

EVALUACIÓN DE LA POTENCIA AERÓBICA

JAVIER MALLO

ÍNDICE

A. INTRODUCCIÓN.

B. CONCEPTOS PREVIOS.

Fundamentos Fisiológicos de la obtención de energía
Obtención de energía por la vía Aeróbica
Implicación de las Grasas y Proteínas en la vía aeróbica
Resumen de las distintas vías para obtener energía
Revisión terminológica

C. EVALUACIÓN

I. Pruebas de campo para valorar la Potencia y Capacidad Aeróbica Máxima

Test de Cooper.
Course Navette o test de L. Léger.
Test de la Universidad de Montreal.
Test de los 5 minutos.
CAT-Test (Chanon y Stephan).
Prueba de Rockport.
Prueba de George-Fisher.
Otras formas de determinar el VO₂ máx. a partir de carreras sobre diferentes distancias.

II. Pruebas de laboratorio para valorar la Potencia y Capacidad Aeróbica.

Protocolo EMD-T.
Protocolo EMD-B1.
Protocolo Complutense.
Protocolo EMD-82.
PWC 170 y PWC 150.
Protocolo de Bruce para tapiz rodante.
Protocolo de Balke en tapiz.
Pruebas máximas en un cicloergómetro.
Test de YMCA.
Test de Astrand y Ryhming.

III. Tests para valorar la capacidad aeróbica submáxima

Test de Conconi.

Test de Treffene.

Test 10 x 400 m.

Test de campo en varias etapas para determinar la curva de rendimiento láctico.

Test de campo escalonados específicos para determinadas modalidades.

Test de los 4 mmol/l.

Test de Mader o test de dos intensidades.

Test de Olbrecht.

Umbral anaeróbico de Keul y Simon.

Umbral individual de Stegmann (IAT).

MaxLass.

Concentración de lactato en la saliva.

Test de los 2000 m. (Gigliotti-Faraggina).

IV. Otras pruebas para valorar la potencia aeróbica

Test del escalón de YMCA.

Test de Harvaard.

D. APLICACIÓN PRÁCTICA

Curva Frecuencia Cardíaca-Tiempo

Distribución porcentual

Curva Frecuencia Cardíaca-Velocidad

Resumen de la prueba Conconi

E. BIBLIOGRAFÍA

A. INTRODUCCIÓN.

Como complemento al temario abordado a lo largo de la asignatura, he realizado dos trabajos sobre dos temas incluidos en el programa. El objetivo de la realización ha sido profundizar en la evaluación de la potencia y capacidad aeróbica y anaeróbica.

En este primer trabajo me voy a ocupar de la evaluación de la potencia y capacidad aeróbica. El componente aeróbico juega un papel fundamental tanto en lo relativo al deporte-rendimiento como en el deporte-salud, por lo que se antoja como un apartado de estudio trascendental.

Así iniciaré el trabajo con un resumen del funcionamiento de la vías aeróbica, basándome en los aspectos fisiológicos y bioquímicos más importantes. Para poder profundizar posteriormente en su análisis, resulta imprescindible dejar claro un punto de partida que se entiende por vía aeróbica para la obtención de energía.

Una vez realizada este recordatorio de todo lo que implica la obtención de la energía por la vía aeróbica, me encargaré de su evaluación. Para ello he intentado recopilar una amplia bibliografía del tema, tratando de buscar el máximo número de autores que han propuesto distintas pruebas para la evaluación aeróbica, tanto con pruebas directas como indirectas, de campo o en laboratorio, etc.

Este trabajo tendrá una continuación con otro posterior que se ocupará de la obtención de energía por la vía anaeróbica, que contará con una análoga estructura. Con todo ello, pretendo lograr una visión más completa de cada vía y sobre todo, la manera de aplicar la teoría a la práctica, en lo relativo a la evaluación fisiológica de los atletas.

B. CONCEPTOS PREVIOS.

1.- Fundamentos Fisiológicos de la obtención de energía.

Para poder realizar cualquier tipo de actividad el cuerpo humano necesita disponer de energía. La energía expresa la capacidad para desarrollar trabajo. El cuerpo humano transforma la energía química de los alimentos en energía útil, necesaria para mantener las funciones vitales.

Esta energía química puede ser destinada a cuatro tipo de trabajos principales:

- **trabajo de transporte:** contra el gradiente de concentración, de zonas con menor concentración a zonas de mayor concentración,
- **trabajo de biosíntesis o anabólico:** se gasta energía al aumentar la masa muscular,
- **trabajo eléctrico:** al separar las cargas eléctricas, y
- **trabajo mecánico:** relacionado con el movimiento, como sucede en la contracción muscular.

Es por ello que al realizar una actividad física, el cuerpo necesita obtener una cantidad de energía adicional a la que se destina para mantener las funciones vitales. Así se pueden reseñar dos formas de obtención de energía, según exista la posibilidad o no

de contar con la presencia de Oxígeno. Si se dispone de Oxígeno suficiente, se utilizará la vía aeróbica, pero si no lo hay, será necesario utilizar la vía anaeróbica.

Los substratos obtenidos del exterior (grasas, hidratos de carbono y proteínas) no pueden ser utilizados directamente por las células, sino que deben ser transformados en ATP, la "moneda energética", ya que se gasta y se gana. Cuando el ATP se gasta a una velocidad superior a la que puede reponerse por la vía aeróbica, se entra en la fase anaeróbica. Atendiendo a este criterio, el músculo esquelético dispone de tres vías para poder obtener la energía:

1. Sistema **anaeróbico aláctico** o sistema de los Fosfágenos: ATP y PC.
2. Sistema **anaeróbico láctico** o glucólisis anaeróbica.
3. Sistema **aeróbico** u oxidativo: Hidratos de Carbono, Grasas y Proteínas.

Todas las vías dependen de un factor central, el sistema de aporte de oxígeno (sistemas cardiovascular, respiratorio y sanguíneo) y un sistema periférico, que implica la capacidad de utilizar el oxígeno por los músculos.

El hecho de que existen tres sistemas distintos para la obtención de energía no quiere decir que actúen aisladamente, sino que indican una prevalencia en relación a la intensidad y duración del ejercicio. Este hecho se conoce como el "continuum de energía", es decir, que la energía continúa produciéndose aunque cada vez tenga mayor importancia uno u otro sistema.

Para tener una mejor visión de lo que representan los tres sistemas de aporte energético se puede ver la siguiente tabla:

Fuentes	Modos de formación	Tiempo de formación	Plazos de acción	Duración de liberar energía
Anaeróbico Aláctica	Reacción PC, ATP muscular	0	Hasta 30 seg.	Hasta 10 seg.
Anaeróbico Láctica	Glucólisis con formación de ácido láctico	15-20	De 30 seg. a 5-6 min.	De 30 seg. a 1 min. 30 seg.
Aeróbicas	Oxidación de carbohidratos y grasas en presencia de Oxígeno.	90-180	Hasta varias horas	2.5 min.

2.- Obtención de energía por la vía Aeróbica.

La gran ventaja de esta vía es la posibilidad de usar distintos substratos, como son los Hidratos de Carbono, Grasas o Proteínas. Las reacciones de degradación de estos sustratos ocurren en la mitocondria con la presencia de Oxígeno. También presenta la ventaja de que los subproductos que produce son el Dioxido de Carbono (CO₂), que va de las células musculares a la sangre, luego al pulmón y se exhala, o el Agua, que resulta útil dentro de la propia célula.

El límite es que la tasa de formación de energía es muy lenta. La vía oxidativa de grasas y proteínas, tiene una velocidad de 15 mm.ATP/min, mientras que la vía del piruvato, hidratos de carbono, tiene una velocidad de 36 mm. ATP/min.

El ciclo de Krebs (o ciclo del ácido cítrico) engloba 8 reacciones que giran en sentido de las agujas del reloj, siendo dos de ellas irreversibles. Todo el ciclo se desarrolla en la mitocondria celular. El balance final permite la obtención de 12 moles de ATP, aunque estudios recientes reducen esta cifra a 10 moles.

El ciclo de Krebs permite la entrada tanto de hidratos de carbono, que pasan a Glucosa y posteriormente a ácido Pirúvico; de grasas, que se descomponen en ácidos grasos (Beta-oxidación) y de Glicerol, que puede pasar a Pirúvico; y proteínas, la desaminación de los aminoácidos les permite ingresar en distintas partes del proceso: la Alanina pasa a Pirúvico, la Glicina a Acetil-CoA, etc.

El siguiente paso para la obtención de energía sería el paso a Cadena Respiratoria, que implica el transporte de electrones. Los NADH y FADH₂ pasan a esta fase, con distinta involucración según se hayan producido en citoplasma (por la glucólisis) o en la mitocondria. Las moléculas producidas a nivel de matriz mitocondrial no tienen que transportarse, a diferencia de las producidas en el citoplasma, que necesitan unas Lanzaderas.

Los electrones que proceden del ciclo de Krebs van a transferirse hasta el oxígeno molecular, generando una alta energía que va a ser aprovechada para resintetizar ATP. Para ello ocurren dos procesos de forma simultánea: la transferencia de electrones -oxidación- y la fosforilación. Esta etapa constituye la principal fuente de energía en los organismo aeróbicos.

En el flujo de electrones intervienen unos complejos proteicos de gran tamaño, localizados en la matriz mitocondrial interna, que facilitan la admisión y cesión de electrones. Esto crea una fuerza proto-motriz por dos sucesos: mantenimiento de un gradiente de pH mitocondrial y un potencial eléctrico transmembranal. La transferencia de electrones va acompañada de un bombeo hacia fuera de la matriz de protones. Cuando los protones regresan a la matriz mitocondrial se produce la energía para resintetizar ATP (fuerza proto-motriz).

3.- Implicación de las Grasas y Proteínas en la vía aeróbica.

Al prolongar la duración de los ejercicios se requiere unos sustratos adicionales a las reservas musculares y hepáticas de Glucógeno. Es por ello que el cuerpo humano necesita la utilización de otros sustratos además de los Hidratos de Carbono. Esto le permite mantener la duración del esfuerzo pero le limita la intensidad.

Las grasas son la principal reserva energética del cuerpo humano, pudiéndose casi cuantificar como una reserva ilimitada, en relación a un esfuerzo deportivo. Un adulto puede tener una reserva grasa de 150.000 Kcal de energía, frente a las "sólo" 2.000 Kcal de reserva de hidratos de carbono.

Las grasas se almacenan en el cuerpo humano como Triglicéridos. Las hormonas liberadas durante el ejercicio permite que se acelera su degradación, la lipólisis. Existe

una interacción entre la utilización de ácidos grasos e hidratos de carbono en el ejercicio. Los hidratos de carbono tienen una importancia mayor en los ejercicios que requieren de una intensidad elevada, mientras que las grasas se utilizan en pruebas de mayor duración. La utilización de grasas supone un "ahorro" de las reservas de Glucógeno, y un síntoma de adaptación al entrenamiento de Resistencia, es utilizar las reservas grasas antes, de tal manera que se ahorra Glucógeno para utilizarlo posteriormente si se requiere una mayor intensidad.

Este planteamiento se puede trasladar al "deporte-salud", donde es necesario recordar que si se quieren quemar grasas es necesario realizar una actividad de resistencia de duración. Además la intensidad no puede ser excesiva porque una elevada concentración de ácido láctico inhibe la lipólisis.

La utilización de las grasas están condicionados por una serie factores nutritivos como son los niveles de ácidos grasos libres en la sangre. Además durante el ejercicio su utilización aumenta al aumentar los valores de la Noradrenalina (favorece la Lipólisis) y con la Hormona del Crecimiento (GH). Por el contrario el nivel alto de Lactato inhibe la utilización de ácidos grasos. También es inhibidora la Insulina. Cuanto mayor es el ejercicio en cuanto a duración la producción de Lactato e Insulina es menor, lo que favorece utilizar las grasas. Debido a que en la célula muscular sólo se almacenan pequeñas cantidades de grasa, ésta debe ser transportada hasta el músculo en introducida en él.

El papel de las proteínas en las actividades de Resistencia ha ido cobrando cada vez más importante. Hoy en día se sabe que existen determinados aminoácidos imprescindible para aportar hasta un 10% de energía en las pruebas de larga duración. Cuando las pruebas son menores de 1 hora el papel de los aminoácidos es intrascendente.

Los aminoácidos pueden actuar como precursores de Glucosa en la gluconeogénesis. En ejercicios intensos se llega a liberar 7 veces más Alanina que en reposos. El exceso de Alanina es captado por el hígado y convertido en glucosa que es liberada a la sangre.

El organismo no tiene reserva de aminoácidos. Se tiene una pequeña cantidad de aminoácidos en la sangre, existiendo un equilibrio entre su síntesis y degradación. Este equilibrio se puede modificar por la alimentación, tras la digestión, aumentan los aminoácidos. Al no poder utilizarlos el organismo trata de deshacerse de ellos pudiendo degradar el grupo Carboxilo (vía oxidativa) o degradar el grupo Anilo (urea). También pueden usarse en procesos de Gluconeogénesis, como es el caso del ciclo de la Alanina.

4.- Resumen de las distintas vías para obtener energía.

SISTEMA ATP-PC	SISTEMA ÁCIDO LÁCTICO	SISTEMA OXÍGENO
Anaeróbico	Anaeróbico	Aeróbico
Muy rápido	Rápido	Lento
Combustible químico: PC	Combustible alimenticio: Hidratos Carbono	Combustible alimenticio: HC, Grasas, Proteínas
Producción muy limitada de ATP	Producción limitada ATP	Producción ilimitada ATP
Reservas musculares limitadas	Subproducto: ácido láctico que origina fatiga muscular	No hay subproductos que originen fatiga
Se utiliza en carreras rápidas o cualquier actividad de corta duración y alta potencia	Actividades de 1 a 3 minutos de duración	Actividades de resistencia o prolongadas

Características generales de los sistemas energéticos. Fox, pág.21

5.- Revisión terminológica

Antes de pasar a analizar las distintas pruebas para la valoración de la capacidad y potencia aeróbica, es necesario establecer una serie de consideraciones sobre lo que se va a analizar, definiendo algunos términos.

El **consumo máximo de Oxígeno (VO₂ máx)** representa el volumen de oxígeno consumido durante cualquier tipo de esfuerzo, e indica la capacidad que tiene el organismo de utilización del mismo. Al aumentar la intensidad del ejercicio, el consumo de oxígeno aumenta de manera proporcional hasta llegar a un punto donde se estabiliza, que se conoce como VO₂ máx, siendo un índice fundamental para medir las posibilidades de un sujeto ante esfuerzos prolongados de baja intensidad.

En la bibliografía se pueden encontrar definiciones del tipo "cantidad máxima de oxígeno consumido en la unidad de tiempo" o "la máxima cantidad de oxígeno que el organismo puede extraer de la atmósfera y transportarlo al músculo".

Los valores de consumo máximo de oxígeno varían según las poblaciones de sujetos estudiados, ya que es un valor que depende de la masa muscular (a mayor masa mayor consumo) por lo que varía si se consideran los datos absolutos o relativos. Así podemos ver que remeros pueden tener valores absolutos de 6-7 litros/minuto y relativos de 65-70 ml/kg/min. mientras que los maratonianos pueden tener de 4-5 litros por minuto pero con valores relativos superiores, de 80-90 ml/kg/min.

La **Potencia Aeróbica Máxima (PAM)** es un índice cardiovascular. Mac Dougall la define como "el ritmo al que el metabolismo aeróbico suministra la energía". Resulta por tanto un término equiparable al anterior ya que depende de dos factores: la capacidad química de los tejidos a la hora de utilizar oxígeno para descomponer los

sustratos y las capacidades combinadas de los mecanismos pulmonar, cardíaco, sanguíneo, vascular y celular para transportar oxígeno hasta el músculo.

El **Umbral Anaeróbico** es definido por Wassermann como "un importante índice de la habilidad del sistema cardiovascular para aportar oxígeno a un ritmo adecuado para evitar la anaerobiosis muscular durante el ejercicio". O lo que es lo mismo, la capacidad de mantener una intensidad de ejercicio sin que se produzca un aumento de la concentración de ácido láctico que obligue a interrumpir el ejercicio.

Sobre este tema se han sucedido las investigaciones y los métodos para su detección: atendiendo a parámetros ventilatorios, comportamiento de la frecuencia cardíaca, catecolaminas, etc. En todos ellos se ha observado como existe un punto de intensidad a partir de la cual se pierde la proporcionalidad en el funcionamiento de los distintos sistemas, alterándose el equilibrio.

Aunque no es motivo de este trabajo el profundizar sobre este tema, si es conveniente aclarar que los valores del Umbral Anaeróbico se suelen expresar en relación al Consumo Máximo de Oxígeno, siendo un parámetro determinante en la evaluación de pruebas de larga duración.

C. EVALUACIÓN.

Existe un gran número de pruebas de evaluación de la vía aeróbica, por lo que es necesario realizar una clasificación de ellas para poder facilitar su utilización. Como primer concepto clasificatorio podríamos hablar de el lugar de su realización: el **laboratorio** o en el **campo**.

Siempre se busca que la evaluación sea lo más específica posible a la actividad deportiva, por lo que la situación ideal de evaluación sería mientras se realiza el propio deporte, pero esto resulta muchas veces imposible, por lo que se debe tratar de recrear la situación en el laboratorio. Las pruebas en laboratorio permiten la obtención de un mayor número de datos, pero en su contra tienen su mayor coste económico y su menor especificidad.

También podemos clasificar las pruebas en función de si son **directas** o **indirectas**. En las directas se cuenta con analizadores de gases, que permiten recoger el aire espirado, con lo cual se obtienen multitud de parámetros de indudable interés. Los datos son más fiables, pero es mucho más costoso su realización. Los tests indirectos se basan en la relación lineal entre la Frecuencia Cardíaca y el Consumo de Oxígeno, hecho que les permite estimar este parámetro. Los errores son mayores, pero este tipo de pruebas están más al alcance de todos los preparadores.

En relación a los protocolos, podemos distinguir cómo se aplica la carga. Esta puede ser de tipo **continuo**, cuando no se intercalan intervalos de reposo o de tipo **discontinuo**, cuando sí los hay. Los continuos puede dividirse también en de carga constante, en rampa o en escalera, mientras que los discontinuos también pueden ser en escalera.

Por último, también se puede hablar de pruebas **máximas**, en las que se lleva la prueba hasta el agotamiento o hasta alcanzar criterios de maximalidad, y **submáximas**,

en las que la prueba se interrumpe antes de citado punto, estimándose el máximo por métodos gráficos o matemáticos.

I. Pruebas de campo para valorar la Potencia y Capacidad Aeróbica Máxima.

1. Test de Cooper

Es un test de enorme tradición y empleado en numerosos ámbitos, tanto a nivel escolar como de entrenamiento. Consiste en tratar de recorrer la mayor distancia posible en 12 minutos. Se suele realizar en una pista de atletismo para que la distancia esté mejor controlada.

A partir de la distancia obtenida se pueden extraer otra serie de valores por relaciones. En algunos casos, por escasez de tiempo o material, se suele considerar únicamente la distancia recorrida como referencia. Si se establecen unas condiciones standard, el test se puede repetir meses después para saber si ha habido mejora. En el ámbito del entrenamiento se pueden extraer más datos, además de poder trabajar con pulsómetros y analizadores de lactato.

Fue creado por el Dr. K. Cooper para hombres, en 1977 B. Gerchell lo adaptó a mujeres. El objetivo de este test estimar el Consumo Máximo de Oxígeno y el Umbral Anaeróbico. El VO₂ máx se puede determinar a partir de la siguientes ecuaciones:

$$VO_2 \text{ (ml/kg/min)} = 22.351 \times \text{Distancia (km)} - 11.288$$

$$VO_2 \text{ (ml/kg/min)} = \text{Distancia} \times 0.02 - 5.4$$

$$VO_2 \text{ (ml/kg/min)} = (0.2 \times V) + 3.5.$$

Esta última ecuación corresponde al Colegio Americano de Medicina Deportiva. Los estudios de Cazorla (1990) le conceden una validez para predecir el VO₂ máx. de entre r=0,24 y 0,94. También hay una correlación alta entre los resultados en esta prueba y en los 2.400 metros. Para sujetos no deportistas se puede valorar el tests de la siguiente manera:

NIVEL	SEXO	13-19 a.	20-29 a.	30-39 a.	40-49 a.	50-59 a.	+ 60 a.
Muy Malo	M	- 2100	- 1950	- 1900	- 1850	- 1650	- 1400
	F	- 1600	- 1550	- 1500	- 1400	- 1350	- 1250
Malo	M	2100- 2200	1950- 2100	1900- 2100	1850- 2000	1650- 1850	1400- 1650
	F	1600- 1900	1550- 1800	1500- 1700	1400- 1600	1350- 1500	1250- 1400
Medio	M	2200- 2500	2100- 2400	2100- 2350	2000- 2250	1850- 2100	1650- 1950
	F	1900- 2100	1800- 1950	1700- 1900	1600- 1800	1500- 1700	1400- 1600
Bueno	M	2500- 2750	2400- 2650	2350- 2500	2250- 2500	2100- 2300	1950- 2150
	F	2100- 2300	1950- 2150	1900- 2100	1800- 2000	1700- 1900	1600- 1750

Muy Bueno	M	2750-3000	2650-2850	2500-2650	2500-2650	2300-2550	2150-2500
	F	2300-2450	2150-2350	2100-2250	2000-2150	1900-2100	1750-1900
Excelente	M	+ 3000	+ 2850	+ 2700	+ 2650	+ 2550	+ 2500
	F	+ 2450	+ 2350	+ 2250	+ 2150	+ 2100	+ 1900

Valoración del test de Cooper en función de la edad y el sexo (G^a Manso y col., 1996)

Como ha sido señalado anteriormente, este test también permite estimar las velocidades correspondientes al umbral anaeróbico. Los valores de Umbral Anaeróbico se utilizan para un entrenamiento intensivo de la carrera continua.

Test de 12 minutos	Velocidad Umbral (km/h)	Rango Velocidades (km/h)
2600 m.	11.0	10.5-11.5
2700 m.	11.5	11.0-12.0
2800 m.	12.0	11.6-12.4
2900 m.	12.6	12.3-12.9
3000 m.	13.1	12.8-13.4
3100 m.	13.6	13.3-13.9
3200 m.	14.1	13.7-14.5
3300 m.	14.6	14.1-15.1
3400 m.	15.1	14.6-15.6
3500 m.	15.6	15.0-16.2

Velocidad hallada de un entrenamiento intensivo de carrera continua en terreno llano con recorrido establecido en la prueba de los 12 minutos (medias y desviación standard). (Weiler y cols, 1985, tomado de Zintl, 1991).

Al comparar los resultados entre entrenados y no-entrenados, se puede observar que en los no-entrenados la vía aeróbica juega un papel fundamental, ya que la concentración de lactato se sitúa en torno a 4-5 mm/l. Por contra, los entrenados llegan a tener concentraciones superiores a 13 mm/l, lo que da una idea de la distinta involucración metabólica, están utilizando una marcada capacidad anaeróbica.

2.- Course Navette o test de L. Léger (1981)

Este test permite también obtener el Consumo Máximo de Oxígeno por procedimientos indirectos. La prueba consiste en recorrer tramos de 20 metros a velocidad creciente cada 1 ó 2 minutos. Se delimita una zona con unos paliers y el ritmo se marca con señales acústicas. El sujeto va y viene entre los paliers al tiempo que se aumenta progresivamente la velocidad hasta llegar a su máximo aguante.

El VO₂ máx. se calcula a partir de la velocidad de carrera que alcanzó en el último palier, que fue capaz de soportar, con las siguientes ecuaciones:

$$VO_2 \text{ (ml/kg/min)} = 5.857 \times \text{Velocidad (km/h)} - 19.458$$

Con jóvenes e 8 a 19 años de ambos sexos se puede utilizar:

$$VO_2 \text{ (ml/kg/min)} = 31.025 + (3.238 \times V) - (3.248 \times E) + (0.1536 \times V \times E)$$

PALIERES DE 2 MINUTOS			
TIEMPO (MIN)	VELOCIDAD (KM/H)	VO2 MÁX.	SEG/20 M.
2	7.58	24.5	9.693
4	8.70	31.5	8.276
6	9.30	35.0	7.744
8	9.90	38.5	7.276
10	10.49	42.0	6.862
12	11.09	45.5	6.492
14	11.69	49.0	6.170
16	12.29	52.5	5.860
18	12.88	56.0	5.589
20	13.48	59.5	5.341
22	14.08	63.0	5.114
24	14.68	66.5	4.906
26	15.27	70.0	4.714
28	15.87	73.5	4.537
30	16.47	77.0	4.372
32	17.07	80.5	4.219

Sobre la aplicación de este test hay diversas opiniones. Por un lado, G^a Manso y col. opinan que es de gran utilidad para determinar la capacidad aeróbica de sujetos con poco o medio nivel pero no es tan interesante en sujetos entrenados. Por contra, el preparador físico del Albacete Balompié de 2^a División de Fútbol, opina que es el test más idóneo para reflejar la Resistencia de un futbolista. Por lo tanto dependerá la utilidad del test al ámbito que se pretenda aplicar.

3.- Test de la Universidad de Montreal.

Parte de unos principios muy semejantes al Course-Navette, ya que es una prueba realizada en pista. El sujeto hace tramos de 2 minutos de carrera mientras la velocidad se va progresivamente aumentando hasta llegar al agotamiento. La velocidad inicial es de 8 km/h y se elevando 1 km/h cada 2 minutos. El atleta tiene la referencia por señales acústicas. Permite hallar de manera indirecta el Consumo de Oxígeno mediante la siguiente fórmula:

$$VO2 \text{ (ml/kg/min)} = 22.859 + (1.91 \times V) - (0.8664 \times E) + (0.0667 \times V \times E)$$

siendo V la velocidad máxima en km/ h y E la Edad, como en el caso del Course-Navette.

4.- Test de los 5 minutos.

Se trata de correr la máxima distancia durante 5 minutos y estimar el VO₂ máx. a partir de la siguiente fórmula:

$$VO_2 \text{ máx (ml/kg/mn)} = 340.6 - 34.14 \times V \text{ (km/h)} + 1.01 \times V \times V$$

5.- CAT-Test (Chanon y Stephan, 1985)

Esta prueba de campo consiste en hacer tres pruebas de intensidad separadas entre sí por intervalos de 10 minutos de recuperación. La primera distancia se correrá en 6-8 minutos (800-1.200 metros) a un ritmo de unas 140 pulsaciones por minuto. La segunda carrera será también de 6-8 minutos pero a un ritmo superior, FC de 160 p/min. La tercera se realizará al máximo de las posibilidades de cada uno y es la que permite hallar la FC máxima y el Consumo de Oxígeno Máximo. Al final de la última serie se tomará el pulso en los 30 segundos iniciales en los siguientes 5 minutos.

Por tanto esta prueba permite hallar de forma indirecta el Consumo de Oxígeno, los Umbrales y la curva de recuperación de la Frecuencia Cardíaca. La duración de la última serie estará en función del deportista: si un fondista masculino deberá correr 3.000 m., si es femenino o de menor nivel 2.000 metros y se podrá realizar 1.500 ó 1.000 metros en caso de personas debutantes o de edades inferiores.

A partir de los datos obtenidos se puede realizar una gráfica velocidad / frecuencia cardíaca. El consumo de Oxígeno se puede determinar de forma indirecta de acuerdo a unas tablas establecidas, según los resultados en la última prueba.

Nivel	Umbral Aeróbico (% VO₂ máx.)	Umbral Anaeróbico	Zona de transición
Élite masculina de medio fondo y fondo	80 %	90 %	85 %
Élite femenina de medio fondo y fondo	78 %	88 %	83 %
Otros deportes	75 %	85 %	80 %
Debutantes	70 %	80 %	70 %

Determinación teórica de las intensidades de umbral en el CAT-Test. Fuente: Chanon y Stéphan (1985), en García Manso y col. (1996)

Para interpretar la curva de recuperación de la Frecuencia Cardíaca tras el ejercicio se puede utilizar la siguiente tabla:

FC 5'-FC 1'30"	- 130 p/min	130-140 p/m	140-150 p/m	+ 150p/min
- 110 p/min	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Medio
100-120 p/min	Muy Bueno	Bueno	Medio	Mediocre
120-130 p/min	Bueno	Medio	Medio	Malo
130-140 p/min	Medio	Mediocre	Malo	Muy Malo

6.- Prueba de Rockport.

Esta prueba está especialmente indicada para aquellos sujetos con un menor nivel de condición física. Por ello el sujeto debe andar 1.609 metros, al tiempo que se le controla la Frecuencia Cardíaca al final de la misma, al igual que el tiempo empleado. El valor del VO2 máx. se calcula de la siguiente manera:

$$VO2 \text{ máx. (ml/kg/min)} = 132.6 - (0.17 \times \text{Peso Corporal}) - (0.39 \times \text{Edad}) + (6.31 \times \text{Sexo}) - (3.27 \times \text{Tiempo en minutos y decimal}) - (0.156 \times \text{FC en p/min})$$

El Sexo será: Mujeres, 0; Hombres, 1.

7.- Prueba de George-Fisher.

En este caso se recorren 2.400 metros, y se controla la Frecuencia Cardíaca a los 10 segundos de la conclusión, así como el tiempo empleado en recorrer la distancia. El VO2 máx. se calcula según la ecuación:

$$VO2 \text{ máx. (ml/kg/min)} = 100.5 + (8.344 \times \text{Sexo}) - (0.163 \times \text{Peso Corporal}) - (1.438 \times \text{Tiempo en minutos y decimal}) - (0.9128 \times \text{FC})$$

El Sexo valdrá 0 para las mujeres y 1 para los hombres.

8.- Otras formas de determinar el VO2 máx. a partir de carreras sobre diferentes distancias.

$$VO2 \text{ máx.} = 133.61 - (13.89 \times \text{tiempo sobre la milla en minutos}) \quad VO2 \text{ máx.} = 128.81 - (5.95 \times \text{tiempo sobre las dos millas en minutos}) \\ VO2 \text{ máx.} = 129.73 - (3.617 \times \text{tiempo sobre los 5.000 metros en minutos}) \quad VO2 \text{ máx.} = 120.8 - (1.54 \times \text{tiempo sobre los 10.000 metros en minutos})$$

Además también pueden realizarse multitud de pruebas sobre diversas distancias para ver las posibilidades en esfuerzos aeróbicos. Así se puede medir la máxima distancia que un sujeto es capaz de recorrer en un tiempo determinado.

Lo mismo se podría aplicar si se establece una distancia fija y se trata de ver en qué tiempo es capaz de recorrerla. La ventaja de este tipo de test es su fácil realización y que permiten ver de manera sencilla la evolución de la forma física a lo largo de un ciclo de entrenamiento.

II. Pruebas de Laboratorio para valorar la Potencia y Capacidad Aeróbica.

Este tipo de pruebas presentan una serie de inconvenientes y ventajas frente a las pruebas de campo. A su favor cuentan con el hecho de que permiten de un mayor control de la situación y que se pueden evitar errores y fallos por factores ambientales. En su contra juega el hecho de que no son específicos para el deporte, ya que el rendimiento de cada disciplina no se refleja en un laboratorio. Además su elevado coste y la necesaria presencia de un médico, si se quiere profundizar con determinados parámetros hace que su aplicación de cara al entrenamiento sea menos útil.

Todo esto ha hecho que los ergómetros hayan evolucionado tratando de reflejar las características específicas de cada deporte. Tal es así que hoy en día existe la

posibilidad de que los ciclistas puedan incorporar su propia bicicleta al laboratorio, para reflejar de la manera más exacta posible las situaciones competitivas.

Actualmente se utilizan porque garantizan una serie de datos fiables por el diagnóstico médico. Permiten hallar un mayor número de datos que los tests de campo. Se suelen emplear para calcular la capacidad aeróbica máxima inespecífica o bien la capacidad de resistencia submáxima.

En estos tests resulta fundamental controlar los criterios de standarización en los protocolos, condiciones metabólicas que debe reunir el sujeto, criterios de maximalidad del test, indicaciones y contraindicaciones, instrucciones y preparación del sujeto, criterios de actuación ante emergencias, criterios de valoración y criterios de calidad.

Los protocolos son los valores que cuantifican la intensidad y duración del esfuerzo al que se somete un sujeto. Existen distintos protocolos según los objetivos del test, el tipo y estado de sujeto y los parámetros que se quieren medir. No es necesario que se trate de pruebas máximas, estará en función de si se trabaja con atletas entrenados o para descartar anomalías en candidatos a la práctica de actividad física.

En los tests cicloergométricos se utilizan tres parámetros para obtener una valoración práctica y sencilla: la potencia desarrollada, la frecuencia cardíaca y la presión arterial.

Las pruebas aeróbicas directas presentan como gran ventaja la objetividad de los datos que se obtienen, ya que la ergometría aeróbica directa sirve para valorar de forma simultánea los sistemas cardiovascular y respiratorio sometidos a stress físico, permitiendo la capacidad para evaluar su función principal: el intercambio gaseoso.

En su vertiente negativa está el costo elevado de los equipos, lo que reduce su aplicabilidad en el ámbito del entrenamiento a niveles económicos más bajos. De este modo estas pruebas están reservadas a laboratorios y centros de alto rendimiento, donde se dispone de los presupuestos adecuados para su realización.

Los protocolos a realizar para determinar la Potencia Aeróbica de modo directos son muy variables, eligiéndose siempre el protocolo más acorde a las características del sujeto a evaluar. Así según el deportista que se trate, podemos referirnos a los siguientes protocolos:

Deportistas de Élite: muy específico a la disciplina competitiva.

Resto de competidores: en tapiz rodante el protocolo EMD-T y en cicloergómetro (sólo ciclistas) el protocolo EMD-B1.

Deportistas ocasionales y sedentarios (actividad física menor a tres horas a la semana): el protocolo de Bruce en tapiz o el EMD-B3 o PWC en cicloergómetro.

Este tipo de criterios son establecidos por la Escuela de Medicina del Deporte de la Universidad Complutense de Madrid.

1.- Protocolo EMD-T

Destinado a deportistas de competición. Previo al inicio se realiza una muestra de lactato, para pasar después al calentamiento, siempre en tapiz rodante con una

pendiente del 1%, donde se corre dos minutos a una velocidad de 8 km/h, otros dos a 10 km/h y los últimos dos a 11 km/h. Tras realizar un descanso pasivo de 5 minutos se realiza una segunda toma de sangre capilar (lactato).

El test se inicia con una pendiente del 1%, donde se realiza un primer escalón de 10 km/h durante 3 minutos. Al finalizar cada escalón se toman muestras de lactato. Cada escalón dura 3 minutos, incrementándose la velocidad 1 km/h. El test se mantiene hasta superar los 4 mmoles de lactato, momento en el que se realiza un descanso activo de 5 min a 4 km/h y un descanso pasivo de 5 min. A continuación se reanuda el test, con nueva toma de lactato, aplicándole la carga correspondiente a la velocidad alcanzada en el penúltimo escalón realizado completo en la fase anterior. Pendiente: 3%. Duración: 1 minuto. Luego se deja fija la velocidad y se aumenta un 1% la pendiente cada minuto. El test se continúa hasta el agotamiento o hasta alcanzar criterios de maximalidad, meseta estable del consumo de oxígeno.

2.- Protocolo EMD-B1.

Se inicia con una toma de sangre capilar, tras la cual se calienta 3 minutos con 50 W y 3 minutos con 75 W, entre 60-80 rpm. Le sigue un descanso pasivo de 5 minutos y otra toma de lactato. El test es en rampa, con un incremento de 50 W cada 2 minutos, aunque también podría hacerse con 2 W/min.

3.- Protocolo Complutense.

En este caso no se realizan tomas de lactato. Se inicia con un calentamiento con un 1% de pendiente: 2 minutos a 6 km/h, 2 a 8 km/h y 2 a 9 km/h. Tras un descanso pasivo de 5 minutos se inicia el test, que consiste en escalones de 2 minutos.

Minutos	Velocidad	Pendiente
2	0	0
2	4.8	0
2	8.0	5.5
2	11.0	7.5
2	13.0	9.5
2	14.0	11.5
2	15.0	13.5
2	15.7	15.5

Tomado de Legido Arce, J.C. y col "Manual de valoración funcional", pág. 158

4.- Protocolo EMD-82.

También es un test en rampa, en el que se realizan incrementos de 40 W cada 2 minutos, a 60-80 rpm. El test se continua hasta el agotamiento o hasta lograr criterios de maximalidad.

5.- PWC 170 y PWC 150.

Indican la Physical Work Capacity (capacidad física de trabajo) a 170 y 150 pulsaciones por minuto. Los resultados sirven para estimar la capacidad de rendimiento o bien de las frecuencias cardíacas correspondientes a los umbrales anaerobio y aeróbico. Con ciclistas se han encontrados correlaciones significativas entre la PWC 170 y el Umbral Anaeróbico y la PWC 150 y el Umbral Aeróbico.

Se basa en el criterio de que la frecuencia cardíaca es función del consumo de oxígeno y de la carga de trabajo soportada, correspondiéndole a cada frecuencia cardíaca una carga de trabajo determinada. Fue creado por Wahlund en 1948.

El protocolo se inicia con la determinación de la frecuencia cardíaca y la tensión arterial en reposo. La prueba se inicia con un calentamiento de 4 minutos, pedaleando con una carga de 25-40 W. Tras calentar el sujeto permanece 5 minutos en reposo, para posteriormente colocarse una carga inicial de 50 W, que se irá aumentando cada 2 minutos. La carga inicial depende del grado de entrenamiento del sujeto:

sedentarios: carga inicial de 50 W con incrementos de 25 W cada 2 minutos.
deportistas: carga inicial de 50W con incrementos de 50 W cada 2 minutos en los primeros escalones y de 25 W al acercarse a la frecuencia cardíaca prevista (170 + 10).
deportistas de élite: inicio con 100 W e incrementos de 50 W cada 2 minutos.
niños: inicio con 50 W e incrementos de 25 W cada 2 minutos.
El ritmo de pedaleo debe mantenerse a una frecuencia de 60 rpm. Se debe medir la frecuencia cardíaca y la tensión arterial al final de cada escalón. El test concluye cuando se llegue al rango de la Frecuencia Cardíaca predeterminada (150 + 10, 170 +10). A partir de aquí se puede valorar el rendimiento, bien si ha sido máximo, se ha llegado a la Frecuencia Cardíaca máxima, o si ha sido submáximo. También se puede estimar el consumo máximo de oxígeno, con el método del nomograma de Astrand o por métodos matemáticos.

6.- Protocolo de Bruce para tapiz rodante.

Se realiza una prueba de intensidad constante hasta el agotamiento.

Etapas	Duración (min)	Velocidad (mph)	Inclinación (%)
1	3	1.7	10
2	3	2.5	12
3	3	3.4	14
4	3	4.2	16
5	3	5.0	18
6	3	5.5	20
7	3	6.0	22

Protocolo de Bruce en tapiz rodante (G^a Manso y col., 1996)

El consumo de Oxígeno se puede determinar mediante las siguientes ecuaciones:

Población	Ecuación	r
Hombres activos	$VO_2 \text{ máx}=3.778 (\text{tiempo}) + 0.19$	0.906
Hombres sedentarios	$VO_2 \text{ máx}=3.298 (\text{tiempo}) + 4.07$	0.906
Adultos sanos	$VO_2 \text{ máx}=6.70 - 2.82 (\text{sexo}) + 0.056$	0.920

Fórmulas de determinación del VO₂ máx. propuestas por Bruce y col. (1973). Sexo, hombres=1, mujeres=2.

Esta la versión modificada del protocolo de Bruce. Ha sido un test bastante criticado, puesto que no se adapta bien a las necesidad de adultos entrenados.

7.- Protocolo de Balke en tapiz.

Al igual que en el caso anterior se predice el Consumo Máximo de Oxígeno por la ecuación:

$$VO_2 \text{ máx (ml/kg/min)} = 11.12 + 1.51 \times \text{tiempo (min)}$$

La velocidad del tapiz es de 90 m/min y se incrementa la pendiente un 1% cada minuto hasta llegar al agotamiento. También ha sido modificado respecto a su versión original. La ventaja que tiene frente al protocolo de Bruce es que los estadíos son más cortos, de 2 minutos. En el de Balke modificado no se aumentan a la vez la pendiente y velocidad, sino que van aumentando alternativamete. Clasifica a los sujetos en cuatro categorías. Según esta categoría inicial, el sujeto empieza con una pendiente o velocidad determinada. Las cuatro categorías son: mala condición física; sedentarios; activos; atléticos.

Para niños con menos de 7 años o mayores con más de 70 se suele utilizar siempre el tapiz en pruebas submáximas y máximas. Para estos casos se recomienda utilizar los protocolos de Bruce y Balke modificados.

8.- Pruebas máximas en un cicloergómetro.

Estas pruebas requieren un reconocimiento médico previo que capacite al sujeto para la realización. El sujeto pedalea a un ritmo indicado (50-60 rpm en sujetos sedentarios y 90-100 rpm en sujetos entrenados). Se procede a un incremento progresivo de la carga entre un 10 y un 20 % cada minuto o 3 minutos. La duración suele oscilar entre los 8 y 12 minutos, hasta que el sujeto no puede mantener el ritmo fijado por el agotamiento.

El sujeto no debe parar inmediatamente, sino que debe seguir pedaleando suavemente durante unos 3 minutos como vuelta a la calma. Se pueden tomar distintos controles como lactato, frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno, espirometría, etc.

9.- Test de Storer.

Se realiza en un cicloergómetro. Los sujetos son sometidos a una carga creciente 15w por minuto hasta llegar al agotamiento. Los resultados se interpretan con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Hombres: VO}_2 = (10.51 \times W_{\text{máx.}}) + (6.35 \times \text{Peso (kg)}) - (10.49 \times \text{Edad (años)}) + 519.3$$

$$\text{Mujeres: VO}_2 = (9.39 \times W_{\text{máx.}}) + (7.7 \times \text{Peso (kg)}) - (5.88 \times \text{Edad (años)}) + 136.7$$

10.- Test de YMCA (Young Men Christian Association).

Se trata de un test submáximo en cicloergómetro, diseñado para conseguir que la Frecuencia Cardíaca aumente en jóvenes entre 110 y 150 latidos. El objetivo es conseguir dos intensidades de trabajo para Frecuencias Cardíacas de 110 y 150 latidos.

El YMCA se basa en la aplicación de 2 a 4 estadios de 3 minutos de duración a 50 revoluciones por minuto de pedaleo y con una Carga inicial de 25 Vatios (150 Kilogrametros). La carga de los siguientes estadios se calcula según haya sido la respuesta de la Frecuencia Cardíaca en el primero.

	FC: - 80	FC: 80 - 85	FC: 90 - 100	FC: + 100
2º estadio	750 kgm.	600 kgm.	450 kgm.	300 kgm.
3º estadio	900 kgm.	750 kgm.	600 kgm.	450 kgm.
4º estadio	1050 kgm.	900 kgm.	750 kgm.	600 kgm.

Las intensidades se mantienen durante 3 minutos y la Frecuencia Cardíaca se recoge en los últimos 15-30 segundos del segundo y tercer estadio, para ver si está dentro del margen. No todos los sujetos llegan necesariamente al cuarto estadio. Al final se acaba obteniendo una linealidad de 2 puntos de FC entre dos fases consecutivas, para determinar la intensidad. La correlación es más alta cuando las dos fases son consecutivas.

11.- Test de Astrand y Ryhming.

Se basa en la aplicación de un único estadio de 6 minutos en el que la intensidad de trabajo depende del sexo y del nivel de entrenamiento. Se realiza sobre cicloergómetro, a una velocidad de 50 rpm.

Varones desentrenados: entre 50-100 W o 300-600 kgm.

Varones entrenados: entre 100-150 W o 600-900 kgm.

Mujeres desentrenadas: entre 50-75 W o 300-450 kgm.

Mujeres entrenadas: entre 75-100 W o 450-600 kgm.

Las intensidades se mantienen en los 6 minutos y la Frecuencia Cardíaca se registra en el quinto y sexto minutos, estimándose la FC media. El Consumo de Oxígeno Máximo puede predecirse utilizando el normograma del mismo autor, en el que se cruzan los datos de Frecuencia Cardíaca, peso corporal e intensidad de trabajo. El normograma tiene también un factor de corrección por la edad.

III.- Tests para valorar la capacidad aeróbica submáxima.

1.- Test de Conconi.

El fisiólogo italiano Conconi diseñó este test para determinar el Umbral Anaeróbico al relacionarlo con la Frecuencia Cardíaca. De esta manera resulta un procedimiento más económico y no es necesaria la toma de muestras de sangre. Otros autores consideran que este procedimiento no es tan riguroso pues la Frecuencia Cardíaca está influenciada por muchos factores. Permite valorar por lo tanto la capacidad de rendimiento aeróbico.

El test se desarrolla de la siguiente manera:

En primer lugar se realiza un calentamiento de 15 a 20 minutos, sobre una pista de atletismo y a una velocidad establecida, los entrenados a 1 minuto cada 200 metros, y los no entrenados a 70 segundos los 200 metros.

Luego cada 200 metros se procede a incrementar la velocidad, se reduce el tiempo en unos 2-3 segundos.

Cada 200 metros se debe anotar la Frecuencia Cardíaca y el tiempo de carrera (basta con tener un pulsómetro y un cronómetro).

Se prosigue con los incrementos hasta llegar al agotamiento, que sucede a los 12-16 aumentos de la velocidad, o a los 2400-3200 metros, unos 10-12 minutos. A partir de los datos obtenidos se puede establecer una gráfica Frecuencia Cardíaca-Carga (velocidad de carrera) que relacione los valores. Se puede trazar una línea recta y ver el punto de inflexión, que será la velocidad crítica, donde la Frecuencia Cardíaca deja de aumentar proporcionalmente a la carga.

Muy Malo	9.0 km/h
Malo	10.0 km/h
Aceptable	12.0 km/h
Excelente	14.0 km/h
Atleta bueno	19.0 km/h
Récord maratón	24.0 km/h

Valoración del test de Conconi

El fundamento fisiológico que sustenta esta prueba es que la Frecuencia Cardíaca aumenta linealmente a la carga. Esto no es cierto para cargas más pequeñas o muy grandes. La desviación superior de la curva coincide según Conconi con el Umbral Anaeróbico.

Como se señaló anteriormente, este test no es aceptado de manera unánime. Investigadores como Urhausen y cols. (1988), Jakob y cols. (1987), Ribeiro y cols. (1985) (citados por Zintl) adoptan una postura crítica puesto que afirman que no en

todos los sujetos probados se observa una desviación de la curva de Frecuencias Cardíacas. El incremento lineal llega en ocasiones hasta FC de 190/min. Además el test requiere un agotamiento máximo para obtener varios puntos de referencia en la curva de frecuencias más allá de la desviación superior. La determinación gráfica de esta desviación resulta problemática.

También puede ser aplicado este test a ciclistas de dos maneras:

Pedalear a una cadencia constante en un cicloergómetro en laboratorio, a 70-80 rpm, con incrementos de 10-15 wátios por minuto hasta llegar al agotamiento, con cargas iniciales de 150 w para los no entrenados y 200 w para los entrenados. El test se debe parar cuando la cadencia disminuye alrededor de un 5% durante un tiempo aproximado de 10 segundos.

En campo con la bicicleta, pedaleando e incrementando la velocidad cada kilómetro y llegando al agotamiento alrededor de los 15 kilómetros.

Partiendo de esta prueba, Probst propone un tipo de carga interválica para aplicar a los deportes colectivos, incluyendo fases de descanso, paradas, salidas, cambios de dirección, etc.

2.- Test de Treffene.

Esta prueba es también conocida como la de la "Velocidad Crítica Máxima". El fundamento es que se estima que dicha velocidad se encuentra muy próxima al umbral. Por lo tanto se realizan esfuerzos de 2 a 3 minutos en los que al final de cada uno ellos se toma la Frecuencia Cardíaca. Sería por lo tanto un procedimiento semejante al de Conconi, controlando dos parámetros: velocidad y Frecuencia Cardíaca.

3.- Test 10 x 400.

Diseñado por el entrenador de atletas fondistas, de 5.000 y 10.000 metros, Kepka. Consiste en realizar 10 repeticiones de 400 metros a un ritmo superior al de competición, entre un 2 y un 5% mayor. Entre cada repetición hay una pausa de 1 minuto. En cada repetición, la Frecuencia Cardíaca debe disminuir hasta 110-120 p/m.

4.- Test de campo en varias etapas para determinar la curva de rendimiento láctico.

La ventaja que presentan este tipo de test frente a los de laboratorio es que son más específicos, por lo tanto correlacionan de manera más positiva con rendimiento competitivo. Para ello se controla la concentración de lactato en sangre, el parámetro más sensible para la intensidad de carga. Si las condiciones de medida son las adecuadas se pueden conseguir valores exactos de velocidad, frecuencia cardíaca, correspondientes a los diferentes valores de carga.

El objetivo que persiguen estos tests sería determinar la capacidad de rendimiento (velocidad, frecuencia cardíaca) en los Umbrales Aeróbico y Anaeróbico, desarrollando una sensibilidad para el lactato. Este aspecto es muy importante también de cara a su aplicación en deportes donde la carga no es constante: baloncesto, judo...

Resulta importante por lo tanto estimar los valores de lactato de cada uno. La sensibilidad al lactato es importante si se quiere entrenar también factores técnico-coordinativos porque existe una pérdida de calidad en las destrezas técnicas con valores de 6-8 mmol/l.

5.- Tests de campo escalonados específicos para determinadas modalidades.

Estos tests establecen un mínimo de cuatro niveles de carga, que se van progresivamente incrementando del mínimo al máximo. El objetivo es tener distintos puntos de medición para elaborar la curva de rendimiento lactácido. Para ello al final de cada carga se proceda a tomar una muestra sanguínea. También se controlan la Frecuencia Cardíaca y la velocidad de desplazamiento.

A diferencia de los tests de laboratorio, se parte de una distancia constante, y no de un tiempo constante. Se debe tratar de asegurar que la duración de carga por cada nivel sea suficiente para alcanzar un steady-state adaptado a la intensidad, se ha de establecer una distancia de recorrido que incluso en el último nivel de carga garantice una duración de como mínimo 5 minutos, mejor 7 minutos.

De esta manera se obtienen valores relevantes de lactato. Si la prueba competitiva es de menor duración (2 minutos), se pueden establecer duraciones más cortas pero no debe ser la última carga menor de 3 minutos.

MacDougall y col (1995) proponen que el método para determinar el umbral de lactato debe cumplir los siguientes requisitos:

Especificidad en cuanto a las características metabólicas y contráctiles de los músculos reclutados y utilizar un modo de ejercicio que sea similar al competitivo. Fijar una carga inicial de, como mínimo el 30% del VO₂ máx, para no afectar la eficiencia del rendimiento.

Emplear cargas de al menos 2 minutos de duración. Ajustar incrementos de carga de 1 MET (incrementos del 5-8% del VO₂ máx). Obtener las muestras del lóbulo de la oreja o de la yema de los dedos. Representar el umbral en relación a la respuesta individual del sujeto al ejercicio (FC, carga, velocidad, VO₂).

Baumann y col. (1987) demostraron que con llenado óptimo de depósitos musculares con glucógeno lo más óptimo posible y un entrenamiento (carga) parecido durante los dos días anteriores al test forman requisitos para poder comparar los resultados de los tests. La falta de glucógeno hace que la producción de lactato sólo se efectúe con intensidades de carga más elevadas, fingiendo un buen nivel de entrenamiento.

A través de las curvas de rendimiento lactácidas, se puede comparar el estado de forma del individuo en relación a pruebas realizadas en otros momentos. Este análisis será abordado con profundidad en apartados posteriores.

6.- Test de los 4 mmol/l.

En un ergómetro se realizan cargas durante 3 minutos que se van progresivamente incrementando. Al final de cada carga se para durante 30-60 segundos y se realiza una toma de sangre para determinar la concentración de lactato en plasma. El umbral será la intensidad que haga que la concentración de lactato en sangre sea la de 4 mmol/l. Se puede utilizar como referencia y emplearlo en distintas fases de la temporada, para ver la evolución de la curva.

7.- Test de Mader o test de dos intensidades.

El planteamiento es similar al test de campo anaeróbico en dos recorridos, pero con ligeras variaciones. En este caso se realizan dos series (de entre 2 y 3 minutos) a diferente velocidad (60-75% y 90-100%). Entre serie y serie hay una recuperación activa de 20 minutos, tomándose muestras de sangre al final de cada serie.

Se utilizan las referencias de umbrales entre 2 y 4 mmol/l, para así saber la intensidad de trabajo para cada metabolismo. En un principio se utilizaba la distancia de 200 metros, aunque en la actualidad se emplea cualquier distancia entre 100 y 400 m.

8.- Test de Olbrecht.

Al igual que en los casos anteriores hay un fraccionamiento del trabajo. Fue creado por la Federación Italiana de Natación para valorar el umbral anaeróbico en trabajo continuo y en trabajo fraccionado.

Se realizan tres pruebas, con recuperaciones entre ellas de 20 minutos. En la primera se nadan entre 200 y 400 metros a una intensidad del 90-93% de la mejor marca. En la segunda, la misma distancia a la máxima velocidad. En la tercera se nadan 4 series de 50 metros con 15 segundos de recuperación, a una intensidad entre el 3 y el 5 % de la velocidad media sobre la máxima de 200 metros, u 8 repeticiones de 50 metros con 15 segundos de recuperación, a igual intensidad (3-5%) respecto a la mejor marca en 400.

Se deben tomar muestras de sangre después de cada serie y 5 minutos después de haber finalizado. Con todos los datos obtenidos se realiza una gráfica, en el eje de ordenadas se coloca la velocidad y en el de abscisas la producción de lactato. De la línea de las series 1ª y 2ª se extrapola la velocidad a la cual la producción de lactato es 0, punto que corresponde a la velocidad de nado para entrenamientos continuos. Mediante una paralela a la anterior se extrapola también el dato de la 3ª serie, siendo este el valor del entrenamiento fraccionado.

Este test se considera válido cuando la diferencia entre las concentraciones de lactato en la 1ª y 3ª serie es superior a 3 mmol/l. y la diferencia de tiempos entre la 1ª y 2ª es de al menos 5 segundos si se utilizan los 200 metros como distancia de nado, o de 8 segundos si se utilizan los 400 metros.

9.- Umbral anaeróbico de Keul (1979) y Simon (1981).

También puede detectarse el umbral mediante procedimientos matemáticos como establecieron estos autores. Tomando como referencia la curva de producción de lactato, Keul determinó que el umbral estaría en aquel punto cuya tangente formara un ángulo de 51.34° con la horizontal. Simon propone una inclinación de 45° . Ambos se basan en la inclinación de la derivada de la curva de producción de lactato.

10.- Umbral individual de Stegmann (IAT) (1981).

En este test también se utiliza una carga que progresivamente es incrementada (unos 30 w cada 4 minutos) hasta que la concentración de lactato en plasma supera los 4 mmol/l. Además de durante la prueba se hacen tomas al minuto, 3, 5, 7 y 10 de acabar.

El umbral individual viene a significar la tasa metabólica de eliminación de lactato en sangre, que sería máxima en el ejercicio e igual a la tasa de difusión de lactato en sangre. La tangente a la curva del lactato desde el punto en el que el sujeto alcanza, durante la recuperación, valores similares a los de final de prueba representa el umbral individual.

11.- MaxLass.

Viene a significar "Maximal lactate steady state". Fue originalmente desarrollado en Colonia, tendiendo una profunda aplicación en el ámbito de la natación. El objetivo sería conocer cuánto tiempo puede mantenerse una carga sin que los valores de lactato aumenten.

Puede realizarse con un esfuerzo anaeróbico máximo, se determina la concentración de lactato en plasma a 1, 3, 5, 7 y 10 minutos y recuperando 20 segundos antes de realizar esfuerzos de incremento progresivo (-6/-10 segundos por serie) de 3-5 minutos de duración. De esta manera el tercer esfuerzo se aproxima al umbral anaeróbico individual. En las primeras series el lactato disminuye para luego volver a aumentar. El nivel más bajo de lactato es el que corresponde al MaxLass.

El MaxLass es también utilizado por maratonianos, tal como afirma el fisiólogo Xabier Leivar (conferencia en el I.N.E.F. de Madrid el 28-2-97). Se debe mantener una economía en la carrera, para no utilizar el glucógeno. Si las concentraciones son muy elevadas se utiliza el glucógeno prematuramente. Existe una correlación positiva entre las mejores curvas de lactato (menor acumulación) y mejores resultados.

El control del lactato puede utilizarse para prescribir la intensidad. Según Jensen, la intensidad de trabajo debe estar entre un 75 y 103% del MaxLass. Una vez conocido el MaxLass se puede ajustar el porcentaje de intensidad y de duración.

12.- Concentración de lactato en la saliva.

Este método ha sido desarrollado en los últimos años y surge con el atractivo de no ser invasivo, lo cual agradece el atleta. Se basa en la correlación encontrada por Port (1991) y Cook y col. (1986) entre el lactato plasmático y el salival ($r=0.86$ y 0.84 ; $p < 0.01$).

Una de las diferencias entre el lactato de la sangre y el de la saliva, es que éste se produce a una velocidad más lenta y los valores encontrados han sido menores.

13.- Test de 2.000 metros (Gigliotti-Faraggina).

Este test es empleado preferentemente con atletas de fondo y gran fondo, como afirma Xabier Leivar. Consiste en realizar 5 series de 2.000 metros a un ritmo similar al de confirmación, pero aumentando la cadencia en 5 segundos por serie. Los parámetros controlados son la Frecuencia Cardíaca, la velocidad y el lactato.

IV. Otras pruebas para valorar la potencia aeróbica.

1.- Test del escalón de YMCA.

Es un test submáximo para estimar el VO₂ máx. de modo indirecto, a partir de la relación lineal con la Frecuencia Cardíaca.

Tiempo de duración del test: 3 minutos.

Altura del escalón: 30 centímetros

Frecuencia (ritmo al cual se sube y baja): 24 por minuto. Como son 4 movimientos al subir y bajar, el ritmo que se puede marcar en un metrónomo es de 96. Siempre debe subir y bajar con la misma pierna.

Cuando el sujeto termina, se sienta, descansa 5 minutos y se le toma la Frecuencia Cardíaca, que se relaciona con el Consumo Máximo de Oxígeno.

2 - Test de Harvard.

Tiempo máximo: 5 minutos.

Altura del escalón: 50 cm. (Karpovich lo modifica a 40 cm.).

Ritmo: 30 por minuto. Metrónomo: 120.

Hay dos formas de valorar el test de Harvard: de forma lenta, cogiendo 3 registros de FC, descansa al terminar 30 segundos y se coge el registro en el primer minuto, en el 2º minuto y en el 4º minuto. Se aplica la fórmula:

$I = (100 \times \text{Tiempo del ejercicio en segundos}) / (2 \times (\text{sumatorio de las 3 FC}/3))$
A partir de aquí se establecen las siguientes categorías:

Menos de 55: condición física muy mala

55-64: promedio bajo

65-79: promedio alto

80-90: condición alta

más de 90: condición excelente

El método rápido se basa en coger sólo una Frecuencia Cardíaca, la del primer minuto.

$$I = (100 \times \text{tiempo ejercicio en segundos}) / (5,5 \times F. C.)$$

Menos de 60: Malo

60-90: Promedio

Más de 90: Bueno

D. APLICACIÓN PRÁCTICA.

Como último apartado de este trabajo voy a incluir los resultados de una prueba que he realizado yo, basándome en lo abordado en la asignatura y con relación directa con la evaluación de la Potencia Aeróbica. Para ello he utilizado como referencia una de las prácticas realizadas durante el curso, en concreto la que consistía en la realización de un Course-Navette con pulsómetro y su posterior aplicación informática.

Mi interés por el tema me hizo comprarme hace un par de años un pulsómetro Polar Accurex Plus, y a partir de la citada práctica, me decidí por la compra del Polar Interface Plus.

La prueba que he realizado ha sido el test de Conconi. Para la realización escogí un trazado llano, libre de obstáculos de 200 metros, ya que realicé la prueba de carrera. El registro del ritmo cardíaco se hizo en intervalos de cinco segundos (el mínimo posible) para buscar la máxima exactitud de los datos. La prueba consistía en la realización de los tramos de 200 metros de carrera a un ritmo progresivamente superior, para verificar posteriormente el punto de inflexión de la curva, al utilizar como variables la velocidad de carrera y la frecuencia cardíaca. Según el profesor Conconi, el Umbral Anaeróbico se alcanza en ese punto "angular" en el que la velocidad aumenta más rápidamente que la frecuencia cardíaca. El programa informático procede al cálculo de dicho punto de manera automática, del mismo modo que sitúa el Umbral Aeróbico en 20 pulsaciones menos que el Anaeróbico.

Al finalizar cada parcial de 200 metros se procedía a pulsar el botón rojo del pulsómetro, de tal manera que cada 200 metros se registraba como un parcial. El primer parcial consistía en un tramo de carrera que debía realizarse en 1 minuto y 40 segundos (marcha rápida) mientras que por cada 100 metros se reducían 2 segundos. De este modo la prueba se realizó, restando 4 segundos a cada parcial (Parcial 1 en 1'40", el 2 en 1'36", el 3 en 1'32, etc.) hasta acabar con parciales de 44 segundos, momento en el que el atleta llegaba al agotamiento y no podía mantener esa intensidad. En cualquier caso no es necesario alcanzar ese punto, ya que se trata de una prueba submáxima para hallar el Umbral Anaeróbico, pudiéndose haber interrumpido la prueba con anterioridad.

En las próximas páginas se puede ver las distintas representaciones obtenidas. Por un lado tenemos la curva Frecuencia Cardíaca-Tiempo, en la que se puede observar el progresivo aumento del número de latidos según se desarrollan los parciales. Se puede observar como cada parcial es más corto y como el número total de parciales fue de 15. También se adjunta un resumen de la distribución de las Frecuencias Cardíacas, por fracciones de 10 pulsaciones. En esta distribución se puede ver como la parte final, los dos minutos y medios finales, se realizan de manera anaeróbica, por lo que esta parte se podría haber eliminado de la prueba, pues no son significativos para averiguar el

Umbral. En cualquier caso sí podríamos utilizarlos para comparar los datos con pruebas anteriores, para observar el rendimiento máximo.

Por último se adjunta la gráfica más importante, que es la de Frecuencia Cardíaca-Velocidad, que es la que permite hallar el Umbral Anaeróbico según Conconi. El software informático se encarga de averiguar este punto, que en este caso correspondería a 178 pulsaciones por minuto.

Con este material, la prueba de Conconi se puede realizar con enorme facilidad y rapidez, por lo que puede ser un medio de evaluación del entrenamiento de gran utilidad. Existe además la posibilidad de superponer curvas, lo cual es muy interesante de cara a comparar distintos períodos de entrenamiento, aspecto fundamental en la evaluación.

E. BIBLIOGRAFÍA

** ASTRAND, P.O. y RODAHL, K. "Fisiología del trabajo físico: Bases fisiológicas". Médica Panamericana. Buenos Aires. 1992.

** GARCÍA MANSO, J.M.; NAVARRO VALDIVIELSO, M; RUÍZ CABALLERO, J.A. "Bases teóricas del entrenamiento deportivo". Gymnos. Madrid. 1996.

** GARCÍA MANSO, J.M; NAVARRO VALDIVIELSO, M.; RUÍZ CABALLERO, J.A. "Pruebas para la valoración de la capacidad motriz en el deporte". Gymnos. Madrid. 1996.

** GEORGE, J.D.; GORTH FISHER, A. y VEHR, P.A. "Tests y pruebas físicas". Paidotribo. Barcelona. 1996.

** GROSSER, M. y STARISCHKA, S. "Tests de la Condición Física". Martínez Roca. Barcelona. 1988.

** HAAG, H. y DASSEL, H. "Tests de la Condición Física". Hispano Europea. 1995.

** LEGIDO ARCE, J.C.; SEGOVIA MARTÍNEZ, J.C.; SILVARREY VARELA, F.J. "Manual de valoración funcional". Eurobook. Madrid. 1996.

** MAC DOUGALL, J.D.; WENGER, H.A.; GREEN, H.J. "Evaluación fisiológica del deportista". Paidotribo. Barcelona. 1995.

** PLATONOV, V.N. "El entrenamiento deportivo: Teoría y Metodología". Paidotribo. Barcelona. 1988.

** ZINTL, F. "Entrenamiento de la resistencia" Martínez Roca. Barcelona. 1991.