics prevalence study experience. *J Cardiac Rehab*. 1982;2:395-400.
66. Simón P. Diez mitos en torno al consentimiento informado. *An Sist Sanit Navar*. 2006;29 (supl 2):29-40.
67. Simón Lorda P, Concheiro Carro L. El consentimiento informado: teoría y práctica (I). *Med Clin (Barc)*. 1993;100:659-63.
68. Ad hoc Committee on Medical Ethics, American College of Physicians. American College of Physicians Ethics Manual. *Ann Intern Med*. 1984;101:129-37.
69. Abdulla-El Rubaidi O, El Rubaidi-García O, Galicia-Bulnes JM. Consentimiento informado en neurocirugía. *Neurocirugía*. 2002;4:349-57.
70. Gallego Riestra S, Fernández-García B. El consentimiento informado y la documentación clínica en la Medicina del deporte ante la nueva Ley básica reguladora de la autonomía del paciente. *Arch Med Deporte*. 2003;94:149-60.
71. Ley 41/2002, de 14 de noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica. BOE núm. 274; Viernes 15 noviembre 2002;40126-32.
72. Neff MJ. Informed consent: What is it? Who can give it? How do we improve it? *Respir Care*. 2008;53:1337-41.
73. Boraita A, Baño A, Berrazueta JR, Lamiel R, Luengo E, Manonelles P, et al. Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología sobre actividad física en el cardiópata (I). *Arch Med Deporte*. 2001;81:9-31.
74. Boraita A, Baño A, Berrazueta JR, Lamiel R, Luengo E, Manonelles P, et al. Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología sobre actividad física en el cardiópata (II). *Arch Med Deporte*. 2001;82:101-33.
75. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med*. 1970;2:92-8.
76. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14:377-81.
77. Grant S, Aitchison T, Henderson E, Christie J, Zare S, McMurray J, et al. A comparison of the reproducibility and the sensitivity to change of visual analogue scales, Borg scales, and Likert scales in normal subjects during submaximal exercise. *Chest*. 1999;116:1208-17.
78. Wilson RC, Jones PW. A comparison of the visual analogue scale and modified Borg scale for the measurement of dyspnea during exercise. *Clin Sci*. 1989;76:277-82.
79. Neely G, Ljunggren G, Sylvén C, Borg G. Comparison between the Visual Analogue Scale (VAS) and the Category Ratio Scale (CR-10) for the evaluation of leg exertion. *Int J Sports Med*. 1992;13:133-6.
80. Zamuñer AR, Moreno MA, Camargo TM, Graetz JP, Rebelo AC, Tamburús NY, et al. Assessment of subjective perceived exertion at the anaerobic threshold with the Borg CR-10 scale. *J Sports Sci Med*. 2011;10:130-6.
81. Noble BJ. Clinical applications of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14:406-11.
82. Chase P, Arena R, Myers J, Abella J, Peberdy MA, Guazzi M, et al. Prognostic usefulness of dyspnea versus fatigue as reason for exercise test termination in patients with heart failure. *Am J Cardiol*. 2008;102:879-82.
83. Mark DB, Shaw L, Harrell FE Jr, Hlatky MA, Lee KL, Bengtson JR, et al. Prognostic value of a treadmill exercise score in outpatients with suspected coronary artery disease. *N Engl J Med*. 1991;325:849-53.
84. Da Rocha EE, Alves VG, da Fonseca RB. Indirect calorimetry: methodology, instruments and clinical application. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2006;9:247-56.
85. Haugen HA, Chan LN, Li F. Indirect calorimetry: a practical guide for clinicians. *Nutr Clin Pract*. 2007;22:377-88.
86. Katch VL, McArdle WD, Katch FI. Energy expenditure during rest and physical activity. En: McArdle WD, Katch FI, Katch VL, eds. *Essentials of exercise physiology*. 4th ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 2011;237-62.
87. Jetté M, Sidney K, Blümchen G. Metabolic equivalents (METs) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. *Clin Cardiol*. 1990;13:555-65.
88. Arena R, Myers J, Aslam SS, Varughese EB, Peberdy MA. Technical considerations related to the minute ventilation/carbon dioxide output slope in patients with heart failure. *Chest*. 2003;124:720-7.
89. Ingle L, Goode K, Carroll S, Sloan R, Boyes C, Cleland JG, et al. Prognostic value of the VE/VCO2 slope calculated from different time intervals in patients with suspected heart failure. *Int J Cardiol*. 2007;118:350-5.
90. Sun XG, Hansen JE, Garatachea N, Storer TW, Wasserman K. Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166:1443-8.
91. Yasunobu Y, Oudiz RJ, Sun XG, Hansen JE, Wasserman K. End-tidal PCO2 abnormality and exercise limitation in patients with primary pulmonary hypertension. *Chest*. 2005;127:1637-46.
92. Ponikowski P, Chua TP, Piepoli M, Banasiak W, Anker SD, Szelemej R, et al. Ventilatory response to exercise correlates with impaired heart rate variability in patients with chronic congestive heart failure. *Am J Cardiol*. 1998;82:338-44.
93. Holverda S, Bogaard HJ, Groepenhoff H, Postmus PE, Boonstra A, Vonk-Noordegraaf A. Cardiopulmonary exercise test characteristics in patients with chronic obstructive pulmonary disease and associated pulmonary hypertension. *Respiration*. 2008;76:160-7.
94. Rodgers GP, Ayanian JZ, Balady G, Beasley JW, Brown KA, Gervino EV, et al. American College of Cardiology/American Heart Association Clinical Competence statement on stress testing: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association/American College of Physicians-American Society of Internal Medicine Task Force on Clinical Competence. *J Am Coll Cardiol*. 2000;36:1441-53.
95. Hung MJ, Hu P, Hung MY. Coronary artery spasm: review and update. *Int J Med Sc*. 2014;11:1161-71.
96. Gauer RL. Evaluation of syncope. *Am Fam Physician*. 2011;84:640-50.
97. Laviolette L, Laveneziana P; ERS Research Seminar Faculty. Dyspnea: a multidimensional and multidisciplinary approach. *Eur Respir J*. 2014;43:1750-62.
98. Pinkstaff S, Peberdy MA, Kontos MC, Finucane S, Arena R. Quantifying exertion level during exercise stress testing using percentage of age predicted maximal heart rate, rate pressure product, and perceived exertion. *Mayo Clin Proc*. 2010;85:1095-100.
99. Kubrychtova V, Olson TP, Bailey KR, Thapa P, Allison TG, Johnson BD. Heart rate recovery and prognosis in heart failure patients. *Eur J Appl Physiol*. 2009;105:37-45.
100. Mansur AJ, Nunes RA. Heart rate response and chronotropic incompetence in exercise stress testing of asymptomatic women. *Women Health (Lond Engl)*. 2010;6:785-7.
101. Minkkinen M, Nieminen T, Verrier RL, Leino J, Lehtimäki T, Viik J, et al. Prognostic capacity of a clinically indicated exercise test for cardiovascular mortality is enhanced by

- combined analysis of exercise capacity, heart rate recovery and T-wave alternans. *Eur J Prev Cardiol.* 2015;22:1162-70.
102. Pescatello LS, Franklin BA, Fagard R, Farquhar WB, Kelley GA, Ray CA, American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med Sci Sport Exerc.* 2004;36:533-53.
 103. American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription.* 7th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
 104. Tanaka H, Bassett DR Jr, Turner MJ. Exaggerated blood pressure response to maximal exercise in endurance-trained individuals. *Am J Hypertens.* 1996;9:1099-103.
 105. Laukkanen JA, Kurl S, Rauramaa R, Lakka TA, Venalainen JM, Salonen JT. Systolic blood pressure response to exercise testing is related to the risk of acute myocardial infarction in middle-aged men. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2006;13:421-8.
 106. O'Neal WT, Qureshi WT, Blaha MJ, Keteyian SJ, Brawner CA, Al-Mallah MH. Systolic blood pressure response during exercise stress testing: The Henry Ford Exercise Testing (FIT) Project. *J Am Heart Assoc.* 2015;4(5). pii: e002050.
 107. Akutsu Y, Shinozuka A, Nishimura H, Li HL, Huang TY, Yamanaka H, et al. Significance of ST-segment morphology noted on electrocardiography during the recovery phase after exercise in patients with ischemic heart disease as analyzed with simultaneous dual-isotope single photon emission tomography. *Am Heart J.* 2002;144:335-42.
 108. Ranadive SM, Fahs CA, Yan H, Rossow LM, Agiovlasis S, Agliovlasis S, et al. Heart rate recovery following maximal arm and leg ergometry. *Clin Auton Res.* 2011;21:117-20.
 109. Pierpont GL, Voth EJ. Assessing autonomic function by analysis of heart rate recovery from exercise in healthy subjects. *Am J Cardiol.* 2004;94:64-8.
 110. Lauer MS, Froelicher V. Abnormal heart-rate recovery after exercise. *Lancet.* 2002;360:1176-7.
 111. Lauer M, Froelicher ES, Williams M, Kligfield P. Exercise testing in asymptomatic adults: a statement for professionals from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology, Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention. *Circulation.* 2005;112:771-6.
 112. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med.* 1999;341:1351-7.
 113. Nishime EO, Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Lauer MS. Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. *JAMA.* 2000;284:1392-8.
 114. Cheng YJ, Lauer MS, Earnest CP, Church TS, Kampert JB, Gibbons LW, et al. Heart rate recovery following maximal exercise testing as a predictor of cardiovascular disease and all-cause mortality in men with diabetes. *Diabetes Care.* 2003;26:2052-7.
 115. Lipinski MJ, Vetrovec GW, Froelicher VF. Importance of the first two minutes of heart rate recovery after exercise treadmill testing in predicting mortality and the presence of coronary artery disease in men. *Am J Cardiol.* 2004;93:445-9.
 116. Nanas S, Anastasiou-Nana M, Dimopoulos S, Sakellariou D, Alexopoulos G, Kapsimalakou S, et al. Early heart rate recovery after exercise predicts mortality in patients with chronic heart failure. *Int J Cardiol.* 2006;110:393-400.
 117. Bilsel T, Terzi S, Akbulut T, Sayar N, Hobikoglu G, Yesilcimen K. Abnormal heart rate recovery immediately after cardiopulmonary exercise testing in heart failure patients. *Int Heart J.* 2006;47:431-40.
 118. Syme AN, Blanchard BE, Guidry MA, Taylor AW, Vanheest JL, Hasson S, et al. Peak systolic blood pressure on a graded maximal exercise test and the blood pressure response to an acute bout of submaximal exercise. *Am J Cardiol.* 2006;98:338-43.
 119. Cohen-Solal A, Laperche T, Morvan D, Geneves M, Caviezel B, Gourgon R. Prolonged kinetics of recovery of oxygen consumption after maximal graded exercise in patients with chronic heart failure: Analysis with gas exchange measurements and NMR spectroscopy. *Circulation.* 1995;91:2924-32.
 120. Harris RC, Edwards RH, Hultman E, Nordesjö LO, Nyland B, Sahlin K. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch.* 1976;367:137-42.
 121. Maehlum S, Grandmontagne M, Newsholme EA, Sejersted OM. Magnitude and duration of excess post exercise oxygen consumption in healthy young subjects. *Metabolism.* 1986;35:425-9.
 122. Bahr R, Ingnes I, Vaage O, Sejersted OM, Newsholme EA. Effect of duration of exercise on excess post-exercise oxygen consumption. *J Appl Physiol.* 1987;62:485-90.
 123. De Groote P, Millaire A, Decoux E, Nugue O, Guimier P, Ducloux G. Kinetics of oxygen consumption during and after exercise in patients with dilated cardiomyopathy: new markers of exercise intolerance with clinical implications. *J Am Coll Cardiol.* 1996;28:168-75.
 124. Drezner JA, Ackerman MJ, Anderson J, Ashley E, Asplund CA, Baggish AL, et al. Electrocardiographic interpretation in athletes: the 'Seattle criteria'. *Br J Sports Med.* 2013;47:122-4.
 125. Johnson NP, Holly TA, Goldberger JJ. QT dynamics early after exercise as a predictor of mortality. *Heart Rhythm.* 2010;7:1077-84.
 126. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, et al. 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1575-81.
 127. Jezior MR, Kent SM, Atwood JE. Exercise testing in Wolff-Parkinson-White syndrome: case report with ECG and literature review. *Chest.* 2005;127:1454-7.
 128. Vasey C, O'Donnell J, Morris S, McHenry P. Exercise-induced left bundle branch block and its relation to coronary artery disease. *Am J Cardiol.* 1985;56:892-5.
 129. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ, eds. *Principles of exercise testing and interpretation.* Third edition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 1999.
 130. Franco Bonafonte L, Rubio Pérez FJ. Gasto energético en el humano. Calorimetría indirecta. Medición del consumo de oxígeno. En Naranjo Orellana J, Santalla Hernández A, Manonelles Marqueta P, eds. *Valoración del rendimiento del deportista en el laboratorio.* Barcelona: Esmon Publicidad, 2013;89-111.
 131. Santalla Hernández A. Relaciones del VO₂max con otras variables. Eficiencia mecánica y respuesta del VO₂ a carga constante. En Naranjo Orellana J, Santalla Hernández A, Manonelles Marqueta P, eds. *Valoración del rendimiento del deportista en el laboratorio.* Barcelona: Esmon Publicidad, 2013;313-33.
 132. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1983;55:1558-64.
 133. Santalla Hernández A. Consumo máximo de oxígeno en el deportista. Factores determinantes. Importancia para el rendimiento. En: Naranjo Orellana J, Santalla Hernández A, Manonelles Marqueta P, eds. *Valoración del rendimiento del deportista en el laboratorio.* Barcelona: Esmon Publicidad, 2013;293-312.
 134. Yoon B-K, Kravitz L, Robergs R. VO₂max, protocol duration and the VO₂ plateau. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:1186-92.
 135. Beltrami FG, Froyd C, Mauger A, Metcalfe A, Marino F, Noakes TD. Conventional testing methods produce submaximal values of maximal oxygen consumption. *Br J Sports Med.* 2012;46:23-9.
 136. Mauger A, Sculthorpe N. A new O₂max protocol allowing self-pacing in maximal incremental exercise. *Br J Sports Med.* 2012;46:59-63.
 137. Smirmaul BC, Bertucci DC, Teixeira IP. Is the VO₂max that we measure really maximal? *Front Physiol.* 2013;4:203.
 138. Heyward V. *Advanced fitness assessment and exercise prescription.* Second edition. Champaign IL: Human Kinetics Books, 1991.
 139. Franklin BA, Whaley MH, Howley ET, eds. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription.* Sixth edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
 140. Wasserman K, McLroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol.* 1964;14:844-52.
 141. López Chicharro J, Aznar Lain S, Fernández Vaquero A, López Mojares LM, Lucía Mulas A, Pérez Ruiz M. Transición aeróbico-anaeróbica. *Concepto, metodología de determinación y aplicaciones.* Madrid: Master Line y Prodigio SL, 2004.
 142. Galilea Ballarini PA, Riera Canals J, Drobnic Martínez F. Comportamiento de la ventilación en una prueba incremental. El modelo trifásico. Significado y utilidad de los umbrales ventilatorios. En: Naranjo Orellana J, Santalla Hernández A, Manonelles Marqueta P, eds. *Valoración del rendimiento del deportista en el laboratorio.* Barcelona: Esmon Publicidad, 2013;337-46.
 143. Skinner JS, McLellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport.* 1980;51:234-48.
 144. López Chicharro J, Fernández Vaquero A, eds. *Fisiología del ejercicio.* 3ª edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2006.
 145. Meyert T, Faude O, Sharhag J, Urhausen A, Kindermann W. Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point? *Br J Sports Med.* 2004;38:622-5.
 146. Smith EE, Guyton AC, Manning RC, White RJ. Integrated mechanisms of cardiovascular response and control during exercise in the normal human. *Prog Cardiovasc Dis* 1976;18:421-44.
 147. Robergs RA, Landwehr R. The surprising history of the "HRmax=220-age" equation. *Journal of Exercise Physiology Online.* 2002;5:1-10.
 148. Franklin BA, Whaley MH, Howley ET, eds. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription.* Sixth edition. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2000.
 149. Bourdon P. Blood lactate thresholds: concepts and applications. En Tanner RK, Gore CJ, eds. *Physiological tests for elite athletes.* Second edition. Champaign: Human Kinetics, 2013;77-102.
 150. Banister EW, Allen ME, Mekjavic IB, Singh AK, Legge B, Mutch BJC. The time course of ammonia and lactate accumulation in blood during bicycle exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1983;51:195-202.
 151. Kantanista A, Kusy K, Zarębska E, Włodarczyk M, Ciekot-Sołtysiak M, Zieliński J. Blood ammonia and lactate responses to incremental exercise in highly-trained male sprinters and triathletes. *Biomedical Human Kinetics.* 2016;8:32-8.

152. Gorostiaga EM, Navarro-Amézqueta I, Calbet JA, Sánchez-Medina L, Cusso R, Guerrero M, et al. Blood ammonia and lactate as markers of muscle metabolites during leg press exercise. *J Strength Cond Res*. 2014;28:2775-85.
153. Salas-Heredia E, Clari R, Almenar MV, Senabre-Gallego JM, Santos-Soler G, Pons A, et al. Utilidad clínica de la determinación de lactato y amonio, en el estudio de la intolerancia al ejercicio. *Rev Sociedad Val Reuma*. 2015;6;1:3-8.
154. Pedersen BK, Febbraio MA. Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiol Rev*. 2008;88:1379-406.
155. Pedersen BK, Akerström TC, Nielsen AR, Fischer CP. Role of myokines in exercise and metabolism. *J Appl Physiol*. (1985) 2007;103:1093-8.
156. Fischer CP. Interleukin-6 in acute exercise and training: what is the biological relevance? *Exerc Immunol Rev* 2006;12:6-33.
157. Helge JW, Stallknecht B, Pedersen BK, Galbo H, Kiens B, Richter EA. The effect of graded exercise on IL-6 release and glucose uptake in human skeletal muscle. *J Physiol*. 2003;546(Pt 1):299-305.
158. Sleivert G. Aerobic assessment. guidelines for athlete assessment in New Zealand sport. En: Bailey C, ed. *Guidelines for athlete assessment in New Zealand sport*. Auckland. New Zealand Hockey Federation Inc. 2002.
159. Kligfield P, Lauer MS. Exercise Electrocardiogram testing: Beyond de ST Segment. *Circulation*. 2006;114:2070-82.
160. Miller TD. Exercise treadmill test: estimating cardiovascular prognosis. *Cleve Clin J Med*. 2008;75:424-30.
161. Mark DB. Risk stratification in patients with chest pain. *Prim Care*. 2001;28:99-118.
162. Kodama S, Saito K, Tanaka S, Maki M, Yachi Y, Asumi M, Sugawara A, et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA*. 2009;301:2024-35.
163. Gupta S, Rohatgi A, Ayers CR, Willis BL, Haskell VL, Khera A, et al. Cardiorespiratory fitness and classification of risk of cardiovascular disease mortality. *Circulation*. 2011;123:1377-83.
164. Mayers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partigton S, Atwood JE. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med*. 2002;346:793-801.
165. Wackers FJ. Customized exercise testing. *J Am Coll Cardiol*. 2009;54:546-8.
166. Kim ES, Ishwaran H, Blackstone E, Lauer MS. External prognostic validations and comparisons of age- and gender adjusted exercise capacity predictions. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50:1867-75.
167. Morris CK, Myers J, Froelicher VF, Kawaguchi T, Ueshima K, Hideg A. Nomogram based on metabolics equivalent and age for assessing aerobic exercise capacity in men. *J Am Coll Cardiol*. 1993;22:175-82.
168. Lauer MS, Francis GS, Okin PM, Pashkow FJ, Snader CE, Marwick TH. Impaired chronotropic response to exercise stress testing as a predictor of mortality. *JAMA*. 1999;281:524-9.
169. Gulati M, Shaw LJ, Thisted RA, Black HR, Bairey Merz CN, Arnsdorf MF. Heart rate response to exercise stress testing in asymptomatic women: the St. James women take heart project. *Circulation*. 2010;122:130-7.
170. Brawner CA, Ehrman JK, Schairer JR, Cao JJ, Keteyian SJ. Predicting maximum heart rate among patients with coronary heart disease receiving beta-adrenergic blockade therapy. *Am Heart J*. 2004;148:910-4.
171. Wiens RD, Lafia P, Marder CM, Evans RG, Kennedy HL. Chronotropic incompetence in clinical exercise testing. *Am J Cardiol*. 1984;54:74-8.
172. Azarbal B, Hayes SW, Lewin HC, Hachamovitch R, Cohen I, Berman DS. The incremental prognostic value of percentage of heart rate reserve achieved over myocardial perfusion single-photon emission computed tomography in the prediction of cardiac death and all-cause mortality: superiority over 85% of maximal age-predicted heart rate. *J Am Coll Cardiol*. 2004;44:423-30.
173. Daugherty SL, Magid DJ, Kikla JR, Hokanson JE, Baxter J, Ross CA, et al. Gender differences in the prognostic value of exercise treadmill test characteristics. *Am Heart J*. 2011;161:908-14.
174. Jouven X, Empana JP, Schwartz PJ, Desnos M, Courbon D, Ducimetiere P. Heart rate profile during exercise as a predictor of sudden death. *N Engl J Med*. 2005;352:1951-8.
175. Lee VV, Mitiku T, Sungar G, Meyers J, Froelicher V. The blood pressure response, to dynamic exercise testing: a systematic review. *Prog Cardiovasc Dis*. 2008;51:135-60.
176. Ha JW, Juracan EM, Mahoney DW, Oh JK, Shub C, Seward JB, et al. Hypertensive response to exercise: a potential cause, for new wall motion, abnormality in the absence of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 2002;39:323-7.
177. Huang CL, Su TC, Chen WJ, Lin LY, Wang WL, Feng MH, et al. Usefulness of paradoxical systolic blood pressure increase after exercise as a predictor of cardiovascular mortality. *Am J Cardiol*. 2008;102:518-23.
178. Dewey FE, Kapoor JR, Williams RS, Lipinsky MJ, Ashley EA, Hadley D, et al. Ventricular arrhythmias during clinical treadmill testing and prognosis. *Arch Intern Med*. 2008;168:225-34.
179. Eckart RE, Field ME, HruzKowski TW, Forman DE, Dorbala S, Di Carli MF, et al. Association of electrocardiographic morphology of exercise-induced ventricular arrhythmia with mortality. *Ann Intern Med*. 2008;149:451-60.
180. Maas AH, van der Schouw YT, Regitz-Zagrosek V, Swahn E, Appelman YE, Pasterkamp G, et al. Red alert for women's heart: the urgent need for more research and knowledge on cardiovascular disease in women: proceedings of the workshop held in Brussels on gender differences in cardiovascular disease, 29 September 2010. *Eur Heart J*. 2011;32:1362-8.
181. Corrado D, Pelliccia A, Heidbuchel H, Sharma S, Link M, Basso C, et al. Section of Sports Cardiology, European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the athlete. *Eur Heart J*. 2010;31:243-59.
182. Marijon E, Bougouin W, Celermajer DS, Périer MC, Dumas F, Benamer N, et al. Characteristics and outcomes of sudden cardiac arrest during sports in women. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2013;6:1185-91.
183. Anand SS, Islam S, Rosengren A, Franzosi MG, Steyn K, Yusufali AH, et al; INTERHEART Investigators. Risk factors for myocardial infarction in women and men: insights from the INTERHEART study. *Eur Heart J*. 2008;29:932-40.
184. Towfighi A, Zheng L, Ovbiagele B. Sex-specific trends in midlife coronary heart disease risk and prevalence. *Arch Intern Med*. 2009;169:1762-6.
185. Mieres JH, Gulati M, Bairey Merz N, Berman DS, Gerber TC, Hayes SN, et al; American Heart Association Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology; Cardiovascular Imaging and Intervention Committee of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. Role of noninvasive testing in the clinical evaluation of women with suspected ischemic heart disease: a consensus statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2014;130:350-79.
186. Kwok Y, Kim C, Grady D, Segal M, Redberg R. Meta-analysis of exercise testing to detect coronary artery disease in women. *Am J Cardiol*. 1999;83:660-6.
187. Kohli P, Gulati M. Exercise stress testing in women: going back to the basics. *Circulation*. 2010;122:2570-80.
188. Gianrossi R, Detrano R, Mulvihill 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.
189. Sanders GD, Patel MR, Chatterjee R, Ross AK, Bastian LA, Coeytaux RR, Heidenfelder BL, Musty MD, Dolor RJ. Rockville (MD): Agency for Healthcare Research and Quality (US); 2013 Feb. Report No. 13-EHC072-EF. AHRQ Future Research Needs Papers. Noninvasive technologies for the diagnosis of coronary artery disease in women: future research needs: identification of future research needs from comparative effectiveness review No. 58 [Internet].
190. Cumming GR, Dufresne C, Kich L, Sann J. Exercise electrocardiogram patterns in normal women. *Br Heart J*. 1973;35:1055-61.
191. Higgins JP, Higgins JA. Electrocardiographic exercise stress testing: an update beyond the ST segment. *Int J Cardiol*. 2007;116:285-99.
192. Morise AP, Beto R. The specificity of exercise electrocardiography in women grouped by estrogen status. *Int J Cardiol*. 1997;60:55-65.
193. Grzybowski A, Puchalski W, Zieba B, Gruchala M, Fijalkowski M, Stoniak K, et al. How to improve noninvasive coronary artery disease diagnostics in premenopausal women? The influence of menstrual cycle on ST depression, left ventricle contractility, and chest pain observed during exercise echocardiography in women with angina and normal coronary angiogram. *Am Heart J*. 2008;156:964.e1-964.e5.
194. Robert AR, Melin JA, Detry JM. Logistic discriminant analysis improves diagnostic accuracy of exercise testing for coronary artery disease in women. *Circulation*. 1991;83:1202-9.
195. Mark DB, Lauer MS. Exercise capacity; the prognostic variable that doesn't get enough respect. *Circulation*. 2003;108:1534-6.
196. Arena R, Myers J, Williams MA, Gulati M, Kligfield P, Balady GJ, et al; American Heart Association Council on Cardiovascular Nursing. Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. *Circulation*. 2007;116:329-43.
197. Gulati M, Black HR, Shaw LJ, Arnsdorf MF, Merz CN, Lauer MS, et al. The prognostic value of a nomogram for exercise capacity in women. *N Engl J Med*. 2005;353:468-75.
198. Gulati M, Pandey DK, Arnsdorf MF, Lauderdale DS, Thisted RA, Wicklund RH, et al. Exercise capacity and the risk of death in women: the St. James Women Take Heart Project. *Circulation*. 2003;108:1554-9.
199. Mora S, Redberg RF, Cui Y, Whiteman MK, Flaws JA, Sharrett AR, et al. Ability of exercise testing to predict cardiovascular and all-cause death in asymptomatic women: a 20-year follow-up of the lipid research clinics prevalence study. *JAMA*. 2003;290:1600-7.
200. Roger VL, Jacobsen SJ, Pellikka PA, Miller TD, Bailey KR, Gersh BJ. Prognostic value of treadmill exercise testing: a population-based study in Olmsted County, Minnesota. *Circulation*. 1998;98:2836-41.

201. Bourque JM, Holland BH, Watson DD, Beller GA. Achieving an exercise workload of > or = 10 metabolic equivalents predicts a very low risk of inducible ischemia: does myocardial perfusion imaging have a role? *J Am Coll Cardiol.* 2009;54(6):538-45.
202. Panzer C, Lauer MS, Brieke A, Blackstone E, Hoogwerf B. Association of fasting plasma glucose with heart rate recovery in healthy adults: a population-based study. *Diabetes.* 2002;51:803-7.
203. Vivekananthan DP, Blackstone EH, Pothier CE, Lauer MS. Heart rate recovery after exercise is a predictor of mortality, independent of the angiographic severity of coronary disease. *J Am Coll Cardiol.* 2003;42:831-8.
204. 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.
205. Alexander KP, Shaw LJ, Shaw LK, DeLong ER, Mark DB, Peterson ED. Value of exercise treadmill testing in women. *J Am Coll Cardiol.* 1998;32:1657-64.
206. Kwok JM, Miller TD, Hodge DO, Gibbons RJ. Prognostic value of the Duke treadmill score in the elderly. *J Am Coll Cardiol.* 2002;39:1475-81.
207. Shaw LJ, Mieres JH, Hendel RH, Boden WE, Gulati M, Veledar E, et al; WOMEN Trial Investigators. Comparative effectiveness of exercise electrocardiography with or without myocardial perfusion single photon emission computed tomography in women with suspected coronary artery disease: results from the What Is the Optimal Method for Ischemia Evaluation in Women (WOMEN) trial. *Circulation.* 2011;124:1239-49.
208. Kemp HG Jr, Vokonas PS, Cohn PF, Gorlin R. The anginal syndrome associated with normal coronary arteriograms. Report of a six year experience. *Am J Med.* 1973;54:735-42.
209. Kaski JC, Crea F, Nihoyannopoulos P, Hackett D, Maseri A. Transient myocardial ischemia during daily life in patients with syndrome X. *Am J Cardiol.* 1986;58:1242-7.
210. Paridon SM, Alpert BS, Boas SR, Cabrera ME, Calderera LL, Daniels SR, et al; American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. Clinical stress testing in the pediatric age group: a statement from the American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. *Circulation.* 2006;113:1905-20.
211. Massin MM. The role of exercise testing in pediatric cardiology. *Arch Cardiovasc Dis.* 2014;107:319-27.
212. Barker AR, Williams CA, Jones AM, Armstrong N. Establishing maximal oxygen uptake in young people during a ramp cycle test to exhaustion. *Br J Sports Med.* 2011;45:498-503.
213. Tanner CS, Heise CT, Barber G. Correlation of the physiologic parameters of a continuous ramp versus an incremental James exercise protocol in normal children. *Am J Cardiol.* 1991;67:309-12.
214. American Thoracic Society. ATS Statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166:111-7.
215. Armstrong N, Welsman JR. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev.* 1994;22:435-76.
216. Barker AR, Armstrong N. Exercise testing elite young athletes. *Med Sport Sci.* 2011;56:106-25.
217. Hansen HS, Froberg K, Nielsen JR, Hyldebrandt N. A new approach to assessing maximal aerobic power in children: the Odense School Child Study. *Eur J Appl Physiol.* 1989;58:618-24.
218. Cooper DM, Weiler-Ravell D, Whipp BJ, Wasserman K. Aerobic parameters of exercise as a function of body size during growth in children. *J Appl Physiol.* 1984;56:628-34.
219. Cooper DM, Weiler-Ravell D. Gas exchange response to exercise in children. *Am Rev Respir Dis.* 1984;129(2 Pt 2):S47-8.
220. Nevill AM, Bate S, Holder RL. Modeling physiological and anthropometric variables known to vary with body size and other confounding variables. *Am J Phys Anthropol.* 2005;Suppl 41:141-53.
221. Nevill AM, Holder RL, Baxter-Jones A, Round JM, Jones DA. Modeling developmental changes in strength and aerobic power in children. *J Appl Physiol.* (1985) 1998;84:963-70.
222. Arvidsson D, Slinde F, Hulthén L, Sunnegårdh J. Physical activity, sports participation and aerobic fitness in children who have undergone surgery for congenital heart defects. *Acta Paediatr.* 2009;98:1475-82.
223. Budts W, Börjesson M, Chessa M, Buuren F van, Trindade PT, Corrado D, et al. Physical activity in adolescents and adults with congenital heart defects: individualized exercise prescription. *Eur Heart J.* 2013;34:3669-74.
224. Reybrouck T, Weymans M, Stijns H, Van der Hauwaert LG. Exercise testing after correction of tetralogy of Fallot: the fallacy of a reduced heart rate response. *Am Heart J.* 1986;112:998-1003.
225. Pincott ES, Burch M. Indications for heart transplantation in congenital heart disease. *Curr Cardiol Rev.* 2011;7:51.
226. Giardini A, Fenton M, Andrews RE, Derrick G, Burch M. Peak oxygen uptake correlates with survival without clinical deterioration in ambulatory children with dilated cardiomyopathy. *Circulation.* 2011;124:1713-8.
227. Basso C, Maron BJ, Corrado D, Thiene G. Clinical profile of congenital coronary artery anomalies with origin from the wrong aortic sinus leading to sudden death in young competitive athletes. *J Am Coll Cardiol.* 2000;35:1493-501.
228. Jan SL, Hwang B, Fu YC, Lee PC, Kao CH, Liu RS, et al. Comparison of 201Tl SPET and treadmill exercise testing in patients with Kawasaki disease. *Nucl Med Commun.* 2000;21:431-5.
229. Kane DA, Fulton DR, Saleeb S, Zhou J, Lock JE, Geggel RL. Needles in hay: chest pain as the presenting symptom in children with serious underlying cardiac pathology. *Congenit Heart Dis.* 2010;5:366-73.
230. Jacobsen JR, Garson A, Gillette PC, McNamara DG. Premature ventricular contractions in normal children. *J Pediatr.* 1978;92:36-8.
231. Wiles HB. Exercise testing for arrhythmia: children and adolescents. *Prog Pediatr Cardiol.* 1993;2:51-60.
232. Priori SG, Wilde AA, Horie M, Cho Y, Behr ER, Berul C, et al. HRS/EHRA/APHR expert consensus statement on the diagnosis and management of patients with inherited primary arrhythmia syndromes: document endorsed by HRS, EHRA, and AHA in May 2013 and by ACCF, AHA, PACES, and AEP in June 2013. *Heart Rhythm.* 2013;10:1932-63.
233. Horner JM, Horner MM, Ackerman MJ. The diagnostic utility of recovery phase QTC during treadmill exercise stress testing in the evaluation of long QT syndrome. *Heart Rhythm.* 2011;8:1698-704.
234. Amin AS, de Groot EA, Ruijter JM, Wilde AA, Tan HL. Exercise-induced ECG changes in Brugada syndrome. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2009;2:531-9.
235. American College of Sports Medicine, Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, Minson CT, Nigg CR, Salem GJ, Skinner JS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:1510-30.
236. Skinner JS. Aging for exercise testing and prescription. In: Skinner JS, ed. *Exercise testing and exercise prescription for special cases: theoretical basis and clinical application.* Philadelphia: Lippincott Williams&Wilkins, 2005:85-99.
237. Singh MA. Exercise and aging. *Clin Geriatr Med.* 2004;20:201-21.
238. American College of Sports Medicine. *Guidelines for exercise testing and prescription.* Fifth edition. Baltimore: Williams&Wilkins, 1995.
239. Casaburi R, Porszasz J, Burns MR, Carithers ER, Chang R, Cooper CB. Physiologic benefits of exercise training in rehabilitation of patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997;155:1541-51.
240. Olopade CH, Beck K, Viggiano RW, Bruce A. Exercise limitation and pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Mayo Clin Proc.* 1992;67:144-57.
241. O'Donell D, McGuire M, Samis L, Webb KA. The impact of exercise reconditioning on breathlessness in severe chronic airflow limitation. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995;152:2005-13.
242. Womack CJ, Sieminski DJ, Katzell LI, Yataco A, Gardner AW. Improved walking economy in patients with peripheral arterial occlusive disease. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:1286-90.
243. Barnard J. Physical activity, fitness and claudication. In: Bouchard C, Sopher RJ, Stephens T, eds. *Physical activity, fitness and health. International proceedings and consensus statement.* Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1994:633-55.
244. Balady GJ, Weiner DA, Rose L, Ryan TJ. Physiologic responses to arm ergometry exercise relative to age and gender. *J Am Coll Cardiol.* 1990;16:130-5.
245. Lakatta EG, Levy D. Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part I: aging arteries: a "set up" for vascular disease. *Circulation.* 2003;107:139-46.
246. Blacher J, Staessen JA, Giered X, Gasowski J, Thijs L, Liu L, et al. Pulse pressure not mean pressure determines cardiovascular risk in older hypertensive patients. *Arch Intern Med.* 2000;160:1085-9.
247. Wilmore JH, Costill DL. Aging and the older athlete. In: Wilmore JH, Costill DL, eds. *Physiology of sport and exercise.* Champaign: Human Kinetics, 1994:424-41.
248. Heyn P, Abreu BC, Ottenbacher KJ. The effects of exercise training on elderly persons with cognitive impairment and dementia: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85:1694-704.
249. American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription.* 8th ed. Baltimore: Lippincott Williams&Wilkins, 2009.
250. Busby MJ, Shefrin EA, Fleg JL. Prevalence and long-term significance of exercise-induced frequent or repetitive ventricular ectopic beats in apparently healthy volunteers. *J Am Coll Cardiol.* 1989;14:1659-65.
251. Maurer MS, Shefrin EA, Fleg JL. Prevalence and prognostic significance of exercise-induced supraventricular tachycardia in apparently healthy volunteers. *Am J Cardiol.* 1995;75:788-92.
252. Hakola L, Komulainen P, Hassinen M, Savonen K, Litmanen H, Lakka TA, et al. Cardio-respiratory fitness in aging men and women: the DR's EXTRA study. *Scand J Med Sci Sports.* 2011;21:679-87.

253. Fioretti P, Deckers JW, Brower RW, Simoons ML, Beelen JA, Hugenholtz PG. Predischarga stress test after myocardial infarction in the old age: results and prognostic value. *Eur Heart J*. 1984;5(supl E):101-4.
254. Ciaroni S, Delonca J, Righetti A. Early exercise testing after acute myocardial infarction in the elderly: clinical evaluation and prognostic significance. *Am Heart J*. 1993;126:304-311.
255. Goraya TY, Jacobsen SJ, Pelliikka PA, Miller TD, Khan A, Weston SA, et al. Prognostic value of treadmill exercise testing in elderly persons. *Ann Intern Med*. 2000;132:862-70.
256. Fleg JL. Stress testing in the elderly. *Am J Geriatr Cardiol*. 2001;10:308-13.
257. Samek L, Betz P, Schnellbacher K. Exercise testing in elderly patients with coronary artery disease. *Eur Heart J*. 1984;5 (suppl E):69-73.
258. Glover DR, Robinson CS, Murray RG. Diagnostic exercise testing in 104 patients over 65 years of age. *Eur Heart J*. 1984;5(suppl E):59-61.
259. Josephson RA, Shefrin E, Lakatta EG, Brant LJ, Fleg JL. Can serial exercise testing improve the prediction of coronary events in asymptomatic individuals? *Circulation*. 1990;81:20-4.
260. Banerjee A, Newman DR, Van den Bruel A, Heneghan C. Diagnostic accuracy of exercise stress testing for coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Int J Clin Pract*. 2012;66:477-92.
261. Kokkinos P, Myers J, Faselis C, Panagiotakos DB, Doulas M, Pittaras A, et al. Exercise capacity and mortality in older man: a 20 year follow-up study. *Circulation*. 2010;122:790-7.
262. Bouzas-Mosquera A, Peteiro J, Broullón FJ, Álvarez-García N, Méndez E, Pérez A, et al. Value of exercise echocardiography for predicting mortality in elderly patients. *Eur J Clin Invest*. 2010;40:1122-30.
263. 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). *Circulation*. 2002;106:1883-92.
264. Fletcher BJ, Dunbar SB, Felner JM, Jensen BE, Almon L, Cotsonis G, et al. Exercise testing and training in physically disabled men with clinical evidence of coronary artery disease. *Am J Cardiol*. 1994;73:170-4.
265. Balady GJ, Weiner DS, Rothendeler JA, Ryan TJ. Arm exercise-thallium imaging testing for the detection of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 1987;9:84-8.
266. Martin WH, Xian H, Chandiramani P, Bainter E, Klein AJ. Cardiovascular mortality prediction in veterans with arm exercise vs pharmacologic myocardial perfusion imaging. *Am Heart J*. 2015;170:362-70.
267. Agiovlaitis S, Pitetti KH, Guerra M, Fernhall B. Prediction of VO₂peak from the 20-m shuttle-run test in youth with Down syndrome. *Adapt Phys Activ Q*. 2011;28:146-56.
268. Bricout VA, Flore P, Eberhard Y, Faure P, Guinot M, Favre-Juvin A. Maximal and submaximal treadmill tests in a young adult with fragile-X syndrome. *Ann Readapt Med Phys*. 2008;51:683-7.
269. Flore P, Bricout VA, van Biesen D, Guinot M, Laporte F, Pépin JL, et al. Oxidative stress and metabolism at rest and during exercise in persons with Down syndrome. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2008;15:35-42.
270. Ordoñez FJ, Rosety MA, Diaz AJ, Rosety I, Camacho A, Fornieles G, et al. Lo importante sigue siendo participar: ejercicio y discapacidad intelectual. *Arch Med Deporte*. 2012;148:609-20.
271. Mendonca GV, Pereira FD. Heart rate recovery after exercise in adults with the Down syndrome. *Am J Cardiol*. 2010;105:1470-3.
272. Sionis A, Ruiz-Nodar JM, Fernandez-Ortiz A, Marin F, Abu-Assi E, Diaz-Castro O, et al. Actualización en cardiopatía isquémica y cuidados críticos cardiológicos. *Rev Esp Cardiol*. 2015;68:234-41.
273. Espinosa JS, Montañés D. La prueba de esfuerzo convencional en cardiología: Aspectos generales y metodología. En: Espinosa JS, Sánchez-La Fuente C, eds. *Prueba de esfuerzo cardiaca, respiratoria y deportiva*. Barcelona: Edika Med, 2002;33-52.
274. Hurst JW, Morris DC, Alexander RW. The use of the New York Heart Association's classification of cardiovascular disease as part of the patient's complete Problem List. *Clin Cardiol*. 1999;22:385-90.
275. Ruiz P, Wangüemert F. Sensibilidad y valor predictivo negativo de la ergometría para el diagnóstico de la taquicardia ventricular polimórfica catecolaminérgica. *Rev Esp Cardiol*. 2015;68:544-7.
276. Ferreira-Gonzalez I. Epidemiología de la enfermedad coronaria. *Rev Esp Cardiol*. 2014;67:139-44.
277. Mancia G, Fagard R, Narkiewicz K, Redon J, Zanchetti A, Bohm M, et al. Guía de práctica clínica de la ESH/ESC 2013 para el manejo de la hipertensión arterial. *Rev Esp Cardiol*. 2013;66:880.e1-880.e64.
278. Youn JC, Kang SM. Cardiopulmonary exercise test in patients with hypertension: focused on hypertensive response to exercise. *Pulse (Basel)*. 2015;3:114-7.
279. Zanettini JO, Fuchs FD, Zanettini MT, Zanettini JP. Is hypertensive response in treadmill testing better identified with correction for working capacity? A study with clinical, echocardiographic and ambulatory blood pressure correlates. *Blood Pressure*. 2004;13:225-9.
280. Miyai N, Arita M, Morioka I, Miyashita K, Nishio I, Takeda S. Exercise BP response in subjects with high-normal BP: exaggerated blood pressure response to exercise and risk of future hypertension in subjects with high-normal blood pressure. *J Am Coll Cardiol*. 2000;36:1626-31.
281. McCullough PA, Gallager MJ, Dejon AR, Sandberg KR, Trivax JE, Alexander D, et al. Cardiorespiratory fitness and short-term complications after bariatric surgery. *Chest*. 2006;130:517-25.
282. Eagle KA, Berger PB, Calkins H, Chaitman BR, Ewy GA, Fleischmann KE, et al; American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1996 Guidelines on Perioperative Cardiovascular Evaluation for Noncardiac Surgery). ACC/AHA guideline update for perioperative cardiovascular evaluation for noncardiac surgery—executive summary a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1996 Guidelines on Perioperative Cardiovascular Evaluation for Noncardiac Surgery). *Circulation*. 2002;105:1257-67.
283. McAuley PA, Kokkinos PF, Oliveira RB, Emerson BT, Myers JN. Obesity paradox and cardiorespiratory fitness in 12,417 male veterans aged 40 to 70 years. *Mayo Clin Proc*. 2010;85:115-21.
284. Serra Grima JR. El entrenamiento de las cualidades físicas fuera del ámbito competitivo y en situaciones especiales. En: Serra Grima JR, ed. *Cardiología en el Deporte. Revisión de casos clínicos*. 2ª ed. Barcelona: Elsevier Masson, 2008;118-21.
285. Schaarup C, Hejlesen OK. A multi-method pilot evaluation of an online diabetes exercise system. *Stud Health Technol Inform*. 2015;210:404-8.
286. Wilmore JH, Costill DL. Obesity, diabetes and physical activity. En Wilmore JH, Costill DL, eds. *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics, 1994;508.
287. Rowland TW, Martha PM Jr, Reiter EO, Cunningham LN. The influence of diabetes mellitus on cardiovascular function in children and adolescents. *Int J Sports Med*. 1992;13:431-5.
288. Bhatia LC, Singal R, Jain P, Mishra N, Mehra V. Detection of silent myocardial ischaemia in asymptomatic diabetic patients during treadmill exercise testing. *High Blood Press Cardiovasc Prev*. 2012;19:137-42.
289. Slavich G, Mapelli P, Fregolent R, Slavich M, Tuniz D. Non ST ergometric variables in the diabetic patient and their prognostic significance. *Monaldi Arch Chest Dis*. 2010;74:28-35.
290. Kahn JK, Zola B, Juni JE, Vinik AI. Decreased exercise heart rate and blood pressure response in diabetic subjects with cardiac autonomic neuropathy. *Diabetes Care*. 1986;9:389-94.
291. Chacko KM, Bauer TA, Dale RA, Dixon JA, Schrier RW, Estacio RO. Heart rate recovery predicts mortality and cardiovascular events in patients with type 2 diabetes. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40:288-95.
292. Nylen ES, Kokkinos P, Myers J, Faselis C. Prognostic effect of exercise capacity on mortality in older adults with diabetes mellitus. *J Am Geriatr Soc*. 2010;58:1850-4.
293. Marwick TH, Hordern MD, Miller T, Chyun DA, Bertoni AG, Blumenthal RS, et al; Council on Clinical Cardiology, American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee; Council on Cardiovascular Disease in the Young; Council on Cardiovascular Nursing; Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research. Exercise training for type 2 diabetes mellitus: impact on cardiovascular risk: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2009;119:3244-62.
294. Balady GJ, Chaitman B, Driscoll D, Foster C, Froelicher E, Gordon N, et al. Recommendations for cardiovascular screening, staffing, and emergency policies at health/fitness facilities. *Circulation*. 1998;97:2283-93.
295. Sicari R. Anti-ischemic therapy and stress testing: pathophysiologic, diagnostic and prognostic implications. *Cardiovasc Ultrasound*. 2004;20:2:14.
296. Mooss AN, Prevedel JA, Mohiuddin SM, Hilleman DE, Sketch MH Sr. Effect of digoxin on ST-segment changes detected by ambulatory electrocardiographic monitoring in healthy subjects. *Am J Cardiol*. 1991;68:1503-6.
297. Sketch MH, Moss AN, Butler ML, Nair CK, Mohiuddin SM. Digoxin-induced positive exercise-tests: their clinical and prognostic significance. *Am J Cardiol*. 1981;48:655-69.
298. Shah BR, McCoy LA, Federspiel JJ, Mudrick D, Cowper PA, Masoudi FA, et al. Use of stress testing and diagnostic catheterization after coronary stenting: association of site-level patterns with patient characteristics and outcomes in 247,052 Medicare beneficiaries. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62:439-46.

299. Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal track test. *Can J Appl Sport Sci*. 1980;5:77-84.
300. Meyer T, Welter JP, Scharhag J, Kindermann W. Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2003;88:387-9.
301. Billat VL, Hill DW, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Effect of protocol on determination of velocity at VO₂ max and on its time to exhaustion. *Arch Physiol Biochem*. 1996;104:313-21.
302. García GC, Secchi JD, Antonio JF, Bua N, Santander M, Arcuri CR. Qué utiliza el preparador físico en el campo: el VO₂ máx., la velocidad aeróbica máxima o la velocidad final alcanzada: *EF Deportes.com Revista Digital*. 2015; 20(206).
303. Pugh LG. The influence of wind resistance in running and walking and the mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces. *J Physiol*. 1971;213:255-76.
304. Hollmann W, Heck H. Principios de la ergoespirometría. En: Rittel HF, ed. *Sistema cardiorespiratorio y deporte*. Vol. 2. Cali (Colombia). Copiservicio. 1980.
305. Storer TW, Davis JA, Caiozzo VJ. Accurate prediction of VO₂max in cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22:704-12.
306. Neumann G. Capacidad de rendimiento. En: Dirix A, Knuttgen HG, Tittel K, eds. *Libro olímpico de la Medicina Deportiva. Enciclopedia de la medicina deportiva*. Vol 1. Barcelona: Doyma, 1988;99-110.
307. Swain DP, Abernathy KS, Smith CS, Lee SJ, Bunn SA. Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Med Sci Sports Exerc*. 1994;26:112-6.
308. Cazorla G, Leger L. *Comment évaluer et développer vos capacités aérobies*. AREAPAC. 1993.
309. Péronnet F, Thibault G. Mathematical analysis of running performance and world running records. *J Appl Physiol* (1985). 1989;67:453-65.
310. García Verdugo M, Leibar X. *Entrenamiento de la resistencia de los corredores de medio fondo y fondo*. Madrid: Gymnos, 1997;85.
311. Esteve-Lanao J, Lucia A, de Koning JJ, Foster C. How do humans control physiological strain during strenuous endurance exercise? *PLoS One*. 2008;3:e2943.
312. Leger L, Mercier D, Gauvin L. The relationship between % VO₂máx and running performance time. En: Landers DM, ed. *Sport and elite performers*. Vol 3. Champaign: Human Kinetics, 1986;113-20.
313. Bannister EW. Modeling elite athletic performance. En: Green HJ, McDougal JD, Wenger H, eds. *Physiological testing of elite athletes*. Champaign: Human Kinetics, 1991;403-24.
314. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res*. 2001;15:109-15.
315. American College of Sports Medicine. *ACSM's guidelines manual for exercise testing and prescription*. 7th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2014;464-79.
316. Rodríguez FA. Prescripción de ejercicio y actividad física en personas sanas (I). Principios generales. *Atención Primaria*. 1995;15:68-72.
317. Galilea PA, Riera J, Drobnic F. Curvas de lactato en prueba incremental. Metodología. Umbrales lácticos. Significado fisiológico y aplicaciones al entrenamiento. En: Naranjo Orellana J, Santalla Hernández A, Manonelles Marqueta P, eds. *Valoración del rendimiento del deportista en laboratorio*. Barcelona: Esmor Publicidad, 2013;347-57.
318. Bouchard C, Shephard RJ, Stephens T, Sutton JP, McPherson BD. *Exercise, fitness and health*. Champaign: Human Kinetics, 1990;75-102.
319. Taylor RS, Brown A, Ebrahim S, Jolliffe J, Noorani H, Rees K, et al. Exercise-based rehabilitation for patients with coronary heart disease: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Med*. 2004;116:682-92.
320. Schmitz KH, Courneya KS, Matthews C, Demark-Wahnefried W, Galvão DA, Pinto BM, et al; American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine roundtable on exercise guidelines for cancer survivors. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42:1409-26.
321. Agustí A, Cotes J, Wagner PD. Responses to exercise in lung diseases. En: Roca J, Whipp B, eds. *Exercise testing*. Sheffield. European Respiratory Monograph, 1997;2:32-50.
322. Subirats E, Subirats G, Soteras I. Prescripción de ejercicio físico: indicaciones, posología y efectos adversos. *Med Clin*. 2012;138:18-24.
323. Mercier J, Pérez-Martín A, Bigard X, Ventura R. Muscle plasticity and metabolism effects of exercise and chronic diseases. *Mol Asp Med*. 1999;20:319-73.
324. Swain DP, Leutholtz BC. Exercise prescription. *A case study approach to the ACSM Guidelines*. Champaign: Human Kinetics, 2007;116-7.
325. Ekkekakis P. Let them roam free? Physiological and psychological evidence for the potential of self-selected exercise intensity in public health. *Sports Med*. 2009;39:857-88.
326. Doñate M. Valoración funcional y prescripción de ejercicio en pacientes con cardiopatía. *Arch Med Deporte*. 2013;156:221-6.
327. Franco L, Rubio FJ. Sedentarismo, actividad física y riesgo cardiovascular. En: Millán J, ed. *Medicina Cardiovascular. Arterioesclerosis*. Tomo I. Barcelona: Masson, 2005;445-53.
328. Karvonen M, Vuorima T. Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Med*. 1989;5:303-12.
329. Morgan F, Battersby A, Weightman AL, Searchfield L, Turley R, Morgan H, et al. Adherence to exercise referral schemes by participants - what do providers and commissioners need to know? A systematic review of barriers and facilitators. *BMC Public Health*. 2016 5;16:227.
330. Farrance C, Tsofiou F, Clark C. Adherence to community based group exercise interventions for older people: A mixed-methods systematic review. *Prev Med*. 2016;87:155-66.
331. Huberty JL, Ransdell LB, Sidman C, Flohr JA, Shultz B, Grosshans O, et al. Explaining long-term exercise adherence in women who complete a structured exercise program. *Res Q Exerc Sport*. 2008;79:374-84.
332. Sallis JF, Howell MF. Determinants of exercise behaviors. *Exerc Sport Sci Rec*. 1990;18:307-30.
333. Romain AJ, Quéré YA, Roy M, Clotet L, Catherine B, Attalin V, Sultan A, et al. Le test de marche de 6 minutes: un outil pour augmenter la motivation et le niveau d'activité physique chez des personnes en surcharge pondérale. *Nutrition Clin Métab*. 2014;28(Suppl 1):S139-S140.
334. Organización Mundial de la Salud. *Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud*. Noviembre. 2010.
335. Kokkinos P, Myers J. Exercise and physical activity: clinical outcomes and applications. *Circulation*. 2010;122:1637-48.
336. Pedersen BK, Saltin B. Exercise as medicine - evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25(Suppl 3):1-72.
337. Gibbons RJ, Balady GJ, Beasley JW, Bricker JT, Duvernoy WF, 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;30:260-311.
338. 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.
339. Tomten SE, Kjeldsen SE, Nilsson S, Westheim AS. Effect of alpha 1-adrenoceptor blockade on maximal VO₂ and endurance capacity in well-trained athletic hypertensive men. *Am J Hypertens*. 1994;7:603-8.
340. Sui X, LaMonte MJ, Blair SN. Cardiorespiratory fitness and risk of nonfatal cardiovascular disease in women and men with hypertension. *Am J Hypertens*. 2007;20:608-15.
341. Weiss SA, Blumenthal RS, Sharrett AR, Redberg RF, Mora S. Exercise blood pressure and future cardiovascular death in asymptomatic individuals. *Circulation*. 2010;121:2109-16.
342. Weber KT, Janicki JS. Equipment and protocol to evaluate the exercise response. En: Weber KT, Janicki JS, eds. *Cardiopulmonary exercise testing: physiologic principles and clinical applications*. Philadelphia: WB Saunders, 1986;139-50.
343. Tan S, Wang J, Cao L. Exercise training at the intensity of maximal fat oxidation in obese boys. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2016;41:49-54.
344. Ho PM, Maddox TM, Ross C, Rumsfeld JS, Magid DJ. Impaired chronotropic response to exercise stress testing in patients with diabetes predicts future cardiovascular events. *Diabetes Care*. 2008;31:1531-3.
345. Gardner AW, Afaq A. Management of lower extremity peripheral arterial disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2008;28:349-57.
346. Green DJ. Exercise training as vascular medicine: direct impacts on the vasculature in humans. *Exerc Sport Sci Rev*. 2009;37:196-202.
347. McDermott MM, Tian L, Liu K, Guralnik JM, Ferrucci L, Tan J, et al. Prognostic value of functional performance for mortality in patients with peripheral artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 2008;51:1482-9.
348. Jacobs DR Jr, Burke GL, Liu K, Cutter G, Hughes G, Hulley S, et al. Relationships of low density lipoprotein cholesterol with age and other factors: a cross-sectional analysis of the CARDIA study. *Ann Clin Res*. 1988;20:32-8.
349. Balady GJ, Larson MG, Vasan RS, Leip EP, O'Donnell CJ, Levy D. Usefulness of exercise testing in the prediction of coronary disease risk among asymptomatic persons as a function of the Framingham risk score. *Circulation*. 2004;110:1920-5.
350. Monda KL, Ballantyne CM, North KE. Longitudinal impact of physical activity on lipid profiles in middle-aged adults: the Atherosclerosis Risk in Communities Study. *J Lipid Res*. 2009;50:1685-91.
351. Achten J, Jeukendrup AE. Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition*. 2004;20:716-27.
352. Terrados N. Metabolismo energético durante la actividad física. En: J. Gonzalez-Gallego, ed. *Fisiología de la actividad física y del deporte*. Madrid. McGraw-Hill Interamericana. 1992;75-94.
353. Terrados N. Effects of aerobic training in midlife populations. En: Gordon SL, González-Mestre X, Garret WE, eds. *Sports and exercise in midlife*. Rosemont: American Academy of Orthopaedic Surgeons Publ, 1993;309-15.

Anexo 1.1. Material de emergencia médica. Carro de paro cardiaco

1. Desfibrilador con cable DEA/marcapasos conectado. Papel de impresora del desfibrilador. Pegados del DEA de recambio. Electrodo.
2. Material convencional para curas: gasas, esparadrapo, vendas, apósito para vía periférica, Mefix®, clorhexidina, guantes de látex y vinilo de tallas pequeña, media y grande, contenedor de agujas.
3. Medicamentos:
 - 3.1. Medicación de paro cardiaco:
 - Epinefrina 1 mg/1 ml.
 - Trifosfato de adenosina 6 mg/2 ml.
 - Lidocaína 2%.
 - Hidrocortisona 500 mg y agua destilada.
 - Amiodarona 150 mg/3 ml.
 - Etomidato 20 mg/10 ml.
 - Flumazenilo 1 mg/10 ml.
 - Glucosa al 33% 10 ml.
 - Naloxona 0,4 mg/ml.
 - Midazolam 5 mg/5 ml.
 - Propofol al 1% 20 ml.
 - 3.2. Medicación pre- y posparo cardiaco:
 - Biperideno.
 - Diazepam 10 mg/2 ml.
 - Digoxina 0,25 mg/ml.
 - Dobutamina 250 mg/20 ml.
 - Dopamina 200 mg/5 ml.
 - Furosemida.
 - Metilprednisolona 40 mg/2 ml.
 - Nitroglicerina 50 mg/10 ml.
 - Cloruro cálcico al 10% 10 ml.
 - Salbutamol (nebulización).
 - Sulfato de magnesio al 15% 10 ml.
 - Cloruro mórfico al 1%.
 - Disolvente: solución salina fisiológica 10 cc.
 - Antiemético: metoclopramida ampollas de 2 ml = 10 mg.
 - En una nevera: cisatracurio 10 mg/5 ml y succinilcolina 100 mg/2 ml.
 - 3.3. Soporte circulatorio:
 - Palometas del número 21.
 - Bránulas de los números 16, 18, 20 y 22.
 - Agujas intravenosas.
 - Jeringas desechables de 1, 5, 10 y 20 ml.
 - Equipos de suero para gotas y microgotas.
 - Dosi-Flow®.
 - Alargadera y llave de tres vías.
 - Equipo IVAC 591.
 - Adaptador Venoject® y Vacutainer®.
 - Tapones rojos.
 - Tubo analítico.
 - Solución salina glucosada al 5%, 10% y 50%.
 - Solución salina fisiológica al 0,9%.
 - Voluven® 6% 500 cc.
 - Bicarbonato sódico 1 M 250 cc.
 - 3.4. Soporte aéreo:
 - Laringoscopia y palas. Pilas nuevas y bombilla de recambio.
 - Mandril o fiador.
 - Pinza de Magill.
 - Lubricante de silicona.
 - Jeringas de 20 y 50 ml.
 - Vendas.
 - Tubo de Guedel de los números 2, 3, 4 y 5.
 - Tubos orotraqueales o máscaras laríngeas: 6,5, 7, 7,5, 8 y 8,8.
 - Toma de oxígeno.
 - VMK adulto.
 - VMK reservorio.
 - Cámara nebulizadora.
 - Sondas de aspiración de los números 13 y 14.
 - Sonda nasogástrica de Salem del número 18.
 - Ambú, filtro y conexión a oxígeno montados.
 - Mascarillas de ambú de los números 3, 4 y 5.
 - Bombona de oxígeno.
 - Aspirador.

Anexo 1.2. Material de emergencia médica. Básico

1. Desfibrilador con cable DEA/marcapasos conectado. Papel de impresora del desfibrilador. Pegados del DEA de recambio. Electrodo.
2. Material convencional para curas: gasas, esparadrapo, vendas, apósito para vía periférica, Mefix®, clorhexidina, guantes de látex y vinilo de tallas pequeña, media y grande, contenedor de agujas.
3. Medicamentos:
 - 3.1. Medicación de paro cardíaco:
 - Epinefrina 1 mg/1 ml.
 - Atropina 1 mg/1 ml.
 - Lidocaína al 2%.
 - Amiodarona 150 mg/3 ml.
 - 3.2. Medicación pre- y posparo cardíaco:
 - Diazepam 10 mg/2 ml.
 - Metilprednisolona 40 mg/2 ml.
 - Nitroglicerina en spray.
 - Salbutamol (nebulización).
 - Ácido acetilsalicílico 100-300 mg.
 - 3.3. Soporte circulatorio:
 - Bránulas de los números 18 y 20.
 - Agujas intravenosas.
 - Jeringas desechables de 1, 5, 10 y 20 ml.
 - Solución salina glucosada al 5%.
 - 3.4. Soporte aéreo:
 - Tubos de Guedel de los números 2, 3, 4 y 5.
 - Máscaras laríngeas: 4, 5.
 - VMK adulto o gafas nasales.
 - Sondas de aspiración de los números 13 y 14.
 - Ambú, filtro y conexión a oxígeno montados.
 - Mascarillas de ambú de los números 3, 4 y 5.
 - Bombona de oxígeno.
 - Aspirador.

Anexo 1.3. Documento de consentimiento informado para la prueba de esfuerzo

Nombre y descripción del procedimiento: PRUEBA DE ESFUERZO

Es una prueba que tiene dos motivos fundamentales de realización. En primer lugar, con fines diagnósticos o pronósticos para pacientes con enfermedades del corazón o con sospecha de enfermedad de las arterias coronarias. En segundo lugar, con fines de valoración funcional de la respuesta al ejercicio físico, en deportistas y otros practicantes de actividad física, deportiva o no. En ambos casos, la prueba de esfuerzo permite comprobar la respuesta del corazón al ejercicio físico controlado (ergometría). Sirve además para valorar la capacidad global de su organismo ante dicho esfuerzo y poder medir, si procede, el consumo de oxígeno respirado.

Se realiza caminando sobre una cinta rodante, pedaleando en bicicleta ergométrica o en un ergómetro específico. Mientras tanto, se aumenta progresivamente la velocidad, la pendiente o ambas de la cinta, o el nivel de carga de la bicicleta o del ergómetro, en periodos de tiempo determinados. Durante toda la exploración se controlan la presión arterial, la frecuencia del pulso y el electrocardiograma, para analizar sus variaciones. La prueba se detendrá si aparecieran síntomas o signos alarmantes.

Alternativas razonables

Es prácticamente imposible valorar la situación funcional en esfuerzo de una persona sin someterla a un esfuerzo programado. No obstante, se pueden obtener datos de forma indirecta o con otras exploraciones como electrocardiograma, pruebas isotópicas, etc. Sin embargo, esta exploración está indicada preferentemente en su caso.

Consecuencias seguras

El esfuerzo provocará cansancio y sudoración en relación con la intensidad del esfuerzo realizado. Podría haber algunas molestias musculares.

Riesgos

Cansancio muscular, mareo, angina de pecho, dolor en las piernas o signos (hipertensión arterial) que se aliviarán o desaparecerán al cesar la actividad física. En ciertos casos, especialmente en enfermedad coronaria importante y otras cardiopatías, pudieran presentarse trastornos del ritmo cardiaco graves, síncope y muy ocasionalmente infarto de miocardio o insuficiencia cardiaca. El riesgo de muerte es excepcional (1 por 10.000).

En su actual estado clínico, los beneficios derivados de la realización de esta prueba superan los posibles riesgos. Por este motivo se le indica la conveniencia de que le sea practicada. Si aparecieran complicaciones, el personal médico y de enfermería que le atiende está capacitado y dispone de los medios para tratar de resolverlas.

Riesgos personalizados

Declaración del paciente

El médico que firma este documento me ha informado de forma satisfactoria sobre el objetivo del procedimiento a realizar, en qué consiste y la forma en que se va a llevar a cabo. Me ha informado sobre las consecuencias relevantes o de importancia del procedimiento. Me ha informado sobre los riesgos típicos del procedimiento, así como de los que, aun siendo infrecuentes pero no excepcionales, tienen la consideración clínica de muy graves. También he sido informado de los riesgos personalizados según mis propias características y, a criterio del facultativo, de las molestias probables del procedimiento y de sus consecuencias.

Declaro haber recibido información acerca de los extremos indicados en los apartados anteriores, así como de alternativas diferentes al procedimiento, con pros y contras, para que, con esta información, participe en la elección del procedimiento a realizar, siendo el más adecuado a mis preferencias.

Estoy satisfecho con la información recibida, he obtenido información sobre las dudas que he planteado y conozco la posibilidad de revocar en cualquier momento el consentimiento sin expresión de causa. Por todo ello, expreso mi consentimiento para someterme al procedimiento.

Consentimiento a través de representante legal (incapacidad del paciente)

Como representante legal del paciente he sido informado de todos los puntos que figuran en este documento de consentimiento informado y doy mi consentimiento para la realización del procedimiento.

Fecha: _____

<p>Paciente: Nombre:</p> <p>DNI:</p> <p>Firmado:</p>	<p>Médico: Nombre:</p> <p>Nº Colegiado:</p> <p>Firmado:</p>	<p>Testigo: Nombre:</p> <p>DNI:</p> <p>Firmado:</p>	<p>Representante legal: Nombre:</p> <p>DNI:</p> <p>Firmado:</p>
---	--	--	--

Revocación del consentimiento

Tras ser informado de la naturaleza y riesgos del procedimiento manifiesto, sin expresión de causa, mi denegación/revocación (tachar lo que no proceda) para la realización del procedimiento descrito, haciéndome responsable de las consecuencias que se puedan derivar de esta decisión.

Fecha: _____

<p>Paciente: Nombre:</p> <p>DNI:</p> <p>Firmado:</p>	<p>Médico: Nombre:</p> <p>Nº Colegiado:</p> <p>Firmado:</p>	<p>Testigo: Nombre:</p> <p>DNI:</p> <p>Firmado:</p>	<p>Representante legal: Nombre:</p> <p>DNI:</p> <p>Firmado:</p>
---	--	--	--

Listado de autores

Pedro Manonelles Marqueta (Coordinador)

Doctor por la Universidad de Zaragoza. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Director y Catedrático Extraordinario de la Cátedra Internacional de Medicina del Deporte de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM). Murcia.

Daniel Brotons Cuixart

Doctor en Medicina. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Adjunto de la Unidad de Deporte y Salud. Consejo Catalán del Deporte. Generalitat de Catalunya. Unidad de Medicina del Deporte de Ergodinámica Clínica y Clínica Diagonal. Barcelona.

José Calabuig Nogués

Especialista en Cardiología. Director de Cardiología Intervencionista. Clínica Universidad de Navarra. Profesor de Cardiología y de Medicina del Deporte. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra. Pamplona.

Carmen Calderón Soto

Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Jefa de la Unidad de Medicina del Deporte del Centro de Alto Rendimiento de Sierra Nevada. Consejo Superior de Deportes. Granada.

Carlos De Teresa Galván

Asesor Médico del Deporte del Centro Andaluz de Medicina del Deporte (CAMD). Profesor del Departamento de Fisiología. Universidad de Granada. Granada.

Miguel Del Valle Soto

Catedrático de la Facultad de Medicina. Universidad de Oviedo. Oviedo.

Vicente Elías Ruiz

Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Médico del Centro de Tecnificación Deportiva (CTD). Gobierno de La Rioja. Logroño.

Luis Franco Bonafonte (Coordinador)

Doctor en Medicina. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Unidad de Medicina del Deporte. Hospital Universitario Sant Joan de Reus. Profesor Asociado. Facultad de Medicina. Universidad Rovira i Virgili. Reus (Tarragona).

Piero Galilea Ballarini

Médico. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Médico del Departamento de Fisiología del Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat del Vallés. Profesor de la Escuela de Medicina del Deporte de Barcelona. Profesor de Fisiología del Esfuerzo de la Escuela de Fisioterapia Gimbernat. Médico de la Clínica Mapfre de Medicina del Tenis. Barcelona.

Mercedes Galindo Canales

Doctora en Medicina. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Médico del Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad Politécnica de Madrid. Profesora de la Escuela Profesional de Medicina de la Educación Física y el Deporte de la Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

Fernando Gutiérrez Ortega

Médico Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Director del Centro de Medicina del Deporte de la Agencia Española de Protección de la Salud en el Deporte (AEPSAD). Madrid.

Fernando Huelin Trillo

Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Director del Servicio de Medicina del Deporte del Centro Galego de Tecnificación Deportiva (CGTD) de Pontevedra. Pontevedra.

Ricardo Jiménez Mangas

Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Entrenador Nacional de Atletismo. Responsable de la Unidad de Medicina del Deporte del Hospital Quirón-Salud de San Sebastián. San Sebastián (Guipúzcoa).

Emilio Luengo Fernández

Cardiólogo. Director de la Escuela de Cardiología del Deporte de la Sociedad Española de Medicina del Deporte. Zaragoza.

Begoña Manuz González

Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Centro Médico Deportivo - B. Manuz. Torrelavega (Cantabria).

José Naranjo Orellana (Coordinador)

Doctor en Medicina. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Profesor Titular de Fisiología del Ejercicio. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla.

Fabio Pigozzi

Rector y Profesor de Medicina Interna. Universidad de Roma Foro Italico. Presidente de la Federación Internacional de Medicina del Deporte (FIMS). Roma, Italia.

Juan Ribas Serna

Catedrático de Fisiología. Departamento de Fisiología Médica y Biofísica. Facultad de Medicina. Sevilla.

Francisco Javier Rubio Pérez

Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Unidad de Medicina del Deporte. Hospital Comarcal de Amposta-Centre de Tecnificació Esportiva Amposta. Unidad de Medicina del Deporte. Hospital Universitario Sant Joan de Reus. Profesor Asociado. Facultad de Medicina. Universidad Rovira i Virgili. Reus (Tarragona).

Luis Segura Casado

Médico. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Servicio de Medicina Deportiva. Ayuntamiento de Tudela. Tudela (Navarra).

Nicolás Terrados Cepeda

Doctor en Medicina y Cirugía. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Director de la Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias-Fundación Deportiva Municipal de Avilés. Profesor Asociado, Departamento de Biología Funcional. Universidad de Oviedo. Oviedo (Asturias).

Carmen Vaz Parda

Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Centro Andaluz de Medicina del Deporte. Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Cádiz.

Hoja de inscripción a SEMED-FEMEDE 2017

Nombre Apellidos DNI

Calle N° C.P.

Población Provincia

Tel. Fax e-mail Titulación

La cuota anual de SEMED-FEMEDE

- 75€**
 Incluye la recepción de los seis números anuales de la **Revista Archivos de Medicina del Deporte** y pertenecer a SEMED-FEMEDE
- 99€**
 Incluye lo anterior y pertenecer a una Asociación regional que rogamos señale a continuación
- Andalucía (AMEFDA) Canarias Cataluña EKIME (P. Vasco)
- Andalucía (SAMEDE) Cantabria Galicia Rioja
- Aragón Castilla La Mancha Murcia Valencia
- Baleares Castilla León Navarra
- 30€**
 Estudiantes de Ciencias de la Salud (a justificar)
 MIR en Medicina del Deporte (a justificar)

Orden de pago por domiciliación bancaria

Nombre y apellidos DNI

Sr. Director del Banco o Caja

Oficina Sucursal Calle N°

Población Provincia C.P.

Le ruego cargue anualmente en mi cuenta N°

Entidad	Oficina	D.C.	N° Cuenta o Libreta
---------	---------	------	---------------------

Firma titular

Fecha

RECORTE POR LA LÍNEA DE PUNTOS Y ENVÍE EL BOLETÍN A LA SIGUIENTE DIRECCIÓN

Sociedad Española de Medicina del Deporte: Apartado 1207 - 31080 Pamplona (España). Fax: 948 171 431.

Hoja de suscripción a Archivos de Medicina del Deporte 2017

Importe suscripción (Dto. librerías 20%)

100€ España (IVA incluido) 150€ Ultramar por barco Deseo recibir un ejemplar de muestra sin cargo

110€ Europa 200€ Ultramar aéreo

Para suscripciones institucionales consultar precios

Dirección de envío

Nombre Apellidos DNI

Calle N° Piso C.P.

Población Provincia País

Tel. Fax E-mail Especialidad.....

Forma de pago

Adjunto cheque n° a nombre de Esmon Publicidad por euros.

Transferencia bancaria Domiciliación bancaria

Titular DNI

Entidad	Oficina	D.C.	N° Cuenta o Libreta
---------	---------	------	---------------------

Firma titular

Fecha



RECORTE POR LA LÍNEA DE PUNTOS Y ENVÍE EL BOLETÍN A LA SIGUIENTE DIRECCIÓN

Archivos de Medicina del Deporte: Balmes 209, 3º 2ª. 08006 Barcelona. Tel: +34 93 2159034



UCAM Universidad Católica San Antonio de Murcia

Campus de los Jerónimos,
Nº 135 Guadalupe 30107

(Murcia) - España

Tlf: (+34)968 27 88 01 · info@ucam.edu



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA

