

Pruebas de campo para la valoración del consumo máximo de oxígeno, la velocidad aeróbica máxima, y la resistencia intermitente

Lic. Martín G. Farinola

Cátedra Fisiología y Valoración del Rendimiento Físico
Instituto Superior de Deportes
Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

INTRODUCCIÓN

Según MacDougall y Wenger (1995) para que un programa de evaluación fisiológica en el deporte sea efectivo, éste debe cumplir, entre otros, los siguientes requisitos:

- Las variables evaluadas son importantes en ese deporte;
- Las pruebas seleccionadas son válidas y fiables;
- Los protocolos de las pruebas son específicos al deporte;
- La prueba debe ser administrada con absoluta rigidez.

Para cumplir con estos requisitos se torna indispensable que el evaluador conozca la procedencia de las pruebas de campo (frecuentemente indirectas) que utiliza.

La intención principal del presente artículo es describir las pruebas de campo más utilizadas en la valoración del rendimiento aeróbico continuo e intermitente como así también su validez, a partir del análisis de la bibliografía original para, de esta forma, favorecer la correcta utilización de las mismas y poder cumplir con los requisitos de un programa de evaluación efectivo en el deporte.

1. DEFINICIONES

1.1. Consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx):

“Equivale a la máxima cantidad de oxígeno que un organismo estimulado puede extraer de la atmósfera y transportar hasta el tejido para allí utilizarlo” (Thoden S. 1995). Cuantitativamente equivale a la cantidad máxima de oxígeno que un individuo puede consumir por unidad de tiempo durante una actividad que aumenta de intensidad progresivamente, realizada con un grupo muscular importante y hasta el agotamiento (también llamado Potencia Aeróbica Máxima) (Figura 1).

La unidad de medida será litros de oxígeno por minuto ($l \cdot \text{min}^{-1}$) de manera absoluta, o mililitros de oxígeno por kilogramo de peso corporal por minuto ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) de manera relativa al peso corporal de la persona estudiada.

Otra unidad de medida frecuente es el MET. El MET es un equivalente metabólico que corresponde al ritmo metabólico en reposo (sentado y quieto). Por ejemplo, una intensidad de ejercicio de 2 METs equivale a un ritmo metabólico del doble del de reposo; por lo tanto cuando se utilicen METs se estarán utilizando múltiplos del ritmo metabólico de reposo. Un MET equivale aproximadamente, y por convención, a un consumo de oxígeno de $3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, aunque recientemente se encontró que este valor sobreestima en promedio un 35 % el ritmo

metabólico de reposo medido en una muestra de 593 mujeres y 78 varones de entre 18 y 74 años de edad (Byrne N. M., et al. 2005).

La medición directa del VO_2 máx normalmente se realiza a través de una prueba de intensidad creciente (incremental). Para declarar que el VO_2 máx se ha alcanzado se debe observar la aparición de una meseta en el VO_2 , o sea que éste no aumente a pesar de estar aumentando la carga de trabajo (Figura 1). Sin embargo, este comportamiento del VO_2 no sucede en todos los sujetos por lo que también se acepta como prueba máxima aquella que cumpla con al menos tres de los siguientes cuatro criterios (Pérez Ruiz, M. 2006):

- un aumento de VO_2 entre un estadio y el siguiente menor a $150 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$;
- niveles de *lactato sanguíneo* asociados a estados de esfuerzo aeróbico máximo;
- un *cociente respiratorio* (VCO_2/VO_2) mayor o igual a 1,15;
- alcanzar la *frecuencia cardíaca* máxima teórica del evaluado.

1.2. Consumo de oxígeno pico (VO_2 pico):

Cuando se busca determinar el VO_2 max a partir de una prueba incremental puede suceder que se finalice la prueba sin que se lleguen a cumplir con los criterios necesarios para declarar que se ha alcanzado dicho estado (punto 1.1). Si se finaliza la prueba sin que se hayan cumplido estos criterios, el valor resultante de VO_2 no puede ser llamado VO_2 max. Sin embargo se ha podido determinar un valor de VO_2 que fue el máximo de la prueba. En estos casos hablamos de VO_2 pico, y este término hace referencia “al máximo valor de VO_2 que se ha alcanzado en una prueba determinada y que no cumple los criterios de maximilidad” (Fernández Vaquero, A. 2006).

Las causas por las cuales una prueba incremental se detiene antes de alcanzar los criterios para declarar el VO_2 max son diversas, entre las que encontramos la voluntad del evaluado, su estado físico, su motivación, y también la decisión del evaluador para disminuir el riesgo de algún evento adverso.

1.3. Velocidad aeróbica máxima (VAM):

“Es definida como la velocidad mínima teórica que requiere el consumo máximo de oxígeno” (Billat V. 2002). Corresponde al inicio de la meseta del límite del VO_2 máx (Figura 1).

Su unidad de medida es normalmente kilómetros por hora (km/h) o metros por segundo (m/s).

1.4. Tiempo límite (t_{lim}) a Velocidad aeróbica máxima (VAM):

“Equivale al tiempo de mantenimiento de un esfuerzo a intensidad de VO_2 máx o a VAM” (Billat V. 2002). Existe una gran variabilidad interindividual de este tiempo límite; los tiempos van de 4 a 11 minutos y se reparten alrededor de una media de 6 minutos (Billat, V. 2002). Estos valores son bastante concordantes con los que sugiere Thoden J. (1995), quien propone un tiempo de entre 6 y 8 minutos, y con los que sugieren García Manso J. et al (1996), quienes fijan un tiempo límite para la VAM de entre 6 y 10 minutos para sujetos entrenados.

Según Billat V. (2002) a igual VO_2 máx se pueden identificar dos tipos de sujetos: aquellos que pueden sostener la VAM ó vVO_2 máx durante mucho tiempo (más de 6 minutos, t_{lim} alto) y aquellos que no pueden (menos de 6 minutos, t_{lim} bajo). Esto adquiere relevancia a la hora de dosificar las cargas de entrenamiento de manera individualizada.

Su unidad de medida es minutos y segundos.

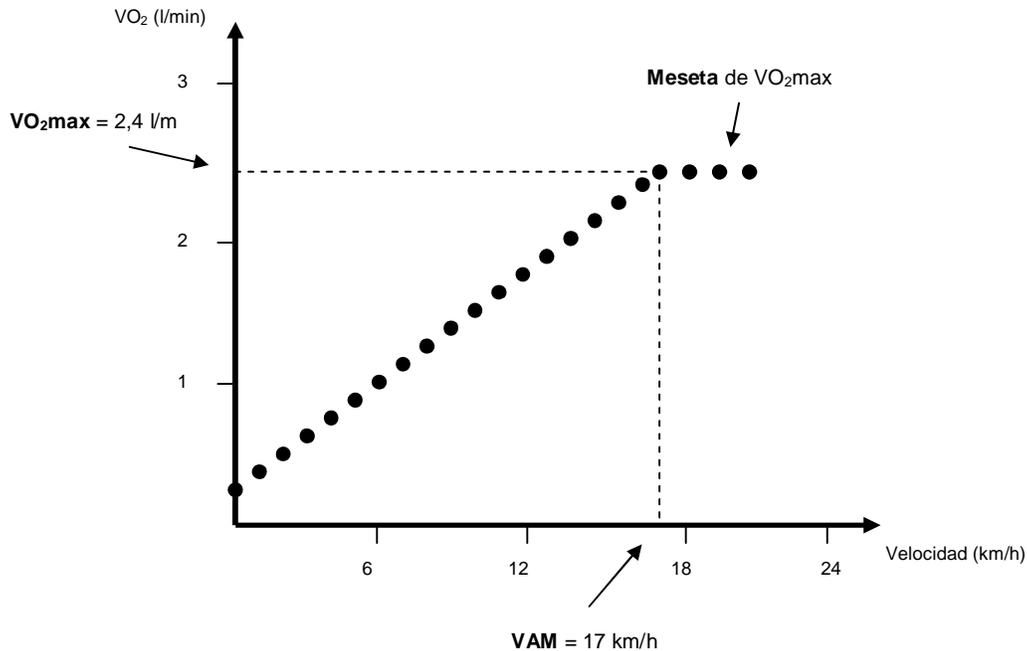


Figura 1. Ejemplo del resultado de una prueba incremental directa en cinta rodante de valoración del VO₂max y de la VAM.

1.5. Resistencia intermitente:

Siguiendo a Jens Bangsbo (1997) podríamos decir que la resistencia intermitente está relacionada con:

- la capacidad de un jugador de ejecutar repetidamente ejercicios intensos después de ejercicios intermitentes prolongados, y
- la capacidad de un jugador de recuperarse de un ejercicio intenso.

Debido a que esta cualidad no depende solamente del VO₂máx (por lo que una prueba de VO₂máx no siempre predice el rendimiento en resistencia intermitente) se hace necesario evaluarla de manera específica, sobretodo en jugadores de los deportes denominados “acíclicos”.

El entrenamiento de resistencia intermitente utiliza a la VAM para dosificar la intensidad de la carga (Rubén Argemi, 2003; Adrián Casas, 2008).

2. CLASIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS

Existen diferentes criterios para clasificar las pruebas aeróbicas. Según cada criterio las pruebas pueden ser:

- *de campo o de laboratorio*, según el contexto de administración, o sea según se estén controlando las variables conocidas “espurias” o no;
- *directas o indirectas*, según se esté midiendo directamente el parámetro fisiológico de interés o no;
- *continuas o discontinuas*, según haya pausas o no durante la ejecución de la prueba;

- *constantes o incrementales*, según si la intensidad del esfuerzo se esté aumentando o se quede fijo durante la ejecución;
- *máximas o submáximas*, según si la prueba es al agotamiento o no;
- *específicas o inespecíficas*, según el grado de similitud entre el gesto técnico llevado a cabo durante la prueba y el llevado a cabo durante la competencia.

En este artículo revisaremos pruebas de campo comúnmente utilizadas para estimar indirectamente las variables fisiológicas que nos interesan aquí y que son difíciles de medir de manera directa. Algunas de estas pruebas son constantes y otras incrementales, también algunas son continuas y otras discontinuas. Estas estimaciones indirectas se realizan a partir de la medición directa de otras variables más accesibles, como por ejemplo distancias, tiempos, velocidades, etc.

Por su parte, la especificidad de las pruebas va a depender del deporte de que se trate. Por ejemplo una prueba discontinua tendrá más especificidad para hándbol que para atletismo, lo contrario sucedería con una prueba continua.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS

3.1. Test de caminar/correr 12 minutos (Test de Cooper)

Esta es una prueba indirecta, continua, constante y máxima de valoración del $VO_2\max$. Consiste en recorrer la mayor distancia posible corriendo (preferiblemente) o caminando (para prevenir una sobre exigencia) durante 12 minutos.

Esta prueba es una modificación del test del Dr. Bruno Balke (mentor de K. Cooper). En el test de Balke se debía recorrer la mayor distancia posible en 15 minutos, se podía caminar o correr, y lo que se medía era la velocidad promedio en m/min. Este valor parecía correlacionarse bien con el $VO_2\max$. Cooper le realiza dos modificaciones a esta prueba con la intención de poder ser llevada a cabo a grandes grupos y poder interpretar más fácilmente los resultados. Después de meses de pruebas y errores escogieron la duración de *12 minutos* en lugar de los 15 originales, y por otro lado el resultado final pasó a ser la *distancia recorrida en metros* en lugar de la velocidad promedio (Cooper K. 1970).

La validez ha sido puesta a prueba con 115 varones de la fuerza aérea de EEUU de 22 años de edad promedio (rango de 17 a 52 años), y se ha encontrado un coeficiente de correlación de 0,897 entre la medición directa de laboratorio y la distancia cubierta en 12 minutos. La ecuación de regresión publicada originalmente fue:

$$\text{Distancia} = 0,3138 + (0,0278 \text{ VO}_2\max), \text{ ó}$$

$$\text{VO}_2\max = (\text{DISTANCIA} - 0,3138) / 0,0278$$

donde $VO_2\max$ en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, DISTANCIA en millas (1 milla equivale a 1.609 metros) (Cooper K. 1968).

Si el resultado lo tenemos en kilómetros, usamos la siguiente fórmula (García Manso J. et al. 1996):

$$\text{VO}_2\max = (22,351 \times \text{DISTANCIA}) - 11,288$$

Las ventajas de esta prueba han sido que se lleva a cabo a través de un gesto (caminar/correr) conocido, es de bajo costo, se puede evaluar a varias personas al mismo tiempo, y no se requiere de personal entrenado para administrarla.

Las desventajas son que la velocidad promedio del test es menor a la VAM; y que, al ser una prueba de tiempo fijo (12 minutos) y distancia variable, se puede volver complicado determinar el resultado (medir los metros recorridos).

3.2. Test de caminar/correr 1 milla (ó 1.609 metros)

Esta es una prueba indirecta, continua, constante y máxima de valoración del VO_{2pico} . Consiste en recorrer 1.609 metros en el menor tiempo posible, pudiendo caminar o correr. Al ser una prueba de distancia fija (1.609 m) y tiempo variable es más sencillo obtener el resultado, ya que solamente hay que detener el cronómetro cuando el individuo atraviesa la línea final.

En la validación de esta prueba se han utilizado otras variables además del tiempo final. Los autores han encontrado que el coeficiente de correlación mejoró significativamente cuando se tuvo en cuenta además del tiempo en recorrer 1 milla, el índice de masa corporal (IMC), la edad y el sexo de los sujetos ($r = -0,71$; $EEE = 4,8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

Otra cuestión interesante de este trabajo fue la muestra con la cual se validó la ecuación de regresión. Esta muestra estuvo conformada por varones y mujeres de 8 a 25 años de edad ($n = 753$), por lo que esta ecuación puede ser utilizada con niños/as y adultos/as jóvenes de similares características a los de dicho grupo.

La ecuación final es la siguiente:

$$VO_{2pico} = -8,41 (\text{TIEMPO}) + 0,34 (\text{TIEMPO}^2) + 0,21 (\text{edad} \times \text{sexo}) - 0,84 (\text{IMC}) + 108,94$$

donde VO_{2pico} en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, TIEMPO en minutos (decimal), edad en años (milesimal), sexo 1 para varón y 0 para mujer, $IMC = \text{peso} / \text{talla}^2$ (peso en kilogramos y talla en metros) (Cureton K., et al. 1995).

La ventaja de esta prueba es que en su fórmula están contempladas variables demográficas que influyen en la relación entre el tiempo y el VO_{2pico} . Además es una prueba más corta que la de 12 minutos. Y el tiempo final es cercano al tiempo límite para la VAM (como vimos, el tiempo límite para la VAM varía entre 4 y 11 minutos según Veronique Billat).

3.3. Test de caminar/correr 1.000 metros

Esta es una prueba indirecta, continua, constante y máxima de valoración del VO_{2max} . Consiste en recorrer 1.000 metros en el menor tiempo posible, pudiendo caminar o correr. Al ser una prueba de distancia fija (1.000 m) y tiempo variable es sencillo obtener el resultado, ya que solamente hay que detener el cronómetro cuando el individuo atraviesa la línea final.

En el trabajo citado se ha validado esta prueba en 51 sujetos mejicanos, 31 hombres ($32,6 \pm 10,5$ años de edad) y 20 mujeres ($33,9 \pm 16,2$ años de edad) ninguno deportista. La fórmula desarrollada es la siguiente:

$$VO_{2max} = 71,662 - (5,850 \text{ TIEMPO}) \quad (r = 0,88)$$

donde VO_{2max} en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, TIEMPO en minutos (decimal) (Díaz F., et al. 2000).

Además de ser un indicador validado para el VO_{2max} , esta prueba tiene la ventaja de que la velocidad promedio calculada puede utilizarse como VAM (Rubén Argemi, 2003), aunque siguiendo a Billat (2002) esto sólo sería verdadero para personas con tiempo límite bajo. Por lo que esta prueba debe utilizarse con cautela cuando se intente establecer una velocidad de referencia para dosificar los entrenamientos aeróbicos.

Para calcular la VAM estimada con el test de 1.000 metros se realiza el siguiente procedimiento matemático:

$$V = e / t \quad (V: \text{velocidad}; e: \text{espacio}; t: \text{tiempo})$$

$$VAM \text{ (m/seg)} = (1.000 \text{ m}) / t \text{ (en segundos)}$$

Ejemplo:

si el test se realizó en 3 minutos 35 segundos (3 minutos por 60 segundos = 180, más 35 = 215 segundos),

1.000 m / 215 s = 4,65 m/s = VAM estimada

3.4. Test de Pista de la Universidad de Montreal (UMTT, por sus siglas en inglés)

Este es un test indirecto, continuo, máximo, e incremental basado en el costo energético de la carrera. El mismo permite valorar el VO₂max como así también la VAM. Esta prueba se debe realizar en una pista de al menos 200 metros por vuelta, y se deben colocar marcas cada 50 metros como máximo para que los sujetos puedan seguir el ritmo fácilmente. Los corredores deben seguir la velocidad que indica un toque de silbato, un poste de señalización temporal, o una grabación.

Este test surgió como alternativa al test de Cooper publicado unos años antes. Al ser incremental, los autores sugieren que el UMTT parece algo más seguro que el test de los 12 minutos, ya que aquí los participantes se detienen cuando se cansan.

El test comienza a una intensidad de 5 METs (6 km/h, caminata) y aumenta progresivamente 1 MET cada 2 minutos (ver Tabla 1). Un sonido indica el ritmo de carrera siguiendo los valores mostrados en la Tabla 1.

La fórmula para la estimación del VO₂máx es:

$$y = 0,0324 x^2 + 2,143 x + 14,49$$

donde y es el costo energético de la carrera en ml·kg⁻¹·min⁻¹; x es la velocidad de carrera del último estadio completado en km/h (r = 0,96; EEE = 2,81 ml·kg⁻¹·min⁻¹) (Leger L., Boucher R. 1980).

La velocidad de carrera del último estadio completado será interpretada como VAM, debiendo luego (una semana después) ser contrastada con una prueba continua constante desarrollada a esta velocidad. Si dicha velocidad se puede sostener más de 2 a 3 minutos (tiempo límite), entonces la consideraremos como VAM. De lo contrario se tomará como VAM a la velocidad alcanzada en el anteúltimo estadio completado del test (Billat, V. 2002).

Estadio	VO ₂ [ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	Tiempo [min]	Velocidad [km/h]	Tiempo cada 50 m [s]
Caminar				
5	17,5	2	6,00	30,0
7	24,5	4	7,10	25,4
Correr				
9	31,5	6	7,16	25,1
10	35,0	8	8,48	21,2
11	38,5	10	9,76	18,4
12	42,0	12	11,00	16,4
13	45,5	14	12,21	14,7
14	49,0	16	13,39	13,4
15	52,5	18	14,54	12,4
16	56,0	20	15,66	11,5
17	59,5	22	16,75	10,7
18	63,0	24	17,83	10,1
19	66,5	26	18,88	9,5
20	70,0	28	19,91	9,0
21	73,5	30	20,91	8,6
22	77,0	32	21,91	8,2
23	80,5	34	22,88	7,9

Tabla 1. Protocolo del Test de Pista de la Universidad de Montreal (UMTT). Adaptado de Leger L., Boucher R. 1980.

Una ventaja del UMTT es que la misma actividad que se utiliza para evaluar se utiliza luego para entrenar, si es que vamos a entrenar corriendo. En este sentido con este test podemos valorar el VO_2max y además utilizar el resultado (VAM) para prescribir el entrenamiento de resistencia.

Si bien la validación de esta prueba con medición directa del consumo de oxígeno fue realizada sólo con varones, los autores concluyen que este es un test seguro, válido, y confiable (la confiabilidad fue puesta a prueba con varones y mujeres) para adultos jóvenes y de mediana edad, varones y mujeres, estén entrenados o no.

3.5. 20-m Shuttle run test (o test de Course Navette)

Este test es una modificación del UMTT para poder ser utilizado en gimnasios o espacios reducidos. Al igual que el UMTT, el Course Navette es un test indirecto, continuo, máximo, e incremental, pero a diferencia de aquel éste tiene frenadas, arrancadas inmediatas y cambios de dirección cada 20 metros (de aquí su nombre). Por lo tanto sólo se necesita una superficie plana de 22 metros de longitud (20 para la ejecución de la prueba y 1 metro más en cada extremo por seguridad) y 1 metro de ancho por persona, lo que permite que el test pueda ser ejecutado por varios sujetos simultáneamente.

En su versión original la prueba comienza a una velocidad de 7,5 km/h y luego se incrementa el ritmo de carrera 1 MET cada 2 minutos. En un estudio posterior se propusieron etapas de 1 minuto de duración en lugar de 2 minutos. Esta modalidad tuvo una alta correlación con la original ($r = 0,97$) y una confiabilidad de 0,95. Esta modificación, según los autores, hace que el test sea más corto, más fácil, y más motivador especialmente para alumnos de edad escolar, por lo que posteriormente se realizó una validación específica.

El test original de Course Navette resultó tener una validez aceptable para estimar el VO_2max a través de la siguiente fórmula:

$$y = 5,857 x - 19,458$$

donde y es el VO_2max en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; x es la velocidad del último estadio completado durante el test ($r = 0,84$; $\text{EEE} = 5,4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Leger L., Lambert J. 1982).

La validez del UMTT es algo mayor que la del Course Navette, lo que lo hace preferible. Sin embargo el UMTT tiene la desventaja (en relación al Course Navette) de necesitar una pista cubierta mayor a 200 metros, o una pista descubierta y un muy buen equipo de sonido.

Por otro lado, y aunque estos dos test están altamente correlacionados, el Course Navette arroja valores levemente (pero significativamente) menores al UMTT. Según los autores esto puede ser debido a que durante el UMTT se lleva a cabo una actividad más natural sin frenadas ni arrancadas.

En la versión actual, la velocidad inicial es de 8,5 km/h y luego aumenta $\frac{1}{2}$ km/h cada 1 minuto (Tabla 2). La fórmula utilizada es:

$$\text{VO}_2\text{max} = 31,025 + (3,238 \times \text{VEL}_f) - (3,248 \times \text{EDAD}) + (0,1536 \times \text{VEL}_f \times \text{EDAD})$$

donde VO_2max en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; VEL_f (velocidad del último estadio anunciado por la cinta sonora) en km/h; EDAD en años ($r = 0,71$; $\text{EEE} = 5,9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; con 188 chicos y chicas de 8-19 años) (Léger L., et al, 1988).

Esta fórmula se puede utilizar en niños, adolescentes y adultos. Si se utiliza en adultos siempre se colocará "18" en EDAD ($r = 0,90$; $\text{EEE} = 4,7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $n = 77$ hombres y mujeres de 18-50 años de edad) (Léger L., et al. 1988).

Estadio [min]	Velocidad (km/h)	Tiempo parcial [s]	VO ₂ max [ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]
1	8,5	8,47	23,6
2	9,0	8,00	26,6
3	9,5	7,58	29,6
4	10,0	7,20	32,6
5	10,5	6,86	35,6
6	11,0	6,55	38,6
7	11,5	6,26	41,6
8	12,0	6,00	44,6
9	12,5	5,76	47,6
10	13,0	5,54	50,6
11	13,5	5,33	53,6
12	14,0	5,14	56,6
13	14,5	4,97	59,6
14	15,0	4,80	62,6
15	15,5	4,65	65,6
16	16,0	4,50	68,6
17	16,5	4,36	71,6
18	17,0	4,24	74,6
19	17,5	4,11	77,6
20	18,0	4,00	80,6

Tabla 2. Course Navette con palieres de 1 minuto. Los valores de VO₂max son para edad de 18 años o mayor. Adaptado de Léger L., et al. 1988.

Por otro lado, y según Casas A. (2008), esta prueba se prefiere para el cálculo indirecto de la VAM en deportes acíclicos. Teniendo en cuenta que la VEL_f de este test es menor a la VAM, Casas sugiere utilizar la fórmula propuesta por Bisciotti, en donde:

$$VAM = (1,5020 \times VEL_{f \text{ Course Navette}}) - 4,0109$$

donde VEL_{f Course Navette}: velocidad del último estadio anunciado por la cinta sonora (en km/h).

La VAM así calculada tendrá luego que ser contrastada con una prueba de tiempo límite al igual que en el UMTT.

Por su parte Serge Berthoin et al. (1994) llegaron a conclusiones similares en un trabajo en donde realizaron mediciones directas de laboratorio al mismo grupo de sujetos que corrieron las pruebas de campo. En su trabajo compararon la VEL_f del test UMTT, la VEL_f del Course Navette, la VAM medida en laboratorio, y el VO₂max estimado con dichos tests y medido en laboratorio en 17 estudiantes de educación física (22,6 ± 5,6 años de edad) de los cuales 5 eran mujeres.

Los resultados mostraron que la VEL_f del Course Navette fue significativamente más baja que las otras dos velocidades (la VEL_f del UMTT y la VAM medida en laboratorio). A su vez la VEL_f del UMTT y la VAM medida en laboratorio no tuvieron diferencias significativas entre ellas (Tabla 3).

Al igual que Bisciotti, estos autores encontraron que las velocidades finales del UMTT y del Course Navette están altamente correlacionadas, lo que les permitió establecer una ecuación de predicción para poder estimar una de ellas a partir de la otra:

$$VEL_{f \text{ UMTT}} = (1,81 \times VEL_{f \text{ Course Navette}}) - 7,86$$

donde VEL_r en km/h ($r = 0,91$).

	VAM [km/h]			VO ₂ max [ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]		
	Course Navette	UMTT	Laboratorio	Course Navette	UMTT	Laboratorio
Promedio	13,1	15,8	15,9	51,1	56,8	56,8
Desvío Estándar	1,0	1,9	2,6	5,9	5,8	7,1

Tabla 3. Velocidades finales en campo y en laboratorio y VO₂max estimado en campo con las fórmulas aquí reportadas y medido en laboratorio. Adaptado de Berthoin S., et al. 1994.

La ventaja de estas fórmulas es que se pueden realizar estimaciones bastantes precisas del resultado de un test operativamente más complejo (UMTT) a partir de los resultados de un test (el Course Navette) más sencillo de llevar a la práctica. Entre las fórmulas de Bisciotti y de Berthoin me inclino por la segunda, ya que la misma ha sido comparada con mediciones directas de laboratorio.

3.6. Test de Andersen

Dadas las dificultades que trae la utilización del cicloergómetro en la escuela para evaluar el VO₂max y sin estar al tanto de los trabajos de Léger, a principios de los 80's se decidió desarrollar un test de campo que: sea confiable, le demande poco tiempo a los profesores que administren la prueba, sea viable para los alumnos, y sea fácil de organizar.

A partir de esto se desarrolló un test de carrera intermitente en el cual puedan ser evaluados al menos 10 alumnos por vez y pueda ser llevado a cabo en un gimnasio común y corriente. El test consiste en recorrer la mayor distancia posible durante 10 minutos pero de manera intermitente: 15 segundos corriendo a máxima velocidad seguidos de 15 segundos detenido y así hasta finalizar el tiempo. La prueba se lleva a cabo en un recorrido de 20 metros ida y vuelta. Al finalizar los 10 minutos se registra la distancia recorrida en metros. Por lo tanto esta es una prueba discontinua, de intensidad constante, y máxima.

Al día de la publicación (2008) más de 100.000 alumnos de escuela secundaria fueron testeados con esta prueba en Dinamarca. Sin embargo una ecuación que permita pasar el resultado del test a ml·kg⁻¹·min⁻¹ de VO₂max estaba faltando. Esto se hizo recientemente y el resultado fue la siguiente ecuación de regresión:

$$VO_2max = 18,38 + (0,033 \times DISTANCIA) - (5,92 \times SEXO)$$

donde VO₂max en ml·kg⁻¹·min⁻¹; DISTANCIA en metros; SEXO 0 para varones y 1 para mujeres ($r = 0,84$; $n = 15$ mujeres y 12 varones de 22 años de edad promedio, 29 chicos y 28 chicas de 10,4 años de edad promedio, y 14 adolescentes varones de 14,7 años de edad promedio) (Andersen LB, et al. 2008).

Los autores, cuando desarrollaron esta prueba, no estaban al tanto de los trabajos de Léger y cols. en los cuales se proponía el test de Course Navette para solucionar los mismos problemas. De todos modos esta prueba tiene la ventaja de no necesitar equipo de sonido y cinta sonora (o CD) para ser administrada.

3.7. Tests Yo-Yo

Citémos textualmente al diseñador de estas pruebas:

“Recientemente se han desarrollado dos tests relevantes para el fútbol: el *test yo-yo de la capacidad de resistencia intermitente* y el *test yo-yo de recuperación intermitente*. En los tests yo-yo intermitentes, los jugadores ejecutan carreras

repetidas de ida y vuelta 20 metros (o sea 40 metros), separadas por un breve período de recuperación, durante el cual los jugadores hacen trote suave. El tiempo de cada ida y vuelta, que se reduce progresivamente, es indicado mediante señales auditivas de una cinta grabada. El objetivo del test es completar tantas idas y vueltas como sea posible. El test finaliza cuando el jugador ya no puede mantener la velocidad requerida.

Test yo-yo de capacidad de resistencia intermitente: su objetivo es evaluar la capacidad de un jugador para ejecutar repetidamente ejercicios intensos después de ejercicios intermitentes prolongados. Una situación parecida a la de la última parte de un partido de fútbol. En el test, los jugadores tienen un período de pausa de 5 segundos entre cada ida y vuelta, siendo la duración total de entre 10 y 20 minutos.

Test yo-yo de recuperación intermitente: su objetivo es examinar la capacidad de un jugador para recuperarse de un ejercicio intenso. Esta capacidad es importante en el fútbol, ya que influye en el potencial de los jugadores para ejecutar ejercicios de alta intensidad durante un partido. En este test, las velocidades de carrera son más elevadas que durante el test anterior y hay un período de pausa activa de 10 segundos entre cada ida y vuelta. La duración total de este test es de entre 3 y 15 minutos.

Ambas pruebas tienen un nivel para jugadores de élite entrenados (Nivel 2) y otro nivel para jugadores aficionados (Nivel 1). Por lo tanto pueden evaluarse todos los jugadores con independencia de su nivel de entrenamiento; otra ventaja es que estas pruebas pueden aplicarse a todo un equipo a la vez.” (Bangsbo J., 1997, p 103).

Como vimos estas son pruebas (fisiológicamente) indirectas, discontinuas, máximas, e incrementales.

En el pack comercializado, además de estas dos pruebas aparece una tercera (*yo-yo de resistencia*) la cual es muy similar al Course Navette (sin pausas).

Estas pruebas han surgido del fútbol a mediados de la década del 90, sin embargo hoy se utilizan en la mayoría de los deportes denominados “acíclicos” para evaluar la resistencia a esfuerzos intermitentes de alta intensidad, debido a un mayor grado de especificidad con el patrón de esfuerzo físico durante la competencia en estos deportes.

De todos modos no podemos dejar de lado que la validación de esta prueba ha sido con 37 futbolistas varones de elite (Krustrup P., et al., 2003). En un primer trabajo se ha encontrado una correlación buena ($r = 0,71$) entre el resultado en el *test yo-yo de recuperación intermitente* Nivel 1 (Yo-Yo IR1) y los *metros recorridos a alta intensidad* (>15 km/h) durante la competencia real. No fue el caso del $VO_2\max$, el cual tuvo una correlación pobre ($r = 0,38$) con dicha variable (metros recorridos a alta intensidad durante la competencia). Esto puede ser interpretado como que aquellos jugadores que han tenido un buen rendimiento en esta prueba, también han tenido buena resistencia a esfuerzos intermitentes de alta intensidad en la competencia.

En un segundo trabajo Krustrup P., et al (2006) encontraron diferencias fisiológicas significativas entre el Yo-Yo IR1 y el de Nivel 2 (Yo-Yo IR2) con un grupo de sujetos diferente pero de similares características (Tabla 4).

Por ejemplo, los valores de fosfocreatina (PC) en la última fase del test fueron menores y el ritmo de utilización de la PC en la última fase del test fue mayor en IR2 que en IR1. Las concentraciones de lactato muscular al final del test fueron mayores en IR2 que en IR1. El pH muscular al agotamiento fue menor en IR2 que en IR1. El ritmo de acumulación de lactato en sangre durante la última fase del test y el pico de concentración de lactato en sangre fueron mayores en IR2 que en IR1. También hubo un ritmo mayor de utilización de glucógeno muscular en IR2 que en IR1, lo que sugiere que el ritmo de la glucólisis fue más pronunciado en IR2 que en IR1.

	Yo-Yo IR1 (n=13)	Yo-Yo IR2 (n=13)
Características de los sujetos		
Edad (años)	28 (25-36)	25 (22-30)
Talla (m)	1,82 (1,72-1,91)	1,82 (1,70-1,93)
Peso (kg)	78,2 (68,4-91,2)	77,9 (64,5-92,0)
VO ₂ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	50,5 (42,1-60,8)	52,9 (43,2-57,2)
Duración del test (min)	14,7 ± 0,8	4,3 ± 0,3
Distancia cubierta (m)	1793 ± 100	591 ± 43

Tabla 4. Características de la muestra en IR1 e IR2. Los valores son Promedio (Rango), excepto para *Duración del test* y *Distancia cubierta* en donde aparece el Promedio ± Desvío Estándar. Adaptado de Krustup P., et al 2006.

A partir de esto la conclusión a la que han llegado los autores es que mientras el test Yo-Yo IR1 hace foco en la habilidad de realizar repetidamente esfuerzos aeróbicos de alta intensidad, el test Yo-Yo IR2 examina la capacidad de realizar esfuerzos intermitentes con una contribución aeróbica significativa pero, a diferencia del primero, en combinación con un alto componente anaeróbico: “La diferencia crucial entre ambos test fue la estimulación del sistema anaeróbico” (Krustup P., et al. 2006, pp 1671).

Estas diferencias hacen que, a partir de lo que se busque evaluar, el evaluador pueda preferir uno de los dos niveles y no el otro.

3.8. Cuadro resumen de las pruebas

Prueba	Tipo de prueba	Autor y año	Variable a medir	Variable de interés con la que está asociada
Caminar/correr 12 minutos	continua, constante, máxima	K. Cooper, 1968	Distancia	VO ₂ max
Caminar/correr 1.000 metros	continua, constante, máxima	F. Díaz, et al. 2000	Tiempo	VO ₂ max
Caminar/correr una Milla	continua, constante, máxima	K. Cureton, et al. 1995	Tiempo	VO ₂ pico
UMTT	continua, incremental, máxima	L. Leger y R. Boucher, 1980	Velocidad final	VO ₂ max y VAM
Course Navette	continua, incremental, máxima	L. Leger y J. Lambert, 1982	Velocidad final	VO ₂ max
Andersen	discontinua, constante, máxima	L. B. Andersen, 2008	Distancia	VO ₂ max
Yo-Yo IR 1	discontinua, incremental, máxima	P. Krustup, et al. 2003	Distancia	Distancia recorrida a alta intensidad durante la competencia en fútbol 11.
Yo-Yo IR 2	discontinua, incremental, máxima	P. Krustup, et al. 2006	Distancia	Capacidad de realizar esfuerzos intermitentes con una contribución aeróbica significativa en combinación con un alto componente anaeróbico.

DISCUSIÓN

La medición directa de las variables fisiológicas de interés en el rendimiento físico no siempre está al alcance del entrenador o evaluador, o sea tiene baja factibilidad. A partir de esta realidad ha resultado de interés desarrollar instrumentos (test) que permitan valorar dichas variables de un modo válido y confiable, pero también factible. Las pruebas de campo aquí comentadas intentan cumplir con estos requisitos.

Como característica común de las pruebas revisadas en este artículo encontramos por un lado que ellas intentan darle valor a propiedades fisiológicas difíciles de medir de manera directa a partir de variables más sencillas de medir, y por otro lado que sólo necesitan instrumental de bajo costo para poder ser llevadas a cabo. Pero además tienen la particularidad de haberse puesto a prueba con indicadores considerados válidos (pruebas estándar) de dichas propiedades para conocer su correspondencia (validez). Como vimos todas ellas han tenido una correspondencia aceptable con el resultado de las pruebas estándar en un grupo de personas determinado (muestra), lo que ha provocado un uso masivo de estos tests. Sin embargo con este uso masivo se corre el riesgo de dejar de lado las limitaciones de las pruebas indirectas y hacer un uso inapropiado de las mismas. Estas limitaciones son:

- La correspondencia entre la variable de interés (por ej.: $VO_2\max$) y la variable medida (por ej.: tiempo) no es perfecta, sólo aceptable. De aquí la necesidad de conocer el grado de correspondencia (valor del coeficiente de correlación y del error estándar de la estimación).
- Esta correspondencia es aceptable sólo en la muestra con la que se puso a prueba; según Thomas y Nelson (2007) este fenómeno se llama *Especificidad Poblacional*. Por lo que al universalizar la fórmula resultante se está presuponiendo que todos los sujetos que evaluemos en el futuro serán similares a los sujetos de la muestra, y además que las condiciones de ejecución de la prueba también serán similares a las originales; presuposiciones convenientes pero generalmente falsas (piénsense por ejemplo que Cooper construyó la fórmula aquí mencionada con una muestra de 115 varones adultos militares norteamericanos en la década de 1960).
- Estas correspondencias aceptables en muestras y contextos específicos sólo se cumplen si se respeta el procedimiento (protocolo de la prueba) preestablecido por el investigador que puso a prueba dicha correspondencia. Por lo que cuando se estén utilizando pruebas indirectas los protocolos deben ser conocidos y además respetados con absoluta rigidez.

Estas limitaciones hacen que los procedimientos indirectos de valoración de las variables fisiológicas de interés sólo arrojen valores aproximados a los reales.

En definitiva, se ganará factibilidad pero se debe ser consciente que se perderá precisión. De aquí se sigue que es sumamente conveniente conocer al máximo posible las características de la prueba elegida y tener en cuenta las limitaciones antes mencionadas para que la pérdida inevitable de precisión sea la mínima posible. De todos modos debemos destacar que las pruebas de campo tienen una ventaja que, incluso teniendo laboratorio a disposición, hace que se prefieran: su especificidad.

Este artículo intentó profundizar en el conocimiento de las pruebas más utilizadas en la evaluación del rendimiento aeróbico en el deporte para mejorar su utilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Andersen L. B., et al. (2008). An intermittent running test to estimate maximal oxygen uptake: the Andersen test. *J Sports Med Phys Fitness* 48: 434-7.

- Argemi R. (2003). Ejercicio Intermitente En Deportes De Conjunto. En línea: <http://www.deportesaciclicos.com/verart.asp?categoryId=82&file=ArgemiResumen.pdf> [Consulta 05/05/09].
- Bangsbo J. (1997). Entrenamiento de la Condición Física en el Fútbol. Barcelona. Paidotribo.
- Berthoin S., et al. (1994). Comparison of two field tests to estimate maximum aerobic speed. *J Sport Sci* 12: 355-362.
- Billat V. (2002). Fisiología y Metodología del Entrenamiento. Barcelona. Paidotribo.
- Byrne N. M., et al. (2005). Metabolic equivalent: one size does not fit all. *J Appl Physiol* 99: 1112-1119.
- Casas A. (2008). Fisiología y metodología del entrenamiento de resistencia intermitente para deportes acíclicos. *J Hum Sport Exerc* 3: 23-52.
- Cooper K. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake. *JAMA* 203: 135-138.
- Cooper K. (1970). Ejercicios Aeróbicos. 23ª impresión. Editorial Diana. México DF. 1997.
- Cureton K., et al. (1995). A generalized equation for prediction of VO₂peak from 1-mile run/walk performance. *Med Sci Sports Exerc* 27: 445-451.
- Díaz F., et al. (2000). Validación y confiabilidad de la prueba aeróbica de 1.000 metros. *Rev Inv Clínica* 52: 44-51.
- Fernández Vaquero, A. (2006). Consumo de oxígeno: concepto, bases fisiológicas y aplicaciones. En López Chicharro, J.; Fernández Vaquero, A. Fisiología del Ejercicio. 3era ed. Panamericana. Madrid.
- García Manso, J.; Navarro Valdivieso, R.; Ruiz Caballero, J. (1996). Pruebas para la Valoración de la Capacidad Motriz en el Deporte. Gymnos. Madrid.
- George J., Fisher A., Vehrs P. (1996). Tests y Pruebas Físicas. Paidotribo. Barcelona.
- Krustup P., et al. (2003). The Yo-Yo Intermittent Recovery Test: Physiological Response, Reliability, and Validity. *Med Sci Sports Exerc* 35: 697-705.
- Krustup P., et al. (2006). The Yo-Yo IR2 test: Physiological response, reliability, and application to elite soccer. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1666-1673.
- Leger L., Boucher R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: The Université de Montréal Track Test. *Can J App Spt Sci* 5: 77-84.
- Léger L., et al (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci* 6: 93-101.
- Leger L., Lambert J. (1982). A Maximal.Multistage 20-m Shuttle Run Test to Predict VO₂max. *Eur J App Physiol* 49: 1-12.
- MacDougall, J. D.; Wenger, H. A. (1995). El objetivo de la evaluación fisiológica. En MacDougall, J. D.; Wenger, H. A.; Green, H. J. Evaluación Fisiológica del Deportista. Paidotribo. Barcelona.
- Pérez Ruiz, M. (2006). Pruebas funcionales de valoración aeróbica. En López Chicharro, J.; Fernández Vaquero, A. Fisiología del Ejercicio. 3era ed. Panamericana. Madrid.
- Thoden S. (1995). Evaluación de la potencia aeróbica. En MacDougall, J. D.; Wenger, H. A.; Green, H. J. Evaluación Fisiológica del Deportista. Paidotribo. Barcelona.
- Thomas, J.; Nelson, J. (2007). Métodos de Investigación en Actividad Física. Paidotribo. Barcelona.