

Este informe recoge la opinión colectiva de un grupo internacional de especialistas y no representa necesariamente el criterio ni la política de la Organización Mundial de la Salud.

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

SERIE DE INFORMES TECNICOS

Nº 388

LAS PRUEBAS DE ESFUERZO Y LA FUNCION CARDIOVASCULAR

Informe de una reunión de la OMS

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

GINEBRA

1968

© Organización Mundial de la Salud, 1968

Las publicaciones de la Organización Mundial de la Salud están acogidas a la protección prevista por las disposiciones sobre reproducción de originales del Protocolo 2 de la Convención Universal sobre Derecho de Autor. Ello no obstante, los organismos gubernamentales, las sociedades culturales y científicas y las asociaciones profesionales pueden reproducir ilustraciones, datos o extractos de esas publicaciones sin necesidad de pedir autorización a la Organización Mundial de la Salud.

Las entidades interesadas en reproducir o traducir íntegramente alguna publicación de la OMS deberán solicitar la oportuna autorización de la División de Servicios de Edición y de Documentación, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. La Organización Mundial de la Salud dará a esas solicitudes consideración muy favorable.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que se presentan los datos que contiene no implican, por parte del Director General de la Organización Mundial de la Salud, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países o territorios citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o del nombre comercial de ciertos productos no implica que la OMS los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos. Salvo error u omisión, las marcas registradas de artículos o productos de esta naturaleza se distinguen en las publicaciones de la OMS por una letra inicial mayúscula.

PRINTED IN SWITZERLAND

INDICE

	Página
Introducción	5
Definición de buen estado físico	6
Pruebas de esfuerzo	7
Aplicaciones	7
Limitaciones	8
Pronóstico de la cardiopatía coronaria	8
Métodos	9
Tipos de ejercicio	10
Intensidad, duración y carga	13
Preparación para la prueba	16
Contraindicaciones y precauciones	16
Mediciones	17
Interpretación de los resultados	21
Relación entre las pruebas de esfuerzo y otras actividades	22
Empleo de las pruebas de esfuerzo en la rehabilitación	24
Actividad física habitual	25
Métodos de medición	26
Recomendaciones	29
Anexo. Publicaciones sobre los distintos tipos de pruebas de esfuerzo	30

REUNION DE LA OMS SOBRE LAS PRUEBAS DE ESFUERZO
Y LA FUNCION CARDIOVASCULAR

Ginebra, 25-30 de septiembre de 1967

Miembros :

Prof. H. Denolin, Chef du Département de Cardiologie, Hôpital universitaire Saint-Pierre, Bruselas, Bélgica

Dr. S. Fox, Chief, Heart Disease Control Program, US Public Health Service, Washington, D.C., Estados Unidos de América (*Presidente*)

Dr. R. Goldsmith, Senior Lecturer, Department of Physiology, Marischal College, University of Aberdeen, Escocia

Dr. H. K. Hellerstein, Associate Professor of Medicine, Western Reserve University School of Medicine, Cleveland, Ohio, Estados Unidos de América

Prof. K. Lange-Andersen, Director de la Escuela de Fisioterapia, Oslo, Noruega (*Vicepresidente*)

Dr. R. J. Shephard, Professor of Applied Physiology, School of Hygiene, University of Toronto, Ont., Canadá (*Relator*)

Dr. E. Varnauskas, Profesor Adjunto de Medicina, Facultad de Medicina, Universidad de Gothenburg, Suecia

Secretaría :

Dr. Z. Fejfar, Jefe del Servicio de Enfermedades Cardiovasculares, Ginebra (*Secretario*)

LAS PRUEBAS DE ESFUERZO Y LA FUNCION CARDIOVASCULAR

Informe de una reunión de la OMS

En Ginebra se celebró del 25 al 30 de septiembre de 1967 una reunión de la OMS sobre las pruebas de esfuerzo y la función cardiovascular. Fue elegido Presidente el Dr. S. Fox, Vicepresidente el Dr. K. Lange-Andersen y Relator el Dr. R. J. Shephard.

INTRODUCCION

El buen estado físico, que se caracteriza por la reacción óptima ante los estímulos del medio ambiente, es un importante factor de bienestar mental, físico y social y puede retrasar el envejecimiento. Unido a la salud física, constituye una importante ventaja para la realización de determinados trabajos.

En las sociedades modernas, las características y la intensidad de la actividad física están experimentando una clara evolución y en los medios más industrializados cada vez es menos necesario el esfuerzo muscular; en cambio, en las sociedades en desarrollo esta evolución ya no es tan clara. Un aspecto importante de este fenómeno son las repercusiones que puede tener sobre la salud. Cabe preguntarse si la disminución de la actividad no repercutirá sobre la aptitud física del sujeto, reduciendo al mismo tiempo la resistencia a las infecciones, a los tóxicos, al calor y al frío y a otros factores exteriores. Cabe preguntarse asimismo si el aumento del número de cardíacos entre los hombres de edad madura no estará relacionado con la disminución de la actividad física y, si éste es el caso, habrá que tratar de poner remedio a esta situación.

No es nada fácil resolver estos problemas a causa de la insuficiencia de nuestros conocimientos sobre 1) las relaciones entre el hombre y su medio ambiente total; 2) la actividad física habitual y su influencia sobre el buen estado físico y sobre la incidencia de las cardiopatías, y 3) la relación existente entre el entrenamiento físico y la aparición y el pronóstico de las cardiopatías. Además, no existe ninguna técnica universalmente aceptada para evaluar el estado físico de los sujetos sanos o enfermos.

Por todas estas razones la OMS ha convocado una reunión de expertos a la que ha confiado la misión de evaluar las pruebas de esfuerzo y las técnicas de medición de la actividad física habitual en el sujeto sano y en

el cardiópata. El primer objetivo del grupo era recomendar técnicas normalizadas y fidedignas que puedan utilizar todos los clínicos e investigadores que deseen evaluar el estado físico y la actividad física habitual en sujetos normales y en enfermos cardíacos.¹

DEFINICION DEL BUEN ESTADO FISICO

El buen estado físico es la capacidad para realizar satisfactoriamente un trabajo muscular en determinadas condiciones ; para evaluarlo se tendrán en cuenta :

- a) la intensidad, la duración y la naturaleza del esfuerzo máximo que el sujeto puede resistir ;
- b) las relaciones entre el nivel de esfuerzo submáximo y la reacción del organismo a dicho esfuerzo ;
- c) el tiempo de recuperación del sistema cardiorrespiratorio después de un esfuerzo máximo o submáximo, y
- d) el grado de fatiga después de una actividad prolongada.

Varios índices del buen estado físico (v. g., potencia aerobia, potencia y capacidad anaerobias) se pueden expresar en términos fisiológicos. Sabido es que sobre la potencia aerobia influyen distintos elementos del sistema de transporte de oxígeno (pulmones, aparato cardiovascular, masa hemoglobínica, volumen sanguíneo, musculatura esquelética y sistemas enzimáticos), pero se conocen mal los factores que influyen sobre la potencia y la capacidad anaerobia.

En un ejercicio de breve duración con un esfuerzo máximo de menos de un minuto intervienen sobre todo la potencia y la capacidad anaerobias. Si el ejercicio es algo más prolongado (esfuerzo máximo de un minuto a una hora), el principal factor limitante es probablemente la potencia aerobia. En los ejercicios prolongados (con un esfuerzo intenso de más de una hora de duración), la potencia aerobia pierde importancia y adquieren cada vez más influencia la nutrición muscular, la circulación local, la termorregulación y el equilibrio humoral. Pero independientemente de la duración del esfuerzo, el nivel de aptitud física está además supeditado a

¹ Los distintos aspectos de la relación entre el estado del aparato cardiovascular y la aptitud física se tratan en las siguientes publicaciones : 1) *Proceedings of the International Symposium on Physical Activity and Cardiovascular Health, Toronto, October, 1966*. En : *Canad. med. Ass. J.*, **96**, 695. 2) American Heart Association, Committee on Electrocardiography (1967) *Circulation*, **35**, 583. 3) Karvonen, M. y Keys, A., ed. (1967) *Proceedings of the Helsinki Conference on Physical Activity and the Heart*, Springfield, Ill., Thomas. 4) Informe sobre la reunión de la Sociedad Internacional de Cardiología, Makarska, Yugoslavia, Septiembre de 1963, en : *Acta Cardiol. (Brux.)*, 1964, **19**, 305. 5) Cumming, G. R. (1968) *Circulation*, **37**, 4.

otros factores (motivación, habilidad y diversos factores ambientales) y puede estar reducido por la presencia de síntomas clínicos subjetivos u objetivos.

En la práctica, los resultados obtenidos en el curso de un ejercicio de duración media pueden emplearse para calcular la aptitud para realizar un trabajo de mayor duración.

PRUEBAS DE ESFUERZO

Aplicaciones

Las pruebas de esfuerzo se utilizan mucho, tanto en el ejercicio práctico de la medicina como en la investigación y, aunque en modo alguno pueden reemplazar a la exploración y el juicio clínico, proporcionan informaciones complementarias indispensables. En general se emplean para evaluar :

- 1) La aptitud para el trabajo, el deporte u otras actividades.
- 2) El estado funcional del sistema cardiovascular y respiratorio en los sujetos sanos y enfermos, es decir *a*) el estado actual de determinadas respuestas específicas, y *b*) la probabilidad de que se desarrolle una enfermedad o su pronóstico en caso de que ya exista.
- 3) El efecto de las medidas preventivas, terapéuticas y de rehabilitación (medicación, intervenciones quirúrgicas, entrenamiento físico, etc.).

Estas pruebas sirven además para tranquilizar a los enfermos y estimularles a que tomen las medidas necesarias para mejorar su estado de salud.

Aun cuando las pruebas de esfuerzo pueden proporcionar útiles informaciones sobre todas las cuestiones antes mencionadas, hasta ahora apenas se han utilizado más que para la investigación en sujetos sanos y, en la práctica clínica, para el diagnóstico y la evaluación de las cardiopatías coronarias. El hecho de que su empleo clínico no se haya generalizado más se debe a las siguientes razones :

- 1) Nunca se ha podido establecer un diálogo eficaz entre fisiólogos y médicos.
- 2) Los fisiólogos han introducido gran número de métodos diversos, con frecuencia sin ponerse de acuerdo sobre la terminología, las técnicas operatorias o la interpretación. Existe además gran escasez de material idóneo y de personal suficientemente capacitado.
- 3) En general, el clínico estudia las respuestas electrocardiográficas al esfuerzo mediante pruebas de intensidad invariable o mal graduada, que se han revelado inadecuadas para la evaluación del buen estado físico y han defraudado las esperanzas puestas en ellas. Hace muy poco tiempo que los clínicos y epidemiólogos han empezado a valerse de las pruebas de

esfuerzo ideadas por los fisiólogos para explorar el estado de los sujetos normales y de los cardiópatas.

Muchas de las pruebas utilizadas por los clínicos y epidemiólogos son asimismo aplicables a la investigación, ya que los principios en que se basan no varían. No obstante, lo más probable es que esta última actividad requiera técnicas más perfeccionadas y complejas; por ejemplo, mientras que el investigador calcula la potencia aerobia máxima midiendo directamente el consumo máximo de oxígeno, en la práctica clínica y en los estudios epidemiológicos puede resultar más práctico evaluar el estado físico midiendo las modificaciones de la frecuencia cardiaca ante esfuerzos submáximos concretos.

Limitaciones

Las pruebas de esfuerzo sirven para evaluar la aptitud física, pero no tienen en cuenta las motivaciones ni los factores afectivos y ambientales que influyen sobre la salud, el curso de la enfermedad y el rendimiento en los deportes o en otras actividades. Tampoco permiten medir las reservas globales del sujeto a lo largo de la vida ni prever las posibles variaciones de su estado físico o la interacción de enfermedades, tensiones afectivas o agresiones del medio.

Una sola prueba no indica si un sujeto determinado va a tolerar un esfuerzo dado durante los meses o años siguientes; por ello, se recomienda repetir periódicamente las pruebas.

Las pruebas de aptitud física no son específicas y pueden dar resultados similares en sujetos con enfermedades cardiacas de distintas etiologías, así como en individuos en malas condiciones físicas o desentrenados, y en personas angustiadas o en tratamiento con determinados medicamentos. Pese a esta falta de especificidad, entre sus resultados y las cifras de mortalidad y morbilidad por enfermedades cardiovasculares puede observarse una correlación significativa. Los sujetos que soportan las pruebas de esfuerzo sin presentar alteraciones electrocardiográficas presentan unas tasas de morbilidad y de mortalidad inferiores a las de los demás.

Pronóstico de la cardiopatía coronaria

Todavía no se ha determinado el valor pronóstico de las pruebas basadas en la medición del consumo máximo de oxígeno. En los países escandinavos se ha examinado desde este punto de vista a gran número de sujetos hace cinco años o más y conviene hacer todo lo posible para someter a un nuevo examen a esas mismas personas.

Las pruebas basadas en la reacción del electrocardiograma al ejercicio muscular tienen cierto valor pronóstico y se considera que el descenso del

espacio S-T en un sujeto normal durante un esfuerzo intenso o inmediatamente después indica un riesgo elevado de cardiopatía coronaria clínica. En las personas con cardiopatías arterioscleróticas, este indicio electrocardiográfico hace suponer que, en igualdad de circunstancias, son mayores las probabilidades de recidiva precoz y de mortalidad más elevada. Los estudios longitudinales realizados en el Reino Unido y en los Estados Unidos de América¹ han demostrado que en los hombres que presentan este signo después de unos tres minutos de ejercicio con carga constante, las probabilidades de sufrir una cardiopatía coronaria clínica en los siguientes tres a diez años son cuatro a diez veces mayores que en los demás. En algunos de esos estudios, la mitad aproximadamente de las personas que después presentaron una cardiopatía coronaria fueron clasificadas como « anormales » (es decir, la sensibilidad de las pruebas fue de 0,5), pero también se obtuvo una respuesta anormal en un número diez veces más elevado de sujetos que permanecieron indemnes durante un periodo de vigilancia ulterior de tres a diez años. Por desgracia, estos datos no se prestan a extrapolaciones, ya que los grupos estudiados no estaban bien definidos desde diversos puntos de vista : muestreo, ausencia de síntomas, duración de la vigilancia ulterior, etc.

De todas formas, a juzgar por los datos disponibles parece interesante fomentar nuevos estudios sobre el valor pronóstico de las pruebas de esfuerzo submáximo y máximo, a poder ser con registro de la respuesta electrocardiográfica. En esos estudios convendría comparar la sensibilidad, la especificidad, la facilidad de ejecución, la aceptabilidad y el costo de las distintas pruebas de esfuerzo y de otros posibles medios de medición de los factores de riesgo. Como es poco probable que con una sola prueba se pueda identificar netamente a los sujetos expuestos a sufrir una cardiopatía coronaria, convendría determinar el valor pronóstico de distintas combinaciones de factores (ambientales, psicológicos, genéticos, fisiológicos, anatómicos y patológicos). Sería asimismo interesante realizar un estudio longitudinal de muestras tomadas de colectividades con diferentes características culturales y sociales. Para que un estudio de este tipo no se prolongue demasiado habrá que prepararlo de manera que se puedan reunir y comparar datos procedentes de distintas fuentes.

METODOS

Las pruebas de esfuerzo tienen principalmente por objeto evaluar los efectos del ejercicio físico sobre el corazón y el aparato circulatorio, determinar los límites de actividad de un individuo y hallar los factores que

¹ Brody, A. J. (1959) *J. Amer. med. Ass.*, **171**, 1195 ; Mattingly, T. W. (1962) *Amer. J. Cardiol.*, **9**, 395 ; Rumtall, C. A. y Acheson, E. C. (1963) *Brit. med. J.*, **1**, 423.

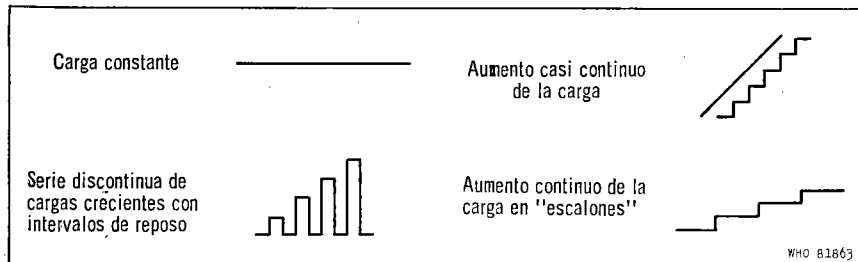
influyen en el pronóstico y el tratamiento. Estas pruebas permiten medir las posibilidades físicas del sujeto en determinadas condiciones y descubrir los signos y síntomas de disfunción cardiorrespiratoria que pueden impedir que el sujeto alcance el máximo consumo teórico de oxígeno.

Convendría utilizar los mismos métodos de prueba para los sujetos sanos y para los cardiopatas. Lo ideal sería poder aplicar las técnicas a toda clase de sujetos no encamados, desde el campeón de atletismo hasta el paciente con trastornos cardiacos ; en la práctica, sin embargo, habrá que elegir el tipo de prueba y la intensidad del esfuerzo requerido en función de la seguridad del sujeto.

Tipos de ejercicios

Las pruebas de aptitud física comprenden diversos ejercicios : carreras, marcha, pedaleo en bicicleta ergométrica, subida de escalones y giro de manivela. En la figura adjunta pueden verse los distintos tipos de cargas utilizables y en el Anexo se da una lista de publicaciones sobre las distintas técnicas. En el siguiente cuadro se comparan las respectivas ventajas de los tres tipos de aparatos más empleados (correa sin fin, escaleras y bicicleta). No hay que olvidar que la importancia relativa de los distintos factores enumerados en el cuadro depende de los objetivos de la prueba y de las condiciones en que se ejecute, por lo que el mérito absoluto de una técnica determinada no puede deducirse de la « puntuación » que se le atribuye en el cuadro.

TIPOS DE CARGA UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS DE ESFUERZO *



* Todos estos tipos de carga son utilizables en cualquiera de los siguientes tipos de prueba: escalones o banco, bicicleta derecha, bicicleta invertida y correa sin fin.

El orden de preferencia de las pruebas de esfuerzo es : bicicleta ergométrica corriente, escalera y correa sin fin. La prueba que probablemente se presta mejor al empleo general es el ejercicio en la bicicleta ergométrica corriente con cargas crecientes, mantenidas durante un mínimo de cuatro minutos cada una y sin periodos de reposo intermedios (a condición de que

VENTAJAS RESPECTIVAS DE LAS DISTINTAS PRUEBAS DE ESFUERZO *

Criterio	Tipo de prueba			
	Escalones	Bicicleta derecha	Bicicleta invertida	Correa sin fin
A. FACILIDAD DE EJECUCION				
Necesidad de adiestramiento previo	+++	++	-	+++ ^a
Obtención de un V _{O₂} elevado	++	++	=	+++
Rendimiento del sujeto con el (V _{O₂}) máx.	+	++	+	+++
Facilidad de calibración del aparato	^b	++ ^{c₁} -- ^d	++ ^{c₁} -- ^d	+ o ± ^e
Facilidad de medición del esfuerzo aplicado	++ ^f	+++	+++ ^f	^g
Facilidad de obtención de los siguientes datos durante la prueba máxima:				
ECG	±	++	++	±
Tensión arterial	--	++	+++	-
Muestras de sangre	---	++	+++	±
Volumen respiratorio y oxígeno	±	++	++	+
Necesidad de prever una asistencia de urgencia ^h	+	-	+++	---
Facilidad de respiración	+++	++	+	+++
Facilidad de obtener un aumento casi continuo del esfuerzo ^h	=	++ ^{c₁} +++ ^d	++ ^{c₁} +++ ^d	+ + o ± ^e
B. AUSENCIA DE INCONVENIENTES				
Peligros	+++ ^o = ⁱ	+	+++	--
Necesidad de poseer cierta habilidad	+	+	-	++ ⁱ
Fatiga muscular local con cargas elevadas	+	-	---	++
Necesidad de personal capacitado	++	++	++	±
Costo del equipo	+++	++ ^{c₁} -- ^d	+ ^{c₁} -- ^d	---
Entretrenamiento (incluida la necesidad de una calibración continua)	+++	++ ^{c₁} , ± ^d	++ ^{c₁} , ± ^d	±
Ruido	+++	±	=	---
Tamaño del aparato ^h	+++	+	-	---
Comodidad de transporte ^h	+++	++ ^{c₁} , ± ^d	± ^{c₁} , -- ^d	---
Necesidad de conexiones eléctricas ^h	^b	++ ^{c₁} -- ^d	++ ^{c₁} -- ^d	---
Necesidad de coordinación neuromusculo-esquelética	-	-	+	--
Control del esfuerzo ^h	--	- ^{c₁} , ++ ^d	- ^{c₁} , ++ ^d	+++

* En el presente cuadro se evalúan los cuatro tipos de pruebas según los criterios expresados en la primera columna: +++ Indica máxima facilidad, menores inconvenientes, máximas ventajas, etc.; --- indica máxima dificultad, mayores inconvenientes, menores ventajas, etc. El punto intermedio se representa por ±. Cuantos más signos + (o menos signos -) reúna una prueba en el total del cuadro, menos dificultades presenta.

^a Más difícil cuando aumenta la velocidad o la pendiente. ^b Innecesario. ^c De fricción. ^d Eléctrico. ^e La calibración es fácil para el ángulo, pero más complicada para la velocidad. ^f Más difícil a la potencia máxima. ^g Sólo puede hacerse un cálculo aproximado. ^h Factor de importancia secundaria. ⁱ Aumenta con la velocidad.

el sujeto tolere bien el esfuerzo). Si las circunstancias obligan a utilizar escalones, los resultados obtenidos en ambas pruebas pueden compararse midiendo la intensidad del esfuerzo y la respuesta funcional.

Teóricamente, la medición del consumo máximo de oxígeno ha de basarse en el máximo esfuerzo que el sujeto es capaz de realizar. El consumo máximo de oxígeno acusa ligeras variaciones según el tipo de ejercicio ya que, por ejemplo, es algo más elevado en la marcha o la carrera (tanto en llano como cuesta arriba) que en la subida de escaleras y el pedaleo; sin embargo, estas diferencias no son tan importantes que impidan comparar los resultados obtenidos en estos tres tipos de ejercicios. Con la prueba de la manivela se han obtenido cifras de consumo de oxígeno considerablemente inferiores en varios laboratorios, pero con manivelas de gran tamaño los valores son comparables a los del pedaleo. Convendría estudiar más a fondo la prueba de la manivela, ya que es especialmente útil en el caso de los sujetos con trastornos de los miembros inferiores.

Si la prueba mide el trabajo de preferencia al consumo de oxígeno, el rendimiento habrá de ser constante en los distintos esfuerzos y en todos los sujetos. El ejercicio que se imponga ha de ser natural y fácil de realizar, y se dará por terminado cuando el sujeto acuse agotamiento general y disnea, y no simplemente fatiga muscular local. Las pruebas no deben angustiar innecesariamente al sujeto ni el adiestramiento debe influir sobre el esfuerzo máximo posible. Afortunadamente, es muy escasa la influencia del aprendizaje sobre el esfuerzo en la correa sin fin, la bicicleta o las escaleras.

Con fines diagnósticos, y a pesar de sus muchas limitaciones, se utiliza con frecuencia la prueba de subida y bajada de dos escalones durante tres minutos con medición de la respuesta electrocardiográfica al esfuerzo (« prueba doble de Master »). Pero en vista de sus inconvenientes, convendría idear una prueba de carga variable que permitiera medir la respuesta del sujeto en fracciones de la potencia aerobia total de un sujeto normal de la misma edad. El valor más aproximado parece ser la frecuencia del pulso tomada al 75 % del valor « normal » de $(\dot{V}O_2)_{\text{máx}}$ según la edad y el sexo. Convendría pues preparar tablas con las frecuencias de pulso correspondientes a las distintas edades y esfuerzos.

Técnicas

Como en otras publicaciones¹ se han descrito en detalle las distintas técnicas, en la presente sección sólo se formularán algunas observaciones de interés sobre cada prueba.

¹ Lange-Andersen, K. *Measurement of maximal oxygen uptake, and related respiratory and circulatory functions*. En: *IBP handbook* (en preparación); Denolin, H. y König, L. (1967) *Ergometry in cardiology Symposium, Freiburg-im-Breisgau; I. Internationales Seminar für Ergometrie, Berlin, 1965*.

Escalones. Importa normalizar la velocidad de subida y la altura de los escalones. La altura dependerá del ritmo y de las cargas impuestas. Un ritmo inferior a 60 pasos por minuto (15 idas y vueltas) puede resultar incómodo por demasiado lento, mientras que si pasa de 180 pasos por minuto el sujeto tropezará fácilmente. Para conseguir el máximo esfuerzo en sujetos jóvenes en buen estado físico se necesitan escalones de una altura total de 40 a 50 cm por lo menos. Para calcular el trabajo realizado se anotará el número total de pasos y el tiempo que ha durado la prueba. Hay que cerciorarse de que el sujeto se endereza bien después de subido el último escalón y de que afirma ambos talones en el suelo después de cada bajada.

Bicicleta ergométrica. Las bicicletas ergométricas tienen un sistema de frenado mecánico o eléctrico; en ambos casos es importante calibrar frecuentemente el dispositivo.¹ En general, el ritmo de pedaleo óptimo es el de 50-60 rev/min, pero se puede aumentar para las pruebas de gran rendimiento. El trabajo mecánico se calculará con ayuda de un cuentarrevoluciones. Es asimismo útil que el aparato disponga de un velocímetro claramente visible con el que el sujeto pueda regular su pedaleo.

Marcha y carrera. En el laboratorio los efectos de la marcha y de la carrera se pueden estudiar sobre rodillos. Sobre el terreno puede trazarse un recorrido que exija un gasto de energía equivalente.

Los rodillos pueden diseñarse de forma que se puedan regular y medir la velocidad y la pendiente. Las medidas de seguridad habrán de ser más estrictas con la correa sin fin que con la bicicleta o las escaleras, sobre todo a grandes velocidades.

Al aire libre, el oxígeno necesario para una determinada velocidad de marcha o de carrera está influido por la superficie del terreno y la velocidad y dirección del viento. Parece ser que en la carrera cuesta arriba las necesidades de oxígeno son mayores que cuando se recorre la misma distancia y la misma pendiente sobre la correa sin fin, ya que en el primer caso hay que elevar el cuerpo.

Intensidad, duración y carga

Intensidad

El trabajo aerobio máximo ($\dot{W}_{\text{máx}}$) equivale al esfuerzo realizado en el momento en que se estabiliza el consumo de oxígeno. Todos los esfuerzos inferiores a éste, son trabajo submáximo; por trabajo hipermáximo se entenderá cualquier esfuerzo superior a $\dot{W}_{\text{máx}}$, en el cual se recurre en medida cada vez mayor al metabolismo anaerobio.

¹ Para una información más amplia, véase: US Public Health Service (1967) *Calibration of two bicycle ergometers used by the health examination survey*, Washington D.C. (US Public Health Service Publication N° 1000, Ser. 2, N° 21).

Pruebas máximas. En general se considera que si se trata de determinar el $\dot{W}_{\text{máx}}$, habrá que medir directamente el consumo máximo de oxígeno. Se realizarán ejercicios de intensidad creciente hasta que ya no aumente más el consumo de oxígeno; la estabilización ha de estar suficientemente clara como para que se pueda estar seguro de que realmente se ha llegado al máximo. Pueden obtenerse buenos resultados en adultos jóvenes bien dispuestos a colaborar, pero las probabilidades de llegar a la verdadera cifra máxima disminuyen si los sujetos son menos aptos, están seleccionados al azar o sólo están a disposición de los investigadores durante los breves periodos que dura la prueba. Los participantes a la reunión estiman que siempre que se haga una prueba de esfuerzo máximo debe estar presente un médico, aun cuando se trate de sujetos normales.

Pruebas submáximas. Casi todos los métodos de evaluación del rendimiento submáximo se basan en el supuesto de que existe una relación aproximadamente lineal entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno en situación estable o un esfuerzo equivalente, en un intervalo comprendido entre un cierto nivel mínimo de esfuerzo y el $\dot{W}_{\text{máx}}$. A fin de precisar esta relación habrá que hacer mediciones a distintos niveles muy espaciados de esfuerzo submáximo. El nivel más bajo debe corresponder a una frecuencia de pulso superior a 120 pulsaciones por minuto (especialmente en sujetos jóvenes) y el más elevado se debe aproximar tanto al máximo como lo permitan la seguridad del sujeto y otras consideraciones pertinentes.

El consumo máximo de oxígeno (o la potencia máxima) se puede calcular de dos maneras a partir de los resultados de las pruebas submáximas.

1) Inscribir los resultados en una curva y extrapolar hasta la frecuencia cardiaca máxima prevista; de esta forma se podrá leer el consumo de oxígeno o la potencia máxima correspondiente, es decir $(\dot{V}O_2)_{\text{máx}}$ o $\dot{W}_{\text{máx}}$. Al elegir la frecuencia máxima cardiaca habrá que tener en cuenta la edad y el sexo del sujeto.

2) Medir la frecuencia cardiaca con una o dos cargas submáximas, junto con el consumo de oxígeno o la potencia correspondientes, y a continuación calcular directamente en un nomograma el consumo máximo de oxígeno. El nomograma se puede trazar empíricamente o a partir de la relación lineal antes señalada; en cualquier caso, habrá que tener en cuenta que la frecuencia máxima del pulso disminuye con la edad.

Los resultados de las pruebas submáximas también pueden expresarse directamente sin calcular el consumo máximo de oxígeno. El procedimiento habitual consiste en anotar 1) el consumo de oxígeno o la potencia correspondientes a una determinada frecuencia cardiaca, o 2) la frecuencia del pulso correspondiente a una potencia o un consumo de oxígeno determinados. También en este caso habrá que tener en cuenta la disminución de

la frecuencia máxima del pulso con la edad. Esto es fácil si todos los datos se expresan en relación con una fracción constante de la potencia aerobia ; resulta cómodo, por ejemplo, utilizar una proporción de 75 %, que está próxima al comienzo de un trabajo anaerobio importante.

La forma de exponer los resultados de la prueba dependerán del objetivo de ésta y del estado físico del sujeto. De todas formas, en todos los casos se harán constar los datos recogidos directamente.

Duración

En las pruebas máximas se necesita menos tiempo para obtener una medición satisfactoria a un nivel determinado que en las pruebas submáximas. No obstante, se desechará el resultado si no se ha conseguido una determinada duración mínima del esfuerzo. En las pruebas submáximas, el tiempo necesario para alcanzar un nivel relativamente estable variará en función de la carga ; por ejemplo, puede ser algo inferior con cargas crecientes que con una carga única.

Carga

Existen tres posibilidades (véase la figura de la página 10) :

Carga constante. En un día determinado, cada sujeto realiza la prueba con un esfuerzo único y constante. El esfuerzo puede ser idéntico para todos los sujetos o se puede adaptar al estado de salud y a la aptitud física de cada uno.

Este tipo de prueba se puede utilizar para medir el consumo máximo de oxígeno y para los estudios de « recuperación » ; practicada después de algunas pruebas preliminares con distintas cargas, sirve asimismo para determinar la « potencia máxima tolerada », es decir, la carga que se puede soportar durante un tiempo dado manteniendo constante algún factor como, por ejemplo, la ventilación.

Serie discontinua de cargas crecientes. Consiste en una serie de ejercicios con cargas cada vez mayores, con breves periodos de reposo intercalados.

Aumento continuo de la carga. En esta prueba la carga se va aumentando en una serie casi continua de pequeñas etapas de duración variable, pero siempre breves, sin periodos de reposo. Una modalidad especial de esta técnica es aumentar la carga de una forma realmente continua. Puede conseguirse un aumento casi continuo con la bicicleta ergométrica o la correa sin fin, mientras que cuando se utilizan escalones es más difícil obtenerlo ya que lo que hay que modificar es la velocidad de los movimientos del sujeto.

Las pruebas con aumento continuo de la carga dan resultados muy comparables a los que se obtienen con la repetición durante varios días de pruebas máximas o submáximas de carga constante, pero resultan preferibles en la práctica clínica corriente.

Preparación para la prueba

Lo mejor es realizar la prueba por la mañana después de una buena noche de reposo. Durante la víspera el sujeto debe evitar todo esfuerzo muscular intenso. Antes de la prueba se le dejará reposar una hora en un lugar cómodo, sin comer ni fumar; además, habrá que cerciorarse de que en las horas anteriores no ha ingerido estimulantes, alimentos grasos o comidas voluminosas. A poder ser se suspenderá todo tratamiento medicamentoso previo, pero, si esto no es posible, se anotarán las concentraciones o dosis recibidas. Antes de la prueba se practicará un reconocimiento médico, que comprenderá un electrocardiograma de reposo en varias derivaciones. El sujeto llevará ropa cómoda y ligera. Antes de empezar la prueba se le explicará la naturaleza de ésta y se le dejará que la practique durante unos momentos. Uno de los objetivos de esta explicación preliminar consiste en calmar sus aprensiones que pueden favorecer la aparición de arritmias cardíacas.

La habitación utilizada debe tener una temperatura inferior a 25°C y una humedad relativa que no llegue al 65 %. Se evitará todo calor radiante excesivo. Si se utiliza un ventilador, se tomará nota de la temperatura real. Cuando corresponda, se registrará asimismo la altitud.¹

Contraindicaciones y precauciones

Las pruebas de esfuerzo están contraindicadas en los sujetos con:

- 1) Insuficiencia cardíaca manifiesta.
- 2) Infarto de miocardio o miocarditis sufridos en los tres meses anteriores, o síntomas y signos electrocardiográficos que permitan sospechar la inminencia de uno de esos procesos.
- 3) Enfermedades infecciosas agudas, inestabilidad metabólica o signos de embolia pulmonar reciente.

Habrà que tomar precauciones especiales si el sujeto presenta alguno de los siguientes trastornos: fibrilación o aleteo auriculares, bloqueo aurículo-ventricular manifiesto, bloqueo de rama izquierda, síndrome de Wolff-Parkinson-White y estenosis aórtica.

Las pruebas que exigen un esfuerzo intenso se efectuarán siempre en presencia de un médico, aun cuando se trate de un sujeto sano. El personal encargado de las pruebas debe conocer bien los signos y síntomas alarmantes y estar en condiciones de aplicar los primeros auxilios. Se tendrá siempre a mano el material de urgencia necesario para la reanimación cardiorrespi-

¹ Para más detalles sobre la influencia de la altitud, véase: *The physiological effects of altitude: Proceedings of the Interlaken Symposium, September 1962*, Londres, Pergamon, 1964.

ratoria (medicamentos, aparatos de desfibrilación y ventilación pulmonar asistida). El osciloscopio de rayos catódicos es útil para vigilar de continuo el electrocardiograma en los enfermos predispuestos a las arritmias.

Una vez terminada cada fase de la prueba, o la prueba en su totalidad, importa evitar la hipotensión postural y el enfriamiento excesivamente rápido del sujeto. Los problemas posturales se pueden reducir al mínimo si se dispone de una cama o un sillón de respaldo inclinable; si la prueba se efectúa en pie puede ser necesario reducir gradualmente el esfuerzo.

Interrupción de la prueba

En general se considera que la prueba de esfuerzo debe interrumpirse cuando aparecen los siguientes síntomas y signos:

Síntomas: dolor de intensidad creciente, con o sin alteraciones electrocardiográficas; lipotimia; disnea intensa; fatiga intensa y claudicación intermitente.

Signos clínicos: palidez; sudor frío; cianosis; marcha vacilante; respuestas confusas a las preguntas; facies de insuficiencia cerebrovascular y sacudidas de la cabeza.

Signos físicos: hipotensión o pulso blando a consecuencia del ejercicio, y el aumento de la presión sistólica por encima de los límites que corresponden a la edad y al estado clínico del sujeto.

Signos electrocardiográficos: Arritmia paroxística supraventricular o ventricular; sucesión de complejos ventriculares prematuros que aparecen antes del final de la onda T; trastornos de la conducción que no se limitan a un ligero bloqueo auriculoventricular, y depresión de R-ST de tipo horizontal o descendente superior a 0,2 mV.

Mediciones

Un análisis hemodinámico detallado durante el esfuerzo comprende diversas determinaciones: volumen-minuto cardíaco, frecuencia cardíaca, presiones en las circulaciones general y pulmonar, y estudio electrocardiográfico completo. Para realizar correctamente todos estos trabajos es indispensable un laboratorio de hospital muy especializado. No obstante, tanto en la consulta del médico como en los laboratorios modestamente equipados podrán practicarse algunas determinaciones útiles de la función circulatoria, v. g., frecuencia cardíaca, tensión arterial en el brazo (por el método indirecto) y electrocardiograma corriente.

Frecuencia cardíaca

Durante un esfuerzo moderado la palpación o la auscultación permiten medir con bastante exactitud la frecuencia cardíaca. No obstante, cuando

el ejercicio es intenso esta medicación va haciéndose cada vez más difícil y es necesario recurrir al ECG.

Tensión arterial

Para medir con precisión las presiones en las circulaciones general y pulmonar habría que recurrir a las técnicas intravasculares, raramente accesibles en la práctica ordinaria. Por el método clínico habitual se puede medir indirectamente la tensión arterial braquial durante el ejercicio; de esta forma es fácil medir la presión sistólica; en cambio, la medición de la presión diastólica ofrece mayores dificultades.

Electrocardiograma

Se utilizarán las mismas derivaciones antes, durante y después del ejercicio. En el electrocardiograma se observará el ritmo cardíaco, la conducción auriculoventricular e intraventricular, y las modificaciones del segmento ST, cuyas variaciones y pendientes se medirán con precisión. Se obtienen más datos con una combinación de derivaciones representantes de los componentes X, Y y Z del ECG que con derivaciones únicas. El electrodo explorador se suele colocar en el tórax entre C₄ y C₆ y el electrodo indiferente en la frente, sobre el mango del esternón o en posición C₆ derecha; puede asimismo emplearse la «central terminal». Entre otras posibilidades, pueden citarse las derivaciones unipolares o bipolares con los electrodos fijos a los miembros.

Volumen-minuto

En los hospitales, la determinación del volumen-minuto cardíaco se hace mediante la toma de muestras de sangre y en el cateterismo intravascular (v. g., por el método directo de Fick o por distintas aplicaciones del principio de Hamilton) o bien midiendo la radiactividad en la zona precordial después de inyectar por vía intravenosa un isótopo radiactivo. Ninguno de estos métodos es aplicable en las condiciones de la práctica corriente.

En los trabajos de investigación se han utilizado diversos métodos incruentos, como la respiración de acetileno y anhídrido carbónico en circuito cerrado o la técnica de Becklake con monóxido de nitrógeno, que convendría perfeccionar con miras a un empleo más general.

Consumo de oxígeno

La determinación del consumo de oxígeno en sistemas de circuito abierto se utiliza sobre todo en la investigación. Los sistemas de circuito cerrado tienen inconvenientes importantes que les restan precisión e impiden que se generalice su empleo:

- 1) Están mucho más expuestos a los errores consecutivos a escapes que los sistemas de circuito abierto.
- 2) El desplazamiento de la posición espiratoria máxima o las modificaciones del volumen de sangre torácica pueden falsear los resultados.
- 3) Las variaciones de la temperatura, sobre todo en regímenes metabólicos altos, pueden dar lugar a errores volumétricos.
- 4) La mayor parte de los aparatos actuales tienen una resistencia y una inercia excesivas en regímenes metabólicos elevados.
- 5) Los aparatos son excesivamente grandes, poco prácticos y caros.

Toda determinación del intercambio respiratorio de gases exige una labor analítica cuidadosa y precisa. Para evitar errores sistemáticos conviene aprender las técnicas de medición en un laboratorio de referencia. Todos los valores que se obtengan se expresarán en función del peso del sujeto.

Recuperación de los gases espirados. La resistencia a la respiración se debe reducir al mínimo en todo el sistema, especialmente en las válvulas y llaves, los tubos y las bolsas espirométricas. Habrá que evitar cuidadosamente todo escape, especialmente en la boquilla; las máscaras son menos recomendables que las boquillas, ya que es más fácil que tengan escapes o que planteen problemas de juntas o de espacios muertos. Si la prueba se efectúa en una habitación habrá que procurar que esté bien ventilada para que el sujeto inhale aire fresco.

Medición de los volúmenes gaseosos. El volumen del aire espirado se medirá por medio de un aparato preciso y bien calibrado con la máxima exactitud; por ejemplo, un espirómetro o un dispositivo medidor de gases en seco o con líquido.

Muestreo y análisis de los gases. Las concentraciones de oxígeno y de anhídrido carbónico se determinarán con toda precisión por métodos químicos o físicos en una fracción del aire espirado. Por lo general, los métodos químicos son más económicos desde el punto de vista del instrumental y poseen una precisión ligeramente superior en manos de personal capacitado pero, en cambio, requieren más tiempo que los métodos físicos.

Estudio de la recuperación

Pulso. La curva de recuperación del pulso no tiene gran valor para medir la aptitud física a causa, en parte, de que es difícil aplicar la misma carga inicial a sujetos de edad, estado general y peso muy distintos. No obstante obtenida después de un ejercicio normalizado, la curva de recuperación permite seguir la evolución del estado físico de un determinado sujeto.

Electrocardiograma. En ciertos casos, las anomalías electrocardiográficas se acentúan después del ejercicio. La recuperación del ECG tiene valor

diagnóstico (véase la página 18) y un interés práctico, ya que las extrasístoles esporádicas durante el ejercicio pueden transformarse en una arritmia más importante en el momento en que cesa el esfuerzo.

Deuda de oxígeno. La « deuda » de oxígeno que produce un ejercicio rítmico agotador refleja la capacidad anaerobia y sirve para evaluar la aptitud para los deportes de competición, pero es difícil de medir y apenas guarda relación con el estado físico de un sujeto de tipo medio. La deuda de oxígeno después de un ejercicio submáximo tiene una cierta relación con la función cardiovascular, pero nada demuestra que proporcione datos que no puedan obtenerse midiendo el consumo máximo de oxígeno.

Otras mediciones fisiológicas

Con ciertos fines concretos pueden hacerse otras determinaciones : factores respiratorios (volúmenes pulmonares estático y dinámico, y capacidad de difusión), factores circulatorios (volumen cardíaco, volumen sanguíneo y hemoglobina total), concentración sanguínea de ácido láctico, tensión de O_2 y de CO_2 en la sangre arterial, pH sanguíneo y diversos índices de la función muscular como la fuerza isométrica máxima.

Medidas antropológicas

En las pruebas de aptitud física hay que determinar, como mínimo, la talla y el peso del sujeto ; se recomienda asimismo medir el espesor del pliegue cutáneo.

Otras pruebas de « stress »

La hipoxia se ha empleado a veces para evaluar el estado de las coronarias, pero nada demuestra que aporte datos más útiles que con las pruebas de esfuerzo. Otras técnicas — aplicación de « stress » térmicos, estimulación rítmica del corazón, administración de fármacos — son asimismo interesantes y, por consiguiente, convendría estudiarlas más a fondo.

Pruebas inespecíficas de aptitud física

Existe una gran variedad de pruebas inespecíficas de aptitud física, en su mayoría desarrolladas por las escuelas de educación física ; muchas de ellas se basan en la medición del rendimiento gimnástico. No obstante, exceptuando la medición del tiempo necesario para correr 800 ó 1500 m (que, por lo general, no se incluye entre estas pruebas), su relación con el estado cardiovascular es tan imprecisa que no se ha considerado conveniente tratarlas en el presente informe.

Un segundo grupo de pruebas inespecíficas se basa en el análisis de la frecuencia cardíaca y de la dureza del pulso. Estas pruebas no están exentas

de justificación teórica ya que existe cierta relación entre la dureza del pulso y el volumen de expulsión, pero los participantes a la reunión han considerado que, en todo caso, basta con indicar cuál es la frecuencia cardiaca o la dureza del pulso en determinadas condiciones.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Los resultados de las pruebas de aptitud física pueden interpretarse con arreglo a los siguientes criterios : 1) trabajo exterior realizado ; 2) consumo máximo de oxígeno ; 3) adaptación de los sistemas cardiovascular y respiratorio, y 4) respuesta o reacción eléctrica del corazón (ECG).

Sobre esta base es posible definir la aptitud física de los sujetos en los que se ha podido medir o calcular con precisión el consumo máximo de oxígeno. De esta forma cabe comparar a estos sujetos entre sí y seguir la evolución de su estado físico, así como comparar los valores medios correspondientes a distintos grupos de población y clasificar las aptitudes relativas de cada sujeto mediante criterios precisos y definibles como el $(\dot{V}O_2)_{\text{máx}}$ y el $(\dot{V}O_2)_{\text{máx}}$ por kilo de peso y por minuto. La aptitud física evaluada de esta manera puede considerarse como una expresión satisfactoria del estado de salud del sujeto, si bien no excluye la posibilidad de una enfermedad orgánica del mismo modo que una aptitud física deficiente no indica necesariamente la existencia de tal enfermedad.

En presencia de contraindicaciones puede ser imprudente y hasta peligroso someter al sujeto a una prueba de consumo máximo de oxígeno e incluso a esfuerzos que puedan provocar la aparición de síntomas patológicos. En estos casos se pueden obtener datos muy valiosos evaluando la respuesta a cargas submáximas, con lo que pueden establecerse comparaciones siempre que se utilicen esfuerzos uniformes.

En algunos sujetos no se puede medir, ni siquiera evaluar aproximadamente por extrapolación, el consumo máximo de oxígeno. En estos casos será necesario interpretar las pruebas de acuerdo con la naturaleza y la intensidad de los factores que aparecen como limitantes en el punto más elevado de consumo de oxígeno que el sujeto pueda alcanzar. Tanto estos factores limitantes (v. g., aparición de un bloqueo de rama, clara desviación del espacio ST o aumento desproporcionado de la tensión sistólica durante el ejercicio) como la intensidad del esfuerzo que ha provocado su aparición, se pueden medir y comparar. Cuando hay que interrumpir una prueba por razones clínicas, cabe concluir no sólo que el estado físico del sujeto es malo sino también que tiene bastantes probabilidades de padecer una enfermedad orgánica establecida o incipiente. En estos casos, el médico habrá de adoptar siempre las medidas que se impongan.

Los factores limitantes de carácter subjetivo, como el dolor o la lipotimia, que no se acompañan de signos objetivos de disfunción pueden estar relacionados con factores mensurables o ser una indicación de enfermedad. La claudicación, por ejemplo, puede deberse a una arteriosclerosis local demostrable por arteriografía.

Las modificaciones electrocardiográficas se deben interpretar en función de la carga y de las variaciones de otros parámetros cardiovasculares como la frecuencia cardíaca y la tensión arterial. El producto de la frecuencia cardíaca por la tensión sistólica puede considerarse como un índice de las necesidades de oxígeno del miocardio; para una medición más precisa habrá que tener además en cuenta las dimensiones del corazón. La mala oxigenación del miocardio puede deberse no sólo a insuficiencia del riego coronario sino también a unas necesidades desproporcionadas de oxígeno del corazón; de ahí que puedan observarse las mismas modificaciones del segmento ST en los sujetos con una cardiopatía coronaria y los que tienen una lesión valvular pero una circulación coronaria normal. Entre las otras causas de alteración del metabolismo miocárdico que provocan modificaciones aparentemente patológicas del segmento ST figuran el aumento del tono simpático, la angustia, la astenia neurocirculatoria, el hipertiroidismo, la anemia, las infecciones y los medicamentos que actúan sobre el miocardio. Puede obtenerse una idea del grado de anoxia miocárdica, al menos en los sujetos con trastornos coronarios, midiendo las alteraciones del segmento ST. Estas alteraciones han de evaluarse en función del esfuerzo impuesto al organismo y al corazón por lo que la anoxia miocárdica será tanto mayor y el pronóstico tanto más sombrío cuanto menor sea el esfuerzo que provoca esas alteraciones. Aun cuando éstas son inespecíficas desde el punto de vista diagnóstico, su presencia debe hacer sospechar una coronariopatía una vez excluidos los factores antes mencionados y si se considera improbable cualquier otro proceso. En cambio, la ausencia de modificaciones electrocardiográficas no demuestra terminantemente que no exista una enfermedad coronaria caracterizada.

RELACION ENTRE LAS PRUEBAS DE ESFUERZO Y OTRAS ACTIVIDADES

Las pruebas de esfuerzo proporcionan datos sobre la potencia aerobia que pueden ser útiles para orientar a las personas sobre su trabajo y otras actividades. Aun cuando las pruebas de esfuerzo no evalúan la respuesta del sujeto a los factores afectivos y ambientales que pueden influir sobre su rendimiento, proporcionan un índice objetivo de su aptitud física en las condiciones de prueba. Además permiten comparar la potencia aerobia del sujeto, medida o calculada, con las exigencias energéticas medias y máximas de una determinada actividad.

Las necesidades energéticas de cualquier actividad profesional se pueden determinar basándose en una descripción detallada de la misma : naturaleza, ritmo y modalidades del trabajo ; medio ambiente en que se realiza ; pericia necesaria ; necesidad de inclinarse, agacharse o levantarse, y medios de transporte necesarios para ir y volver de la casa al lugar de trabajo. Se han publicado algunos estudios sobre el gasto energético que implican diversas actividades profesionales recreativas.¹

Para determinar si, desde el punto de vista energético, un sujeto está en condiciones de efectuar un trabajo dado, se comparará su rendimiento en las pruebas de esfuerzo con el consumo calórico máximo y el consumo normal exigidos por ese trabajo. Han de calcularse la duración y magnitud de los esfuerzos máximos, que se compararán con las cargas máximas toleradas por el sujeto en la prueba de esfuerzo sin presentar síntomas o signos de fatiga.

Cuando se determina si un sujeto es apto para un cierto trabajo, el factor limitante suele ser la capacidad de esfuerzo máximo más que la de esfuerzo sostenido. Los cargadores de muelle, los obreros metalúrgicos y los agricultores alcanzan importantes cifras de consumo energético en periodos de unos dos minutos, seguidos de periodos análogos de reposo. Si el esfuerzo máximo requerido para un trabajo es superior a la capacidad aerobia máxima del individuo, habrá que modificar el trabajo, bien cambiando el ritmo o bien suprimiendo aquellos aspectos que requieren un esfuerzo excesivo. Si esto no es posible, en general se considera que el sujeto no es apto para ese trabajo.

La potencia aerobia máxima es asimismo un importante factor para determinar el nivel de trabajo sostenido que conviene a una persona dada. En el sujeto normal se calcula que el gasto calórico medio admisible oscila entre el 35 y el 50 % aproximadamente de su potencia aerobia máxima, pero en los enfermos cardíacos esa proporción se ha de ajustar según las condiciones de cada caso. Por ejemplo, una persona que pese 75 kg y cuya potencia aerobia máxima sea de 2,25 litros de oxígeno por minuto (30 ml/kg/min) estará normalmente en condiciones de realizar un trabajo sostenido equivalente a 1,1 litros por minuto (15 ml/kg/min), o sea 5,5 kcal/min. Para determinar si el trabajo de una persona está dentro de sus posibilidades, se recurrirá a los datos publicados sobre los requerimientos energéticos del trabajo en cuestión. Los estudios ergométricos han puesto de manifiesto que la mayor parte de los empleos sedentarios y muchos empleos en las fábricas de los países muy industrializados exigen un consumo energético bajo, de 2,5 cal/min por término medio. Es frecuente que los esfuerzos máximos sean los que impone la marcha o la subida de una escalera. Es necesario proseguir las investigaciones en este terreno.

¹ Durnin, J. V. G. y Passmore, R. (1967) *Energy, work and leisure*, Londres, Heinemann ; Spitzer, H. y Hettinger, T. (1966) *Tables donnant la dépense énergétique en calories pour travail physique. Cahiers du B. T. E.*, Paris.

Dada la influencia de la tensión emocional y del medio sobre el rendimiento físico, es importante determinar si el sujeto está adecuadamente situado y si está bien adaptado a su medio ambiente total. En cierta medida, estas informaciones pueden conseguirse efectuando mediciones fisiológicas objetivas y estudiando la hoja de servicios del sujeto (productividad, accidentes y absentismo), los síntomas (especialmente fatiga) que presenta durante el trabajo o después de éste y su adaptación afectiva.

En la práctica clínica, las mediciones fisiológicas (v. g., observación del pulso durante 15-30 segundos en el minuto siguiente a ciertas actividades) son sencillas y a la vez informativas. La fatiga acumulada se descubre por el alargamiento del periodo de recuperación, la elevación de la frecuencia del pulso durante el reposo y por un pulso más rápido (a raíz de un determinado esfuerzo realizado siempre en el mismo medio ambiente) después de las horas de trabajo que durante éstas. La tensión arterial y el ritmo respiratorio constituyen también índices sencillos y útiles. Para determinar si la respuesta del sujeto es proporcionada o no al trabajo efectuado pueden seguirse distintos criterios: frecuencia del pulso superior a 100/min, con un periodo de recuperación prolongado; frecuencia máxima del pulso superior a 130/min por un trabajo moderado que exija un gasto de 4-6 kcal/min; aumento desproporcionado de la presión diastólica; fatiga creciente que persiste fuera de las horas de trabajo; y agravación de los síntomas cardíacos, tanto en el trabajo como en el hogar.

Conviene repetir las pruebas cada cierto tiempo, ya que una sola determinación de la potencia aerobia máxima no permite predecir la evolución clínica ni determinar si el sujeto podrá soportar una determinada carga durante meses o años.

Para poder formular recomendaciones objetivas habrá que evaluar las exigencias de las actividades tanto profesionales como recreativas. El desarrollo de la mecanización y de la automatización industrial ha hecho que las necesidades de esfuerzo físico en el trabajo disminuyan continuamente, al tiempo que cobran importancia las aptitudes intelectuales y técnicas que exigen menos energía. Todo parece indicar que en lo sucesivo irán disminuyendo las exigencias calóricas de muchos trabajos y que se dará más importancia a otras aptitudes (sobre todo de tipo psicológico) que a la potencia aerobia máxima.

EMPLEO DE LAS PRUEBAS DE ESFUERZO EN LA REHABILITACION

Como las repercusiones de las cardiopatías sobre el organismo son muy diversas, el médico está continuamente obligado a evaluar la capacidad funcional de sus enfermos cardíacos durante la fase aguda, la convalecencia y la rehabilitación.

Durante la fase aguda y la convalecencia, el médico deberá evaluar clínicamente la evolución de la aptitud física de sus enfermos según los esfuerzos que puedan soportar. Para ello puede medir tanto el consumo calórico impuesto por determinadas actividades como las respuestas fisiológicas correspondientes. También puede observar determinados signos físicos y electrocardiográficos antes, durante y después de determinadas actividades de la vida cotidiana graduadas con arreglo a un esfuerzo creciente y elegidas y vigiladas con el máximo cuidado.

En cambio, durante la convalecencia y el periodo de restablecimiento suele ser difícil evaluar el estado funcional del corazón por observación clínica, sobre todo en los sujetos que no presentan signos de hipertrofia ni de insuficiencia cardíacas. Las reacciones psicológicas del enfermo, su deseo de trabajar, las presiones sociales y las variaciones individuales de la sensibilidad al dolor pueden encubrir o enmascarar los signos y síntomas clínicos. Con frecuencia hay que recurrir a mediciones objetivas para evaluar la función cardíaca y los efectos de la terapéutica; en tal caso no sólo se tendrá en cuenta el ECG sino también la frecuencia cardíaca, la tensión arterial e incluso el volumen-minuto y el índice « tensión-tiempo ».

Una serie de pruebas a base de esfuerzos submáximos proporciona una base objetiva para graduar la rehabilitación y determinar el momento en que el sujeto puede volver al trabajo. Estas pruebas son especialmente interesantes para comparar los distintos programas de entrenamiento físico destinados a sujetos normales y a sujetos predispuestos a las cardiopatías, así como los programas de reacondicionamiento y prevención secundaria destinados a los sujetos que ya padecen alguna enfermedad cardíaca.

ACTIVIDAD FISICA HABITUAL

En el hombre, la modificación de la actividad física habitual, que se puede definir como el esfuerzo físico que el sujeto está obligado a hacer durante sus horas de trabajo y de descanso, puede ser uno de los factores que contribuyen al aumento de la morbilidad por cardiopatías coronarias. Interesa pues estudiar el esfuerzo total y la forma en que éste se desarrolla.

En la definición antes expuesta no se tienen en cuenta las influencias exteriores, como el calor o el frío, ni otros factores como las emociones, que pueden venir a sumarse a la carga que supone el trabajo propiamente dicho. Las reacciones del organismo dependen además de la experiencia y del estado físico. Es más fácil medir las respuestas que los factores que en ellas influyen; no obstante, para interpretarlas debidamente habrá que tener en cuenta la complejidad de dichos factores.

La actividad física habitual varía de unos sujetos a otros y según el sexo y la edad, así como de día en día y según las estaciones del año.

Métodos de medición

Las pruebas clásicas exigen la cooperación del sujeto y una gran pericia técnica por parte del investigador. Por ello son escasas las experiencias realizadas y en la actualidad no se conocen muy bien los efectos de la actividad habitual. En la presente sección se exponen los distintos métodos de exploración de la actividad física habitual haciendo hincapié en los que parecen más prometedores.

Para que puedan hacerse mediciones válidas en grupos numerosos es necesario respetar escrupulosamente ciertos aspectos técnicos. Los métodos utilizados deben ser aplicables a todas las categorías sociales, a todas las edades y a ambos sexos. Aunque lo ideal sería que sus resultados fuesen exactos y reproducibles, cuando se aplican al estudio de poblaciones numerosas puede admitirse cierta imprecisión. El costo total debe ser bajo para que puedan utilizarse tanto en vastas encuestas como en estudios intensivos, y el material necesario debe ser fácil de manejar para no tener que emplear un personal muy especializado.

Medición directa

La medición directa de la actividad física habitual sigue siendo una empresa difícil, larga y laboriosa, aparte de que no es nada seguro que sea el mejor modo de conseguir los objetivos antes mencionados.

Para la medición directa se han utilizado los siguientes métodos :

- 1) Cronometraje de todas las actividades por el observador.
- 2) Cronometraje y registro de las actividades por el propio sujeto (técnica del « diario íntimo »).
- 3) Rememoración al cabo de cierto tiempo de la actividad desplegada, bien directamente por el mismo sujeto (mediante cuestionarios) o por medio de entrevistas.
- 4) Acelerometría y podometría.
- 5) Cinematografía o fotografías en serie.

Estas técnicas no dan más que una indicación aproximada de la actividad habitual, a no ser que se disponga de un personal muy numeroso para la investigación. No obstante, para determinar en líneas generales qué grupos están sometidos a un trabajo fuerte, moderado o sedentario pueden utilizarse variantes simplificadas de la técnica del diario íntimo y de la de rememoración.

Medición indirecta

En general, las técnicas indirectas miden la respuesta del organismo a toda clase de estímulos (actividad física, actividad mental y factores exte-

rios como la temperatura y el ruido). No obstante, hay respuestas que reflejan la actividad física con mayor precisión que otras: por ejemplo, el gasto energético (medido por la ingestión de alimentos y el consumo de oxígeno) no está tan sometido a la influencia de estímulos «extraños» (actividad mental y factores ambientales) como las funciones cardiovascular, respiratoria o termorreguladora. Por desgracia, tales respuestas no están exentas de inconvenientes, como el tiempo que transcurre antes de que una modificación de la actividad se refleje en un aumento o una reducción del consumo de alimentos; es poco probable, en efecto, que un estudio dietético proporcione una indicación real del nivel de actividad si no se prolonga por lo menos durante cinco días.

Aunque el consumo de oxígeno no refleja los cambios rápidos de actividad, constituye una buena base para la medición cuando la actividad es suficientemente prolongada para influir en el estado cardiorrespiratorio.

Las determinaciones repetidas del consumo de oxígeno plantean problemas difíciles, pues resultan incómodas y los sujetos las aceptan de mala gana; además, su uso en los estudios de población requiere un personal numeroso y bien preparado. Por estas razones, sólo son aplicables a pequeños grupos y durante periodos de observación relativamente breves.

Así pues, para evaluar la actividad habitual de grandes grupos de población elegidos al azar, habrá que utilizar respuestas menos directas que el consumo de oxígeno, por ejemplo:

- 1) Respuestas cardiovasculares: frecuencia cardiaca, tensión arterial y alteraciones electrocardiográficas.
- 2) Respuestas respiratorias: volumen ventilatorio por minuto y frecuencia respiratoria.
- 3) Respuestas termorreguladoras: temperatura corporal y sudación.
- 4) Respuestas metabólicas: concentración de metabolitos y de sus productos de descomposición en la sangre y la orina y concentración iónica.

Ninguna de estas respuestas guarda una relación exclusiva o lineal con el estímulo del trabajo físico. Por otra parte, muchas de ellas no tienen por ahora más que un interés teórico.

Para elegir la respuesta que se va a medir y el método de medición se tendrán en cuenta los siguientes factores: 1) naturaleza de la información necesaria, forma en que ésta debe obtenerse y grado de precisión que se desea; 2) problemas prácticos que plantean las encuestas en gran escala, y 3) aceptabilidad del método para los sujetos.

Puede suceder que no sólo se necesite información sobre la actividad física habitual sino también sobre la reacción al esfuerzo de algún sistema orgánico. El grado de precisión necesario dependerá del objetivo, del plan

y de la amplitud del estudio y habrá de especificarse claramente desde las primeras fases de planificación del estudio.

Los datos habrán de proporcionar la máxima información posible con un mínimo de trabajo de elaboración. No se recogerán más detalles que los necesarios; por ejemplo, aun cuando en ciertos estudios pueda ser necesario analizar la frecuencia cardiaca latido por latido, en otros bastará con determinar la frecuencia media o ciertas distribuciones de frecuencia.

La fiabilidad del sistema de medición adquiere una importancia cada vez mayor a medida que aumenta la amplitud de la encuesta. En las grandes encuestas importa asimismo que el método sea bien aceptado por los sujetos, ya que basta la menor incomodidad para que la actividad se resienta o para que se produzcan errores sistemáticos.

De momento, la determinación de la frecuencia cardiaca es sin duda el medio más útil de determinar la actividad física habitual. No obstante, su utilización para medir el metabolismo aerobio está sujeta aquí a las mismas limitaciones que en la evaluación de la aptitud física. Para medir la frecuencia cardiaca se utilizan las siguientes técnicas:

- 1) Medición fotoeléctrica.
- 2) Registro electrocardiográfico continuo, bien a distancia (por telemetría) o mediante un aparato portátil de cinta que transporta el propio sujeto.
- 3) Integración electroquímica.

La medición fotoeléctrica se ha revelado útil, pero exige aparatos de manejo incómodo y sus resultados están expuestos a numerosas causas externas de error. El registro telemétrico es técnicamente difícil y no se puede aplicar en gran escala a sujetos que viven en condiciones normales. Los sistemas actuales de registro en cinta son caros e incómodos, y su cronometraje no es absolutamente fidedigno; en cambio, permiten hacer un análisis minuto por minuto o latido por latido y estudiar las modificaciones del ECG después de un periodo de actividad. Los integradores electroquímicos dan solamente la frecuencia cardiaca media o, en el mejor de los casos, las distribuciones específicas de frecuencias, pero ofrecen la ventaja de ser mucho más pequeños, discretos, económicos y fáciles de mantener que los demás aparatos.

En las encuestas en que se toma la frecuencia cardiaca como índice de la actividad física habitual, habrá que evaluar o medir (a poder ser valiéndose de instrumentos portátiles que no molesten al sujeto) otros estímulos «extraños», en especial el calor, la humedad, el ruido y las vibraciones. Por desgracia, no existen instrumentos que permitan valorar los factores afectivos y psicológicos, aunque en la actualidad se está tratando de utilizar con este fin la técnica de integración electrónica. Asimismo se está tratando de conseguir registradores portátiles de cinta con varias pistas.

RECOMENDACIONES

Los participantes en la reunión han considerado que es especialmente necesario :

1) Fomentar las investigaciones encaminadas a perfeccionar las pruebas de esfuerzo, que constituyen uno de los instrumentos más prometedores para descubrir y prevenir las enfermedades cardiovasculares, mejorar su tratamiento y rehabilitar a las personas que ya han caído enfermas. Conveniría en especial conseguir procedimientos uniformes para estudiar *a)* la incidencia relativa de las cardiopatías isquémicas en sujetos con distintos tipos de aptitud física y de actividad física habitual, y *b)* la influencia de la mayor actividad física y del entrenamiento sobre el pronóstico. El problema de la normalización de los métodos deberá examinarse periódicamente.

2) Estimular los estudios sobre las posibilidades de aplicación de las distintas pruebas a grandes grupos de población y sobre su aceptabilidad, costo y comparabilidad de los resultados.

3) Perfeccionar las técnicas empleadas para determinar la actividad física habitual. Hay que estudiar a fondo y cuanto antes los métodos más prometedores, como la determinación del ritmo cardiaco y de otros parámetros cardiovasculares durante el trabajo y el descanso. A este respecto la cooperación internacional es indispensable tanto para conseguir las técnicas como para aplicarlas a personas que viven en medios distintos.

4) Obtener, evaluar y fomentar el empleo coordinado de técnicas eficaces para el acopio, la ordenación, el análisis y la interpretación de datos.

5) Fomentar el estudio ecológico en gran escala del hombre y su medio ambiente.

NOTA

Los participantes en la reunión desean expresar su agradecimiento a los doctores A. R. Kagan y R. Masinori, del Servicio de Enfermedades Cardiovasculares de la OMS, por la ayuda que les han prestado en el curso de sus deliberaciones.

Anexo

**PUBLICACIONES SOBRE LOS DISTINTOS TIPOS
DE PRUEBAS DE ESFUERZO ***

Tipo de carga ^a	Escalones o banco	Bicicleta derecha	Bicicleta invertida	Correa sin fin
Carga constante	8, 16, 17	27	11, 27	9, 19, 22
Aumento casi continuo de la carga	21	6		5, 12
Serie discontinua de cargas crecientes con intervalos de reposo	20, 29	1, 2, 13, 15, 29	14	4, 6, 18, 25, 26, 29
Serie continua de cargas crecientes « en escalera »		3, 10, 23	28	7, 29

* Los números del cuadro remiten a la bibliografía.

^a Para más detalles sobre el tipo de carga, véase la figura de la pág. 10.

BIBLIOGRAFIA

1. Allard, C. (1967) *Canad. med. Ass. J.*, **96**, 879
2. Åstrand, I. (1958) *Acta physiol. scand.*, **42**, 73
3. Åstrand, I. (1965) *Acta med. scand.*, **178**, 27
4. Åstrand, P. O. (1952) *Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age*, Copenhagen, Munksgaard, pág. 19
5. Balke, B. y Ware, R. W. (1959) *US armed Forces med. J.*, **10**, 675
6. Binkhorst, R. A. y van Leeuwen, P. (1963) *Int. Z. angew. Physiol.*, **19**, 459
7. Bruce, R. A. et al. (1963) *Pediatrics.*, **32**, 742
8. Consolazio, C. F., Johnson, R. E. y Pecora, L. J. (1963) *Physiological measurements of metabolic functions in man*, New York, McGraw-Hill
9. Cureton, T. K. (1947) *Physical fitness appraisal and guidance*, St. Louis, Mo., Mosby, pág. 566

10. Denolin, H., Messin, R. y Degre, S. (1967) *Testing of the working capacity of cardiac patients*. En : Karvonen, M. J. y Barry, A. J., ed., *Physical activity and the heart*, Springfield, Ill., Thomas, pág. 27
11. Frick, M. H. (1967) *Significance of bradycardia in relation to physical training*. En : Karvonen, M. J. y Barry, A. J., ed., *Physical activity and the heart*, Springfield, Ill., Thomas, pág. 35
12. Garrett, H. L., Pangle, R. V. y Mann, G. V. (1966) *J. chron. Dis.*, **19**, 899
13. Hellerstein, H. y Hornsten, T. (1966) *J. Rehab.*, **32**, 48
14. Holmgren, A., Johnson, B. y Sjöstrand, T. (1960) *Acta physiol. scand.*, **49**, 340
15. Kellerman, J. J. y Kariv, Y. (1967) *Israel J. med. Sci.*, **8**, 336
16. Keys, A. et al. (1966) *Acta med. scand.*, Suppl. 460, pág. 40
17. Master, A. M. y Rosenfeld, I. (1967) *Mod. Conc. cardiov. Dis.*, **36**, 19
18. Mitchell, J. H., Sproule, B. J. y Chapman, C. B. (1958) *J. clin. Invest.*, **37**, 358
19. Robinson, S. (1938) *Arbeitsphysiologie*, **10**, 251
20. Sheffield, L. T., Holt, J. H. y Reeves, T. J. (1965) *Circulation*, **32**, 622
21. Shephard, R. J. (1967) *Canad. med. Ass. J.*, **96**, 744
22. Simonson, E. (1966) *Amer. Heart J.*, **66**, 552
23. Sjöstrand, T. (1947) *Acta med. scand.*, Suppl. 196, pág. 687
24. Skinner, J. S. y Strandness, D. E. (1967) *Circulation*, **36**, 15
25. Tabakin, B. S., Hanson, J. S. y Levy, A. M. (1965) *Brit. Heart. J.*, **27**, 205
26. Taylor, J. L., Buskirk, E. y Henschel, A. (1958) *J. appl. Physiol.*, **8**, 73
27. Varnauskas, E. et al. (1966) *Lancet*, **2**, 8
28. Westura, E. E. y Ronan, J. A. (1966) *Circulation*, **34**, Suppl. 3, pág. 238
29. Wyndham, C. H. (1966) *Int. Z. angew. Physiol.*, **22**, 285

**ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD
SERIE DE INFORMES TECNICOS**

Informes recientes :

N°		Precio		
		s.d.	\$	F. s.
348	(1967) Investigación de los aditivos alimentarios y de los contaminantes de los alimentos Informe de un Grupo Científico de la OMS (28 páginas)	3/6	0,60	2,—
349	(1967) Determinación de la importancia sanitaria de la bilharziasis Informe de un Grupo Científico de la OMS (103 páginas)	6/8	1,25	4,—
350	(1967) La planificación sanitaria nacional en los países en desarrollo Informe de un Comité de Expertos de la OMS (44 páginas)	5/-	1,00	3,—
351	(1967) Conferencia de Directores de Escuelas de Salud Pública Informe de una Conferencia Interregional de la OMS (27 páginas)	3/6	0,60	2,—
352	(1967) Comité de Expertos de la OMS en Cólera Segundo informe (32 páginas)	3/6	0,60	2,—
353	(1967) Evaluación de la salubridad de la vivienda y del medio urbano Informe de un Comité de Expertos de la OMS (56 páginas)	5/-	1,00	3,—
354	(1967) Comité Mixto OIT/OMS de Higiene del Trabajo Quinto informe (20 páginas)	3/6	0,60	2,—
355	(1967) Utilización de los servicios sanitarios en la enseñanza de la medicina 16° informe del Comité de Expertos de la OMS en Formación Profesional y Técnica del Personal Médico y Auxiliar (37 páginas)	5/-	1,00	3,—
356	(1967) Empleo inocuo de los plaguicidas en salud pública 16° informe del Comité de Expertos de la OMS en Insecticidas (72 páginas)	6/8	1,25	4,—
357	(1967) Comité de Expertos de la OMS en Paludismo 13° informe (61 páginas)	5/-	1,00	3,—
358	(1967) La enseñanza de la inmunología en las escuelas de medicina Informe de un Comité de Expertos de la OMS (48 páginas)	5/-	1,00	3,—
359	(1967) Comité de Expertos de la OMS en Filariasis (Infecciones por <i>Wuchereria</i> y por <i>Brugia</i>) Segundo informe (50 páginas)	5/-	1,00	3,—
360	(1967) Biología de la regulación de la natalidad por la contención periódica Informe de un Grupo Científico de la OMS (22 páginas)	3/6	0,60	2,—
361	(1967) Comité de Expertos de la OMS en Patrones Biológicos 19° informe (122 páginas)	8/6	1,75	5,—
362	(1967) Necesidades de vitamina A, tiamina, riboflavina y niacina Informe de un Grupo Mixto FAO/OMS de Expertos (95 páginas)	5/-	1,00	3,—
363	(1967) Servicios de prevención y tratamiento de la dependencia causada por el alcohol y otras drogas 14° informe del Comité de Expertos de la OMS en Salud Mental (46 páginas)	5/-	1,00	3,—
364	(1967) Principios aplicables a la investigación experimental de la acción teratogena de los medicamentos Informe de un Grupo Científico de la OMS (20 páginas)	3/6	0,60	2,—
365	(1967) Los métodos epidemiológicos en el estudio de las enfermedades crónicas 11° informe del Comité de Expertos de la OMS en Estadística Sanitaria (34 páginas)	3/6	0,60	2,—
366	(1967) Normalización de las técnicas de estudio de la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa Informe de un Grupo Científico de la OMS (57 páginas)	5/-	1,00	3,—
367	(1967) Tratamiento y evacuación de desechos Informe de un Grupo Científico de la OMS (34 páginas)	4/-	0,60	2,—
368	(1967) Ecología de los mosquitos Informe de un Grupo Científico de la OMS (24 páginas)			
369	(1967) Los arbovirus y su importancia en patología humana Informe de un Grupo Científico de la OMS (92 páginas)	8/-	1,25	4,—