

Revisiones

Valoración fisiológica del ejercicio físico en medicina del trabajo

A. Real Horrach, J. M. Clar Forteza, A. Gómez García, F. J. Rosselló Colom, J. Sevilla Ribas

Resumen

Presentamos una revisión de la fisiología del ejercicio físico adaptada al marco de la medicina preventiva con un intento de elaborar un programa de entrenamiento físico a todo trabajador para poder reducir el sedentarismo al que en ocasiones se ve obligado por diferentes razones. Conociendo las dolencias planteadas por el propio trabajador como punto de partida planificamos su examen métrico-fisiológico para introducirlo en la práctica del ejercicio físico. Dicho examen será exhaustivo teniendo en cuenta las variaciones que existen en cuanto a edad y sexo, además de otros parámetros que irán saliendo a lo largo del desarrollo de esta revisión. Analizando los factores limitantes y las contraindicaciones a la práctica del mismo, estableciendo por otra parte las normas para su adecuada prescripción. Al final se exponen los resultados que podrán obtenerse con el seguimiento de este programa.

Departamento de Medicina Preventiva de Mutua Balear

Introducción

Hoy en día nos encontramos ante un serio problema. El sedentarismo. Digno de tener en cuenta dada las graves repercusiones tanto directa como indirectamente derivadas del mismo.

A la hora de realizar el reconocimiento médico al trabajador nos desborda la inagotable lista de problemas planteados por el mismo trabajador derivados en gran parte de la «inmovilidad» a la que se encuentra sujeto, entre ellos podemos mencionar dada su elevada frecuencia:

- Aparición temprana de varices en extremidades inferiores así como las complicaciones de ellas derivadas tal es el caso de flebotrombosis.
- Lumbalgias, cervicalgias, incluso verdaderas artropatías vertebrales.
- Modificaciones degenerativas de los meniscos, parestias y parestias que se deben a compresiones nerviosas o circulatorias.
- Verdaderas escoliosis en determinados tipos de trabajo en que se precise soportar grandes pesos con las manos.
- Es necesario señalar toda una extensa gama de síntomas diversos como cefaleas, palpitaciones, mialgias inespecíficas, artralgias, «neurosisismo», acufenos, fotopsias...

Que si bien estos no constituyen una entidad fisiológica como tal las repercusiones derivadas de ellos incapacitan al trabajador física y psicológicamente disminuyendo al mismo tiempo su rendimiento.

Todos estos síntomas deben de ser examinados a fondo e individualizarlos en cada trabajador para descartar una posible base orgánica aunque en la mayoría de los casos no existe fundamento sólido, se trata de molestias vagas descritas de forma imprecisa y padecidas de manera anár-

quica lo cual no descarta el sufrimiento de la persona en cuestión. No se trata de personas con una base psicosomática de fondo, al menos la mayoría. Son problemas atribuibles a su falta de dinamismo. Son estos síntomas precisamente los que rayando como hemos mencionado la esfera psicosomática los que intentamos abolir o disminuir en gran medida con el manejo de toda una serie de medidas preventivas basadas en el ejercicio físico.

En este trabajo pretendemos por un lado iniciar a la persona en un programa de ejercicio físico que mejora su salud, entendemos en este momento como salud el criterio subjetivo que lleva al trabajador a expresarse de manera espontánea y con sinceridad: «me siento sano». Al mismo tiempo que se le podrá detectar cualquier anomalía que le impide alcanzar este sentimiento de bienestar.

Desde antiguo existe la creencia que para mantener la mente sana es preciso mantener el cuerpo sano. Por ello nos hemos decidido a estudiar a la persona como tal y en su ambiente de trabajo para poder así evaluar sus hábitos y modo de vida asesorándole de esta manera en la práctica del ejercicio físico que mejor le convenga.

Iniciamos este estudio con un repaso de las características del funcionalismo corporal, su regulación y las variaciones del mismo ante situación de demanda.

Fisiología del ejercicio

El organismo animal oxida a los glúcidos, a los lípidos, y a algunos proteínas hasta demolerlos en CO_2 y H_2O produciendo energía que es utilizada para los procesos vitales: el trabajo externo, la resíntesis de sustancias complejas a partir de moléculas simples (anabolismo), y el transporte activo.

La cantidad de energía liberada en el organismo por unidad de tiempo es la tasa metabólica, el factor que más contribuye a su incremento es el ejercicio muscular.

Como el O_2 no es almacenable y su consumo siempre guarda relación con las necesidades inmediatas excepto cuando se contrae o se paga una deuda de O_2 , la cantidad de O_2 consumida es proporcional a la energía liberada. Por estos motivos la tasa metabólica se mide por calorimetría indirecta, es decir por O_2 consumido. Por cada litro de O_2 consumido se liberan 4,82 calorías = 5 calorías.

Otros factores que hacen variar en menor grado la tasa metabólica son: temperatura ambiental y corporal, estado emocional, menstruación y embarazo, tirotoxicosis, edad, peso, superficie corporal, ingestión reciente de alimentos, etc.

El músculo es el prototipo de máquina que convierte energía química en energía mecánica. La energía que utiliza el músculo se obtiene por los siguientes mecanismos:

- a) La demolición de la glucosa hasta CO_2 y H_2O a través de la vía anaeróbica de Embden Mejerhof y luego por vía aeróbica y mitocondrial del ciclo de Krebs (en conjunto el proceso se llama glucolisis)
- b) La demolición de ácidos grasos
- c) La desaminación de algunos aminoácidos
- d) La utilización energética de los lactados por la fosforilación oxidativa
- e) La utilización de los cuerpos cetónicos por la conversión de un exceso de la acetil coenz. A en aceto-acetil CoA, que posteriormente en el hígado se transforma en ácido-diocético y sus derivados
- f) Utilización pirúvatos (el ácido pirúvico es el producto final de la vía anaeróbica de la glucólisis) que en

presencia de O_2 en cantidad suficiente penetra en el ciclo de Krebs.

Los sustratos mencionados necesitan siempre O_2 para liberar energía, es decir generan energía en aerobiosis. Una excepción a este hecho fundamental es la vía anaeróbica de Embden Mejerhof que libera energía, sin necesidad de O_2 , pero es muy pequeño comparado con la que forma el ciclo de Krebs.

Además aunque todos generan energía es indudable que la mayor proporción de energía se extrae del catabolismo de los glúcidos y de los lípidos.

La reserva de energía mas económica radica en las grasas. El total de reserva bajo forma de H de C es probablemente menos de 2.000 cal. en un individuo normal y de vida sedentaria. En contraste un hombre de 70 kgr de peso que sólo contenga un 8 % de cuerpos grasos (valor extremadamente bajo) puede extraer 50.000 cal. de ese depósito. A favor de los H de C está el hecho de tener un coeficiente respiratorio de 1 mientras que el de los lípidos es de 0,70, lo que indica la necesidad de más cantidad de O_2 para llegar al producto final de CO_2 y H_2O de donde surge una mayor eficacia de los H de C.

En condiciones fisiológicas la deuda de O_2 solamente la puede contraer el músculo esquelético para cumplir ciertas exigencias energéticas. El miocardio es muy sensible al aumento de concentración de ácido láctico, pudiendo provocarse entonces arritmias graves o alteraciones hemodinámicas importantes estableciendo esta circunstancia una diferencia entre el músculo esquelético y cardíaco. Se puede resumir esta diferencia del siguiente modo: el miocardio es un órgano aeróbico, mientras que el músculo esquelético es principalmente aeróbico y circunstancialmente anaeróbico.

Se ha demostrado que el individuo entrenado acumula glucógeno por el efecto entrenamiento, tanto es así que durante el ejercicio, la mayor cantidad de energía la extrae de la glucogenólisis y posterior glucólisis a partir de la glucosa 6 fosfato. Por el contrario un individuo sedentario con pocas reservas de glucógeno extrae energía durante el esfuerzo de los ácidos grasos libres con el inconveniente que en el metabolismo intermedio de los mismos algunos de sus componentes inhiben parcialmente las vías aeróbicas produciendo hipoxia histotóxica.

La energía liberada por el catabolismo de los sustratos no es utilizada directamente por las células. Esta se aplica a la formación de enlaces tipo ester entre los residuos del ácido fosfórico y ciertos compuestos orgánicos. Estos enlaces son muy ricos en energía tanto es así que cuando se hidroliza el enlace y se libera el fosfato quedan en libertad alrededor de 10 a 12 cal.

Los compuestos que poseen los enlaces fosfóricos ricos en energía son los fosfatos o compuestos macroenergéticos que actúan como intermediarios obligados en su aplicación desde los sustratos a las células, actuando además como forma de reserva de la energía. El más importante es el adenosintrifosfato o A.T.P. Esta molécula que es el almacén de energía del organismo, por hidrólisis a adenosindifosfato o ADP libera la energía necesaria para el trabajo externo, transporte activo o la síntesis de substancias complejas.

Otro compuesto macroenergético importante en el músculo, es el fosfato de creatina o fosfocreatina que cumple funciones de depósito. Cuando hay un exceso de ATP este se hidroliza en ADP y libera energía que se aplica a la unión del ácido fosfórico con la creatina formando fosfocreatina. Cuando existen requeri-

mientos energéticos, como la actividad muscular, la creatinfosfoquinasa (CPB) hidroliza la fosfocreatina liberando la energía para que el ADP pase a ATP este a su vez por la acción de la adenasintrifosfatasa liberada desde las cabezas de miosina vecina a la actina por la acción del calcio se hidroliza en ADN y ácido fosfórico liberando la energía necesaria para la contracción de las proteínas contráctiles.

Regulación de la actividad muscular en el ejercicio

Cuando del reposo físico se pasa a la actividad muscular durante un período de tiempo (ejercicio), el sistema nervioso autónomo y el sistema endocrino, por intermedio de las hormonas, ajusta y correlaciona el organismo para hacer frente a las demandas del medio externo e interno. Existen adaptaciones respiratorias y cardiovasculares para hacer frente a dichas demandas.

Las adaptaciones respiratorias. El músculo convierte energía química en mecánica para ello requiere el consumo de O_2 . Al no almacenarse el O_2 , la cantidad de O_2 consumida es proporcional a la energía liberada, dicho de otro modo si medimos el consumo de oxígeno en un ejercicio de potencia dada, comprobamos que dicho consumo está en función directa del gasto de energía.

A nivel de los pulmones el débito ventilatorio experimenta una evolución paralela a la del consumo de O_2 . Existe un aumento inicial rápido seguido de inflexión de éste, llegando finalmente a una fase de estabilidad. El carácter, primero instantáneo y más tarde progresivo, de la aceleración y de la desaceleración respiratoria permite establecer la hipótesis de la existencia de la intervención de un mecanismo nervioso, reflejo en prin-

cipio, y más tarde humoral. Estando implicadas en el mecanismo nervioso los centros corticales y subcorticales así como la intervención del sistema nervioso periférico de naturaleza refleja.

El metabolismo se multiplicará por ciento durante la actividad máxima con la consiguiente alteración de la composición de la sangre venosa.

La sangre venosa mezclada aparece desaturada de oxígeno. La $Pv O_2$ durante el trabajo es notablemente inferior a la $Pv O_2$ en reposo (pasa de 40 mmhg a 10 mmhg). La diferencia entre $Pa O_2$ (alveolo-pulmonar) por un lado y $Pa O_2$ y $Pv O_2$ por otro se acentúa. La consecuencia es una difusión más cómoda de O_2 al lecho capilar. El aumento de esta superficie de intercambio se efectúa gracias a los capilares normalmente colapsados en reposo; por la dilatación de los demás y por el despliegue de alveolos inactivos en reposo. En conjunto estos mecanismos aumentan la capacidad de difusión del O_2 . La $Pa O_2$ (arterial) desciende ligeramente durante la máxima actividad. Pero la hemoconcentración que se produce durante la misma implica un aumento de la CAO_2 que pasó de 20 ml/100 ml en reposo a 22 ml/100 ml durante la actividad máxima.

El PH está descendiendo a causa de la aparición de metabolitos ácidos.

A todo ello debemos añadir que la mejor parte de energía utilizada durante la concentración muscular se transforma en calor, lo que explica la notable elevación térmica corporal. Según la intensidad del ejercicio, la temperatura y el grado higrométrico del ambiente, la temperatura corporal aumentará más o menos. La experimentación ha demostrado que bastan unas pocas décimas de elevación de la temperatura para que aparezca hiperventilación.

Las adaptaciones cardiovasculares. Es preciso no olvidar que tanto

las adaptaciones respiratorias como las adaptaciones cardiovasculares son concomitantes. Recordemos los preceptos de Flandrois y Lacour (1970): «Las sinergias respiratorias ... no pueden considerarse como independientes de las sinergias circulatorias, ya que ambas series de factores coinciden en asegurar un establecimiento correcto de los tejidos». Según ello queda expuesto en la ecuación de Fick:

$$VO_2 = Q (CaO_2 - CvO_2).$$

VO_2 = consumo O_2

Q = débito cardíaco

CaO_2 = concentración arterial O_2

CvO_2 = concentración venosa O_2

A) *Sinergias vasculares*: El débito circulatorio a nivel de los músculos en actividad está aumentando. Este aumento que tiene lugar desde el inicio del ejercicio es proporcional a la intensidad del mismo.

El aumento del débito local se realiza a través de dos mecanismos:

1. Aumento del débito cardíaco, desde unos 5 l/minuto en reposo hasta unos 30 l/minuto en ejercicio.
2. Vasodilatación de los capilares cerrados. La mayor parte del resto de tejidos en reposo sufren una vasoconstricción. Esto es tanto más importante cuanto más intenso es el ejercicio; constituyen una excepción:
 - territorio cerebral, que no está afectado,
 - territorio pulmonar, en el que la vasodilatación intensa favorece la hematosis,
 - territorio cutáneo cuya vasodilatación está en función de la intensidad del ejercicio y ambiente exterior,
 - disminución del calibre de todas las venas.

No se puede hablar de circulación sanguínea sin referirse a la presión arterial de hecho durante el

ejercicio la cifra máxima aumenta ligeramente, pero ni en el desarrollo del más intenso ejercicio llega a elevarse por encima de 18 (en sujetos de 20 a 30 años) de sobrepasar esta cifra hay que pensar que nos hallamos ante el estigma de un sobreesfuerzo o de un exceso en entrenamiento.

B) *Modificaciones del débito cardíaco durante el ejercicio*: El débito cardíaco parece evolucionar de manera paralela al débito ventilatorio. Dicho débito es proporcional a la intensidad del ejercicio y al VO_2 . Así, a cada carga de trabajo va a corresponder un VO_2 y un débito (Q).
 $Q = Fc \times Vs$

Fc = Frecuencia cardíaca

Vs = Vol. sistólico de eyección

La Fc evoluciona paralelamente al débito, al iniciarse y finalizar el ejercicio será tanto más elevado cuanto más intenso es el ejercicio. Dentro de ciertos límites, la evolución de la Fc en relación a la intensidad del ejercicio se establece de modo lineal.

Pero la Fc está supeditada a un factor importante: la edad

10-20 años	200
21-30 años	195
31-41 años	191
41-50 años	187
51-60 años	182
61-70 años	178
71-80 años	174

Hecho que explica que en las mismas condiciones el VO_2 máximo disminuye con la edad.

El incremento del V_5 depende a su vez de dos factores:

- a) El mecanismo de Starling, que es tardío y depende del retorno venoso.
- b) El mecanismo inotrópico o de aumento de la contractilidad que determina el mejor vaciamiento cardíaco y el aumento del volumen sistólico al iniciarse el ejercicio.

El aumento de la contractilidad significó la capacidad de desarrollar mayor fuerza o presión en el mismo tiempo o a la inversa alcanzar la misma presión en un tiempo menor.

Estos dos factores que dependen del estímulo simpático por aumento de la concentración de catecolaminas son los responsables de la función consiguiente consistente en incrementar el débito cardíaco para adecuarse a los requerimientos periféricos que determina el ejercicio.

Examen métrico-fisiológico para la introducción al ejercicio físico

De los recientes estudios y experimentaciones se deduce que lo práctico del deporte además de mantener al sujeto en «buenas condiciones de salud» ayuda a la prevención y/o reducción de toda una serie de factores de riesgo. Por ello creemos necesario e imprescindible la práctica del deporte, no en plan competitivo, al menos para todos, sino para ayudarnos a mejorar nuestra calidad de vida.

Se iniciará el estudio con la necesaria y valiosa historia clínica junto con una exploración general, con el deseo no clasificatorio del trabajador sino conocerlo y valorar sus aptitudes.

Una vez realizado el reconocimiento médico se pasa a orientar al trabajador según cualidades y preferencias. Se trata por tanto de una labor preventiva y/o profiláctica a través del deporte.

La historia clínica constará de:

1) Anamnesis específica y detallada incluyendo posibles antecedentes patológicos. Se insistirá en hábitos dietéticos, la aportación calórica, distribución de glúcidos, lípidos y prótidos así como la ración hídrica.

2) Examen morfológico:

A) *Talla y peso*. Podremos calcular la existencia de un exceso o déficit ponderal y establecer el peso ideal así como calcular las necesidades energéticas a través de las siguientes fórmulas que si bien no son absolutamente exactas nos dan una idea muy aproximada:

$PI = (talla \text{ en cm} - 150) \times 0,75 + 50$, admitiendo una variabilidad de 10 % o bien:

$PI = talla \text{ en cm} - 100$, admitiendo menos 10 % en o y menos 15 % en q, eso para tallas comprendidas entre 1,60 y 1,80.

De los resultados obtenidos clasificaremos las obesidades en:

- discreta; cuando el sobrepeso no sea superior 10 %
- moderada; cuando el sobrepeso esté comprendido entre un 11 % y 25 %
- intensa; cuando el sobrepeso sea superior a un 25 % sin llegar a un 50 %
- extrema; cuando el sobrepeso supere un 50 %

Las necesidades energéticas basales se obtendrán:

$MB = \text{peso kgs} \times 24 \text{ horas} \times 1 \text{ kcal}$. (MB = Metabolismo basal)

Se tendrá en cuenta la energía consumida atendiendo al tipo de trabajo, aproximadamente se puede establecer:

- reposo absoluto encamados 1/10 de cal del MB
- reposo físico muy ligero como puede ser un oficinista, escritor. 1/6 de cal MB
- reposo físico ligero tal es el caso de labores domésticas... 1/3 de cal del MB
- actividad física mediana sería el ejemplo de un mecánico... 2/3 de cal del MB
- actividad física pesada como es el caso de mineros, albañiles 3/3 cal del MB

B) *Distribución y masas musculares*.

C) *Control columna vertebral.*

D) Intentar clasificar el biotipo atendiendo a la exploración del tórax y en inspiración y espiración; exploración talla y cuello, exploración brazos, muslos y pantorrillas. Asimismo clasificar el índice de robustez, mediante:

A-B 8 índice robustez de Ruffier
A = perímetro en axila en inspiración
– perímetro umbilical en espiración
B = Talla en cm – 100 – peso kg.
E) Utilizar dinamometría.

3) Aptitud cardiovascular, incluirá:

– TA
– Pulso
– ECG 1.º de reposo
2.º de esfuerzo
– Test de flack: consiste en hacer soplar en un manómetro de mercurio en forma de V de 4 mm después de una inspiración forzada, tratando de mantener un desnivel de 40 mm apuntando el n.º de pulsaciones cardíacas cada 5 segundos con una duración de 40 segundos para todo el test. No debiéndose de elevar más de 10 pulsaciones.
– Prueba de esfuerzo para evaluar las reacciones cardíacas.
– Prueba de Pachon-Martinet: consiste en la realización de 20 flexiones de piernas en 40 segundos. La aceleración de 20 flexiones de piernas en 40 segundos. La aceleración del pulso no debe superar unas 20 o 30 pulsaciones por minuto, la recuperación debe hacerse en 2 minutos la TA no debe pasar de 20 para la sistólica y de 10 la diastólica.
– Pruebas de Ruffier-Dickson y de Lion, que se basan en el mismo principio.

4) Control respiratorio:

– Volumen corriente (VC).
– Volúmenes de reserva respiratoria y espiratoria (URI y URE).
– Capacidad vital (CV).
– Ventilación máxima minuto (VMM).

– Vol, espiración máxima por segundo (VEMS).
– Índice Tiffeneau (75 %).

5) Control de la actividad neuromuscular

6) Si fuera preciso se completará con control ORL, EEG, oftalmólogo

7) Estudio biológico:

Hemograma completo y VSG
Glucemia (y curva si fuera preciso)
Pruebas de función renal: urea y creatinina así como sedimento
Balance hepático

Acido úrico

Es posible asimismo prácticas de: amoniemia, piruvicemia, lactasidemia, mucoproteínas en orina, 17 OH cetosteroides urinarios, VMA urinaria, hidroxiprolina en orina.

8) En último término, una entrevista psicológica que tenga lugar en un clima de confianza y cooperación motivo con la ayuda de los elementos que indicamos, podremos dar una respuesta rápida útil, seria y eficaz al interrogante: «¿Estoy capacitado para el deporte?».

El conjunto de datos obtenidos permite conocer las reacciones a un trabajo bien definido y puede utilizarse, pues, para prescribir un entrenamiento de una intensidad inmediatamente inferior al umbral de respuesta.

Las reacciones a la prueba de esfuerzo pueden valorarse con respecto a determinadas constantes en función de la edad, en lo que se refiere al ritmo cardíaco, la capacidad de trabajo y la tensión arterial.

– El ritmo cardíaco admisible durante el ejercicio debe alcanzar un 85 % del valor máximo que corresponde a la edad del paciente.

– Las variaciones autorizadas de la tensión arterial son más importantes (TA sistólica de 160 a 250: TA diastólica de 50 a 90). Se considera-

TABLA I
PRINCIPALES REACCIONES AL EJERCICIO MÁXIMO EN INDIVIDUOS NO ENTRENADOS

EDAD	RITMO CARDIACO (máx. 85 %)	CAPACIDAD DE TRABAJO* máximo (MET)		TA. MÁXIMA*	
		♂	♀	♂	♀
21-30	195	12	10	195/75	162/79
31-40	191	11	9	198/80	175/85
41-50	187	10,5	8	200/85	180/85
51-60	182	9,5	7,5	200/85	185/85
61-70	178	8,5	6	206/90	188/90
71-80	174	6	5,5	196/90	190/85

* Sobre 2.700 individuos estudiados en el lab. de biodinámica de la Univ. de Wisconsin Madison.

rá que una reacción es hipertensiva a partir de una TA sistólica de 225 y una TA diastólica de 90 mm hg.

– La capacidad máxima de trabajo decrece normalmente con la edad aunque es obvio que varía en función de la condición física del individuo, del peso de este y de la existencia o no de enfermedades cardiopulmonares.

Contraindicaciones y factores limitantes

Los individuos que presentan contraindicación absoluta no pueden pretender por ningún concepto realizar programas y ejercicios, ni siquiera moderados. Pueden eso sí, ser objeto de una nueva valoración posterior con posible supresión de la contraindicación.

Son contraindicaciones absolutas:

- Infarto agudo de miocardio (\leq 8-10 semanas).
- Angina de pecho inestable rápidamente evolutiva.
- Insuficiencia cardíaca descompensada.
- Miocarditis activa.
- Trastornos del ritmo mal reducidos.
- Trastornos de la conducción: bloqueo auriculoventricular de 2.º y 3.º grado.
- Estenosis valvular o enfermedad cardíaca cianógena.
- Isquemia cerebral transitoria.
- Reac. a los ejercicios en forma de:

- Arritmias, bradicardias.
- Extrasístoles ventriculares.
- Síntomas de angor en el curso de trabajos de media intensidad.
- Descenso de ST \geq 4 mm o elevación.
- Capacidad de trabajo \leq 4 met.
- Trastornos pulmonares obstructivos o restrictivos.
- TEP.
- A nivel metabólico:
- Diabetes mellitus mal controlada.
- Hipertiroidismo en fase de crisis.
- Insuficiencia corticosuprarrenal.
- Insuficiencia hepática o renal.
- Enfermedad infecciosa en fase de crisis.
- Tromboflebitis.
- Artritis en fase de crisis.
- Anemia de cualquier naturaleza.

Contraindicaciones relativas

- Angor o trabajos de intensidad media (6 – 8 MvT).
- HTA mal controlado.
- Medicamentos: B bloqueantes: Propanolol (peligro de claudicación cardíaca aguda). Digital (peligro de arritmias). Reserpina. Quinidina. Diuréticos.
- Asma inducida por un ejercicio mal equilibrado.
- Enfermedades neurológicas y osteomuscular, invalidantes: hemiplejias, polineuritis, miopatías, artrosis, artritis, anquilosis, etc.

Valoración de la intensidad del ejercicio

El gasto cardíaco (Q) y el ritmo cardíaco (fc) aumentan proporcionalmente al porcentaje de oxígeno máximo consumido (VO_2 max). La Fc es el determinante principal de Q para intensidades de trabajo superiores a un 50 % VO_2 max. de modo que los aumentos de Fc refleja bien los aumentos de Q.

La presión de eyección se ve aumentada por el incremento de TA sistólica y por la disminución de la TA diastólica, estas variaciones de la TA reflejan el equilibrio que existe entre el aumento de Q y la correspondiente disminución de las resistencias periféricas.

El consumo de O_2 por el miocardio (MVO 2) está estrictamente relacionado con la Fc y la poscarga ventricular.

Durante el ejercicio aumenta la distribución del flujo sanguíneo hacia los músculos activos, el miocardio y la piel, mientras disminuye el riego sanguíneo visceral. La diferencia arteriovenosa de oxígeno (A-V) O_2 es máxima cuando aumenta el consumo muscular de oxígeno, en caso de esfuerzo máximo:

$$VO_2 \text{ max} = Q \text{ max (A-V) } O_2$$

La medición de VO_2 max. nos informó de la energía consumida durante el esfuerzo, esta energía consumida por unidad de tiempo es el índice metabólico que podrá expresarse en Met siendo el Met aceptado como unidad energética más adecuada a los fines de medir el esfuerzo. En reposo y en condiciones basales el consumo de O_2 de cualquier individuo es de 3,5 ml de O_2 por minuto y por kg de peso, este valor es el coste energético del metabolismo basal y es el equivalente a la unidad de MET (MET = 3,5 ml O_2 / kg minuto).

Concepto de capacidad funcional

Al evaluar la capacidad funcional (CF) de un individuo se explora su capacidad total para transportar el oxígeno con un enfoque primario pero no exclusivo del corazón, distinguimos:

– Capacidad funcional útil (CFU): es el nivel de esfuerzo que traduce el límite de actividad compatible con la ausencia de síntomas y o signos eléctricos, hemodinámicos o clínicos. Se puede expresar en METS o consumo de O_2 ml/kg mto.

– Capacidad funcional límite (CFL) representa el nivel de trabajo en el cual la evolución del paciente se define como anormal por clínica, por trastornos del ritmo y/o conclusión, por isquemia...

El intervalo comprendido de CFU a CFL es el margen de seguridad y es de desear que el individuo realice sus actividades habituales sin ingresar en el mismo.

– Capacidad funcional máxima (CF mx.) es el máximo nivel de trabajo que puede alcanzar el paciente durante la prueba de esfuerzo. Se observan mayores valores de CF max. en el sexo masculino, jóvenes y atletas, siendo por el contrario los valores menores registrados en las mujeres, personas de edad y sedentarios.

Por ello la relación funcional entre VO_2 max o CFM x expresado en MET (MMET) y Fc proporciona una base clínica para ajustar la intensidad de los ejercicios justo por debajo del valor máximo o sea CFL; expresado en MET en entrenamiento (TMET) y Fc en entrenamiento. Los valores de entrenamiento se fijan aproximadamente en un 75 % de MMET y un 80 % de FC.

Balke ha propuesto una fórmula útil para el cálculo de los TMET basada en MMET y el aumento total de FC desde el reposo hasta el trabajo má-

ximo: El MET suma a un valor básico de 60 con objeto de observar «porcentaje de MET/peso» para calcular el nivel de entrenamiento: este porcentaje se aplica directamente al MMET para obtener el TMET:

$$TMET = MMET \times (60 / MMET) \%$$

TMET = MET en entrenamiento

MMET = MET máximo

En el caso de la Fc el valor en porcentaje de MET por peso de FC máxima y Fc en reposo se suma a Fc en entrenamiento:

$$THR = RHT \quad (MHR - RHR) \times (60 / MMET) \%$$

THR = FC entrenamiento

RHR = FC reposo

MHR = FC máximo

Indicación de actividad

Establecidas las bases para evaluar la intensidad del ejercicio corresponde responder a los interrogantes: ¿Qué puede hacer? y ¿Cuánto puede hacer?

La prescripción de tipo y nivel de actividades se basa en el concepto de capacidad funciona útil (CFU) la expresión del trabajo en METS de una idea de consumo de oxígeno por Kg de peso y minuto, corrigiendo para las actividades dinámicas el diferente peso corporal del paciente. Establecido el valor en METS de CFU y CFL se extrapola sus valores a tablas en las cuáles se han tabulado el equivalente a esa unidad metabólica, de distintas actividades: domésticas, laborales, recreativas... Conjuntamente con las tablas descritas existen las confeccionadas en base al consumo energético calórico y su equivalente (equicalorías) (ver tablas). Ambas tablas se pueden correlacionar empleando un factor de conversión de 5 calorías/mto por litro de oxígeno consumido, vale de-

cir 200 ml/mto es igual a 1 cal conocida la cifra en METS se multiplica por los kilos de peso del paciente para obtener una cifra del consumo O₂ minuto. Dividiendo este producto por el factor de conversión (200 ml/mto: 1 cal) se obtendrá el valor en calorías. Por la operación inversa se obtiene en METS a partir de calorías.

Normas en la prescripción de actividad

1) Todo plan en actividad física debe ser cuidadosa e individualmente discutido y programado.

2) Debe tenerse como norma elemental que aún los pacientes con bajo CFU y CF max pueden beneficiarse con un programa de entrenamiento físico siempre que no de CFU a CFL.

3) Se debe utilizar el principio del trabajo aeróbico; no pasar del área de seguridad que va de CFU a CFL.

4) Las actividades que se indiquen podrán ser dinámicas o estáticas. En las actividades dinámicas o rítmicas el músculo variará la longitud de su contracción. Son ejemplos de este tipo de ejercicio: caminar, trotar, comer, nadar...

En las actividades estáticas o isométricas los extremos del músculo permanecen fijos, de manera tal que no se verifique acercamiento de significación durante la contracción.

Este tipo de trabajo se verifica especialmente cuando se empuja, se levanta, se transporta objetos pesados.

Se debe recordar que la respuesta hemodinámica al ejercicio isométrico difiere de la del ejercicio dinámico fundamentalmente en los siguientes aspectos: el ejercicio dinámico produce un incremento importante de la Fc y moderado de las TAS y GC. La TAS se eleva lentamente o descien-

TABLA II
TABLA DE EQUI.-METS. (PARA UN HOMBRE DE 70 KG DE PESO)

	CAL./MIN	METS.
ACTIVIDADES CUIDADO PERSONAL:		
- Vestirse o desvestirse	2,3	2
- Lavarse las manos, cara	2,5	2
- Ducharse	4,2	3,5
ACTIVIDADES CASERAS:		
- Pelar patatas	2,9	2,5
- Lavado vajilla	3	2,5
- Limpieza ventanas	3,7	3
- Hacer camas	3,9	3
- Planchar de pie	4,2	3,5
- Escurrir ropa	4,4	3,5
- Limpieza alfombras	4,9	4 etc.
ACTIVIDADES LABORALES:		
- Trabajo de escritorio	2,5	2
- Escribir a máquina	2,5	2
- Manejo calculadoras eléctricas	2,5	2
- Manejo automóvil	2,8	2
- Reparación relojes	1,6	1,5
- Costura a máquina	2,9	2,5
- Animador de radio	2,7	2,5
- Reparación de autos	4	3
- Atención de un bar	4	3
- Peón construcción	4,1	3,5
- Arado con tractor	4,2	3,5
- Arado con caballo	5,9	5
- Carpintería	6,8	5,5
- Pintura de paredes	6	5
- Jardinería	7	6
- Podado de árboles	8	6,5
- Remoción de tierra con palo (10 min/22 kg)	8	7
- Cavado zanjas	10	7 etc.

de por la vasodilatación de los músculos en contracción.

La contracción isométrica por el contrario produce un aumento moderado pero inmediato de la FC y un aumento importante y casi instantáneo de la tasistólica, diastólica, media y GC.

5) Todo ejercicio debe ser ajustado a ciertas condiciones de intensidad, duración y frecuencia. Cualquier tipo de programa individual o en grupo tendrá una eficacia que será en forma directamente proporcional a la regularidad y asiduidad del sujeto en el cumplimiento del trabajo instituido.

Resultados que pueden obtenerse

En base a los resultados expuestos de las distintas investigaciones en

los pacientes sometidos a entrenamiento físico han sido llamativamente similares y en general son los siguientes:

a) Disminución del nivel de Fc. en reposo y durante el desarrollo de esfuerzos. Mejora de la eficacia miocárdica: mayor rendimiento con menos costo.

b) Descenso de la presión arterial sistólica, en reposo y durante el desarrollo de esfuerzo, vale decir de la presión dinámica con la cuál vivimos, trabajamos etc.

c) Significativo aumento en la capacidad física de trabajo.

d) Disminución del índice tensión - tiempo modificado (ITTM), con pequeñas cargas y aumentos de este índice en trabajos submáximos o máximos índice significativo de la mejoría de la eficacia miocárdica.

e) Mejoría del índice de reducción funcional aeróbica.

f) Disminución de los lípidos en suero. Este hecho es sobre todo evidente en lo que se refiere a triglicéridos, puesto que disminuye la trigliceridemia postprandial y en ayunas, con la consiguiente reducción de la viscosidad sanguínea.

g) Aumento de la capacidad fibrinolítica, al menos transitoriamente. Este efecto parece ser beneficioso cuando se incrementa la actividad de forma moderada y crónica, no siendo así cuando la actividad es intensa y de tipo competitiva.

h) Disminución de la vulnerabilidad a las disrritmias.

i) Aumento de la tolerancia al estrés.

j) Se observará una acentuada sensación de bienestar físico que mejora la confianza y la autoestimación del sujeto.

k) Incremento en la eficacia de los mecanismos periféricos mejorando el retorno venoso.

l) Significativa disminución del esta-

do de ansiedad y cambio marcado de las normas de comportamiento en el medio que le rodea.

Se ha demostrado la evidencia de una disminución del índice de morbilidad en los sujetos más activos comparados con los sedentarios.

BIBLIOGRAFIA

1. Broustel, J.P. *Cardiología Deportiva*. Ed. Toray-Masson, S.A. 1980.
2. Guillet, R.-Genety-J. *Manual de Medicina del Deporte*. Ed. Toray-Masson, S.A. 1978.
3. Ejercicio Físico: Indicaciones y contraindicaciones. *Tiempos Médicos*, L (*L, N.º 185, 8-20).
4. E. Laurence, Morehouse. *Vida Total*. Ed. Cosmos.
5. Boskis, Bernardo. *Manual de Ergometría y Rehabilitación en Cardiología*. Edic. Científico-Técnicas Americanas 1974.
6. Silbernagl, S., Despopoulos, A. *Atlas de Fisiología*. Ed. Lab. Novag, S.A. 1982, 68-80; 168-172.
7. Arthur, C. Guyton. *Tratado de Fisiología Médica*. Ed. Inter-Americana 1977, 167-174, 519-523.
8. Lehmann, Gunther. *Fisiología Práctica del Trabajo*. Ed. Aguilar, 1960.