



Consumo de oxígeno estimado y gasto energético en competiciones de esgrima*

Xavier Iglesias
Ferran A. Rodríguez
INEFC Barcelona
Departamento de Ciencias Biomédicas

Palabras clave
esgrima, consumo de oxígeno, gasto energético, fisiología, valoración funcional, competición

Abstract

Here we present an estimation of the oxygen uptake and the energy demands during fencing competitions. It was found that during different competitive assaults, the mean estimated oxygen uptake was lower for female ($\bar{x}=39.6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) than for male fencers ($\bar{x}=53.9 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). The average intensity was found to be between 56% and 74% of $\dot{V}O_{2\text{max}}$ with maximal values between 75% and 99% of $\dot{V}O_{2\text{max}}$. These results confirm the relevance of the aerobic demands in fencing. The energy requirements during an international competition were found to be larger as compared to those measured during a regional tournament, as well as in several training situations. The estimated energy power rate along international and regional fencing competitions averaged $15.4 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ($64.5 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$), and $12.3 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ($51.6 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$), respectively. No significant differences were observed among fencers of the same gender taking into account the weapon used. From the analysis during competition, we emphasise the individual variability of the physiological response, influenced by different factors such as the individual cardiovascular adaptation, relevance of the competition, round studied, opponent's level, competitive dynamics, weapons, and competitor's gender.

Resumen

Se realiza una estimación del consumo de oxígeno y un análisis de las demandas energéticas de la esgrima de competición. En asaltos de competición, el consumo de oxígeno estimado en mujeres ($\bar{x}=39.6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) es inferior al de los hombres ($\bar{x}=53.9 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). La intensidad individual media se encuentra entre el 56% y el 74% del $\dot{V}O_{2\text{max}}$, con máximos entre el 75% y el 99% del $\dot{V}O_{2\text{max}}$, lo que confirma la relevancia de los requerimientos aeróbicos en la esgrima. Las demandas energéticas en la competición internacional son superiores a las registradas en una competición autonómica y al de diferentes situaciones de entrenamiento. La potencia energética media estimada a lo largo de competiciones de nivel internacional y autonómico es, respectivamente, de $15.4 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ($64.5 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$) y $12.3 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ($51.6 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$). Entre tiradores del mismo género no se aprecian diferencias significativas en función del arma. Del análisis en competición destaca la variabilidad de la respuesta funcional de los esgrimistas dada la influencia de factores como la adaptación cardiocirculatoria individual, importancia de la competición, eliminatoria registrada, nivel del rival, dinámica competitiva arma y género.

Introducción

El entrenamiento deportivo se basa en la aplicación de sistemas de trabajo que inciden positivamente en la mejora de los diferentes factores de rendimiento. Cada deporte presenta características diferenciales en su estructura competitiva así como en las características determinantes para conseguir el alto nivel. Por eso las tendencias actuales basan en la especificidad del trabajo gran parte del volumen de entrenamiento. La identificación de los principales factores que inciden en el rendimiento de los deportistas en cada modalidad es el primer paso para diseñar una estrategia de entrenamiento específico que mejore la efectividad del trabajo desarrollado por un deportista. Uno de los principales elementos que condicionarán la programación de los entrenamientos es el conocimiento de la respuesta funcional del esgrimista en competición, es decir, la determinación cuantitativa de la carga interna a que el deportista es sometido por la realización de la

* Trabajo realizado con ayudas a la investigación concedidas por la Secretaria General de l'Esport, Generalitat de Catalunya (1991) y el INEFC de Barcelona (1994, 1997).

actividad concreta del esgrima. En un trabajo anterior (Iglesias y Rodríguez 1995) se valoraron las modificaciones de la frecuencia cardíaca (FC) en competición y se cuantificaron los niveles de lactatemia en las diferentes fases de las pruebas. Analizar el consumo de oxígeno en situaciones competitivas y de entrenamiento y realizar una estimación del gasto energético producido por la esgrima, son los principales elementos de este estudio.

Objetivos

Los objetivos del trabajo han sido los siguientes:

1. Estimar el consumo de oxígeno de esgrimistas de ambos géneros y diferentes modalidades en situaciones reales de competición.
2. Analizar el gasto energético estimado de los esgrimistas durante los asaltos.
3. Mejorar el conocimiento de la respuesta funcional de los tiradores en competición.

Material y método

Frecuencia cardíaca

Se registró de forma continua la FC en dos competiciones oficiales mediante el uso de cardiotacómetros Sport-Tester Polar 4000. Los detalles del diseño de la búsqueda y la metodología utilizada pueden ser consultados en diferentes trabajos previos de los autores (Iglesias y Rodríguez 1991a, 1991b, 1995).

Lactatemia

Se valoró la lactatemia en una competición internacional de un total de 13 sujetos, 6 mujeres y 7 hombres. Para el análisis fotoenzimático de lactato en sangre capilar se utilizó un fotómetro 4020 Hitachi con un filtro de longitud de onda 340 nm (Boehringer Mannheim, RFA) y el kit reactivo Test Combination Lactato para Medicina Deportiva (Boehringer Mannheim, RFA), ácido perclórico 0,33 N (Boehringer Mannheim, RFA), con tampón NAD, GPT y LDH con control Precinorm 2,80 (2,35-3,25) (Boehringer Mannheim, RFA). Las muestras de 20 μ l de sangre capilar del lóbulo de la oreja fueron desproteinizadas con 200 μ l de ácido perclórico 0,33 N (Boehringer Mannheim, RFA). El método utilizado, así como su validez, fiabilidad, precisión y exactitud han sido previamente definidos y establecidos por Rodríguez y col. (1992).

Se valoraron un total de 66 asaltos –el último de cada eliminatoria de cada uno de los sujetos –obteniendo entre 1 y 8 registros por sujeto, según el momento en que fueron eliminados. Cuando un deportista finalizaba el asalto se le acompañaba en la mesa de trabajo y se realizaban las dos extracciones, al minuto y a los tres minutos, del fin del asalto. Unas hojas de control se utilizaban para identificar los códigos de las lactatemias con el sujeto, eliminatoria y minuto analizados (Iglesias y Rodríguez 1995).

Consumo de oxígeno

Competición internacional

Un total de trece sujetos ($n = 13$) participaron en la estimación del consumo de oxígeno en competición internacional. El promedio de edad en las mujeres era de 27 ($de = 5$) años, mientras que en los hombres era de 26 ($de = 5$) años. En primer lugar realizaron una prueba de esfuerzo máximo y progresivo sobre cinta rodante (Woodway, RFA) con un analizador de gases CPX II (Medical Graphics, USA) con el objetivo de medir sus parámetros ventilatorios y la relación individual entre FC y $\dot{V}O_2$. Se aparejaron los registros FC y de consumo de oxígeno, según los valores en los puntos de velocidad de 6,8, 10, 12, 14, 16 y 18 $km \cdot h^{-1}$ (más o menos puntos según la duración de la prueba de cada sujeto) y se realizó el cálculo de la regresión lineal, obteniendo la ecuación individual de cada sujeto: $\dot{V}O_2 = a + b(FC)$. En un espacio de tiempo máximo de siete días los sujetos participaron en el torneo internacional. Se registraron las FC de los 13 sujetos y se procedió a la gestión informatizada de los valores, diferenciándose en el proceso final tiempos de competición reales y los registros en cada uno de los asaltos.

Para la estimación se consideraron dos valoraciones: la de los asaltos ($\dot{V}O_2^{as}$), es decir, la del tiempo real en combate, y la global de la competición ($\dot{V}O_2^{comp}$), incluidas las fases de calentamiento, asaltos y reposo.

El cálculo de $\dot{V}O_2$ en los asaltos y en competición se realizó de acuerdo a las siguientes funciones:

$$\dot{V}O_2^{as} = a + b(FC)$$

$$\dot{V}O_2^{comp} = a + b(FC)$$

donde:

- $\dot{V}O_2^{as}$ = consumo de oxígeno estimado durante los asaltos.
 $\dot{V}O_2^{comp}$ = consumo de oxígeno estimado durante la globalidad de la competición.
 a = constante de la regresión lineal.
 b = pendiente de la regresión lineal.
 (FC) = FC sobre el que se realiza la estimación del consumo de oxígeno.

Considerando que se menospreciaba la deuda del oxígeno en los asaltos, calculamos el consumo de oxígeno neto ($\dot{V}O_2^{neto}$) producido por el esfuerzo específico de la competición de esgrima. Este consumo resulta de restar del valor conseguido anteriormente ($\dot{V}O_2^{as}$) el consumo de oxígeno basal individual ($\dot{V}O_2^{basal}$) y de añadir el gasto en $\dot{V}O_2$ correspondiente al componente lácatico ($\dot{V}O_2^{lact}$), según el equivalente energético del lactato propuesto por di Prampero (1981). También se determinó el consumo de oxígeno neto del global de la competición. Para conseguirlo restamos de $\dot{V}O_2^{comp}$ el consumo del oxígeno en situación de reposo ($\dot{V}O_2^{basal}$):



$$\dot{V}O_{2\text{ neto}}^{\text{as}} = \dot{V}O_2^{\text{as}} + \dot{V}O_2^{\text{lact}} - \dot{V}O_2^{\text{basal}}$$

$$\text{mL O}_2 = \text{mL O}_2 + \text{mL O}_2 - \text{mL O}_2$$

$$\dot{V}O_{2\text{ neto}}^{\text{comp}} = \dot{V}O_2^{\text{comp}} - \dot{V}O_2^{\text{basal}}$$

$$\text{mL O}_2 = \text{mL O}_2 - \text{mL O}_2$$

$$\dot{V}O_2^{\text{basal}} = \dot{V}O_2^{\text{reposo}} \cdot P_c \cdot t$$

$$\text{mL O}_2 = (\text{mL O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot \text{kg} \cdot \text{min}$$

$$\dot{V}O_2^{\text{lact}} = (\Delta [La^-]_s \cdot 3,0 \cdot P_c)$$

$$\text{mL O}_2 = \{ \text{mmol L}^{-1} \cdot [(\text{mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot (\text{mmol L}^{-1})^{-1}] \cdot \text{kg} \}$$

donde:

- $\dot{V}O_{2\text{ neto}}^{\text{as}}$ = consumo de oxígeno neto en los asaltos.
 $\dot{V}O_2^{\text{lact}}$ = consumo de oxígeno correspondiente a la parte láctácea.
 $\dot{V}O_2^{\text{basal}}$ = consumo de oxígeno individual correspondiente a cada sujeto en situación de reposo.
 $\dot{V}O_2^{\text{reposo}}$ = 3,5 mL·kg⁻¹·min⁻¹ (equivalente a 1 MET) (1).
 $\dot{V}O_{2\text{ neto}}^{\text{comp}}$ = consumo de oxígeno neto en el global de la competición.
 P_c = peso corporal de cada sujeto (kg).
 t = duración de la valoración (min).
 $\Delta [La^-]_s$ = incremento de la lactatemia durante la competición, resultante de restar el valor máximo de lactatemia de los valores de reposo: $\Delta [La^-]_s = [La^-]_s^{\text{max}} - [La^-]_s^{\text{reposo}}$ (mmol·L⁻¹)
 1 mmol·L⁻¹[La] \cong 2,7–3,3 ($\bar{x} = 3,0$) mL O₂·kg⁻¹·mmol·L⁻¹ (2)
 \cong 3,0 mL O₂·kg⁻¹·mmol·L⁻¹

Gasto energético

La estimación del gasto energético se realizó en base al cálculo del equivalente calórico del oxígeno, estableciéndose la mencionada equivalencia en 4,838 kcal por cada litro de O₂ consumido. Este valor corresponde al equivalente calórico del oxígeno asumiendo una relación de intercambio respiratorio (R = RER "respiratory exchange ratio") de 0,83. Esta relación entre $\dot{V}CO_2$ y $\dot{V}O_2$ es también conocida como RQ ("respiratory quotient"), pero sólo cuando se mide en una situación de estado estable (3), no siendo el caso durante los combates, en que esta relación es variable según las vías metabólicas alternantes utilizadas. Weir (1949) demostró que el gasto energético puede ser calculado con la precisión suficiente (4) sólo midiendo la ventilación en condiciones STPD y la fracción espiratoria del oxígeno según la ecuación:

$$E = c \cdot \dot{V}_E \cdot [(20,93 - F_{E\text{O}_2})/100]$$

donde:

- E = gasto energético (kcal).
 c = equivalente calórico de oxígeno.
 \dot{V}_E = volumen de aire espirado (L, STPD).
 $F_{E\text{O}_2}$ = fracción espiratoria de oxígeno.

Tal y como se realiza en la valoración indirecta del consumo de oxígeno, se analiza el gasto energético en dos situaciones: la primera en los asaltos y la segunda en la globalidad de las competiciones según las ecuaciones:

$$E^{\text{as}} \cong \dot{V}O_2^{\text{as}} \cdot 4,838$$

$$\text{kcal} \cong \text{L O}_2 \cdot (\text{kcal} \cdot \text{L O}_2^{-1})$$

$$E^{\text{comp}} \cong \dot{V}O_2^{\text{comp}} \cdot 4,838$$

$$\text{kcal} \cong \text{L O}_2 \cdot (\text{kcal} \cdot \text{L O}_2^{-1})$$

donde:

- E^{as} = gasto energético durante los asaltos (kcal).
 E^{comp} = gasto energético durante la competición (kcal).
 $\dot{V}O_2^{\text{as}}$ = consumo de oxígeno durante los asaltos (L O₂).
 $\dot{V}O_2^{\text{comp}}$ = consumo de oxígeno durante la competición (L O₂).
 4,838 = 4,838 kcal · L O₂⁻¹ = equivalente calórico de O₂ para una relación de intercambio respiratorio R = 0,83 (Fox i col. 1989; Zuntz 1901) (1 kcal = 4,1855 kJ).

Competición autonómica

En esta segunda valoración participaron 10 sujetos. La metodología fue similar a la utilizada en la prueba internacional, con la única diferencia de que la prueba de esfuerzo en laboratorio fue realizada mediante un analizador telemétrico de gases (K2-Cosmed), que nos permitió realizar un estudio de validación del método (Rodríguez, Iglesias y Tapiolas 1994; Iglesias 1997).

(1) Consideramos como valor basal de consumo de oxígeno el equivalente a 1 MET, es decir, 3,5 mL·min⁻¹·kg⁻¹.

(2) La búsqueda de un equivalente energético del lactato sanguíneo llevó a los autores como Margaria (1963), Cerretelli (1964) y di Prampero y col. (1978) a proponer un valor entre 2,7 y 3,3 mL O₂·kg⁻¹·mmol⁻¹ en deportistas con diferentes niveles de consumo máximo de oxígeno y en base a los datos experimentales hemos considerado el valor medio (3,0 mL O₂·kg⁻¹·mmol⁻¹) como el equivalente energético del lactato acumulado en sangre. A pesar de que el estudio de di Prampero fue realizado en pruebas de carácter continuo –carrera, natación y ciclismo– asumimos el error ya existente ya que el autor la considera lo suficientemente válida también para esfuerzos submáximos.

(3) O de reposo (Fox, Bowers y Foss 1989).

(4) Según Weir (1949), el error en no medir el CO₂ es, como mucho, de $\pm 0,5\%$.

Realizados los cálculos de la estimación del gasto energético, y gracias al control temporal llevado a cabo durante toda la recogida de datos, procedimos a valorar la potencia energética (\dot{E}) de los esgrimistas en las mismas condiciones que las descritas en el apartado anterior y aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\dot{E}^{\text{as}} \cong \dot{V}O_2^{\text{as}} \cdot 4,838 \cdot t^{-1}$$

$\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1} \cong L O_2 \cdot (kcal \cdot L O_2^{-1}) \cdot \text{min}^{-1}$

$$\dot{E}^{\text{comp}} \cong \dot{V}O_2^{\text{comp}} \cdot 4,838 \cdot t^{-1}$$

$\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1} \cong L O_2 \cdot (kcal \cdot L O_2^{-1}) \cdot \text{min}^{-1}$

donde

\dot{E}^{as} = potencia energética en los asaltos ($\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$) (5).

\dot{E}^{comp} = potencia energética durante la competición ($\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$).

$\dot{V}O_2^{\text{as}}$ = consumo de oxígeno durante los asaltos ($L O_2$).

$\dot{V}O_2^{\text{comp}}$ = consumo de oxígeno durante la competición ($L O_2$).

4,838 = $4,838 \text{ kcal} \cdot L O_2^{-1}$ = equivalente calórico de O_2 para una relación de intercambio respiratorio $R = 0,83$ (Fox i col. 1989; Zuntz 1901)

t = tiempo de esfuerzo (min^{-1})

Supuestos y limitaciones

En la determinación del consumo de oxígeno se presenta un método indirecto en el que el consumo de oxígeno es estimado en cada uno de los tiradores mediante la ecuación de regresión lineal $\dot{V}O_2 = a + b (FC)$, obtenida en una prueba de esfuerzo progresiva en cinta rodante. Esta metodología indirecta ha sido utilizada en estudios sobre el gasto energético de actividades laborales (Åstrand y Rodahl 1986; pp. 332-334) y, como ha sido descrito en diferentes estudios, puede ser aplicada también como método de medida indirecta del gasto energético en actividades deportivas intermitentes (di Prampero 1981; Fox y col. 1989; Pinnington y col. 1990).

Previamente a la descripción de la metodología y resultados hay que considerar las siguientes limitaciones en el estudio presentado:

- La competición comporta un aumento del componente emocional con un incremento del tono simpaticoadrenérgico y de la secreción de catecolaminas y, por lo tanto, la respuesta funcional ante los requerimientos físicos en competición puede verse alterada (Hoch y col. 1988; Markowska y col. 1988).
- El incremento de la FC por el factor competitivo, añadido a la deuda de oxígeno que se puede acumular en las diferentes fases de la competición, puede introducir un factor de

error que limita la fiabilidad de la estimación del consumo de oxígeno. Considerando que los períodos de tensión emocional son proporcionalmente cortos en relación a los períodos de descanso entre asaltos, pensamos que el efecto sobre el componente energético, en una valoración global de la competición de esgrima, debe ser reducido.

- En la valoración indirecta del $\dot{V}O_2$ se ha evaluado el consumo de oxígeno en base a los registros de FC de los asaltos y de la globalidad de la competición. En el diseño del estudio se pretendía incorporar en la determinación del consumo de oxígeno de los asaltos ($\dot{V}O_2^{\text{comp}}$) la cuantificación de la deuda de oxígeno, pero la variabilidad existente en las pausas entre asaltos hacía que, en muchos combates, la deuda de oxígeno de un asalto no fuese completo al sobreponerse la deuda de un asalto con el inicio del siguiente. La decisión fue establecer dos medidas de consumo de oxígeno: la de los asaltos ($\dot{V}O_2^{\text{as}}$), valorando el gasto real producido en los mismos, y la de competición ($\dot{V}O_2^{\text{comp}}$), en la que se incluye todo el consumo de oxígeno producido en competición, incluida la deuda, a pesar de que no se llegue a precisar el volumen de esta deuda en cada asalto.
- La relación $\dot{V}O_2$ -FC individual durante el esfuerzo se establece mediante una prueba continua y progresiva sobre la cinta rodante, mientras que la competición presenta una demanda funcional variable e intermitente. Se asume que la variabilidad de esta relación no es significativa a efectos de cálculo energético. No obstante, Åstrand y Rodahl (1986) consideran que la fiabilidad de esta estimación es adecuada para todos los propósitos prácticos de la investigación de campo en la mayoría de los casos. Para verificar esta afirmación diseñamos un experimento de medida directa del $\dot{V}O_2$ en entrenamientos para eventualmente validar esta metodología (Rodríguez y col. 1994). Los resultados (Iglesias 1997) serán publicados en futuros trabajos.
- En la estimación del $\dot{V}O_2$ hemos considerado como nivel basal de consumo de oxígeno individual el valor de 1 MET ($3,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).
- La prueba de esfuerzo realizada para conseguir la ecuación de regresión lineal se realizaba en un margen de ± 3 a 7 días. En este período el esgrimidor se comprometía a no modificar significativamente, con el entrenamiento, la condición física y por lo tanto la relación $\dot{V}O_2$ -FC podía aplicarse a los registros de la FC en competición con un reducido margen de error.

Resultados

La primera fase del estudio fue realizada en el transcurso de una prueba internacional. Los valores medios de lactatemia obtenidos

(5) Se presentan los resultados en $\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$. Para otras valoraciones de potencia energética se realizan las transformaciones según la equivalencia de 1 watt = $0,014335 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$, o al revés, $1 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1} = 69,759 \text{ watt}$ (Fox y col. 1989, p.64).

en competición fueron de $3,7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (de = 1,1), con valores extremos de 1,8 y $6,4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Los promedios de las diferentes eliminatorias presentaron valores similares, no observándose, contrariamente en los registros de FC, un incremento progresivo a medida que la competición avanzaba, ni siendo significativa la comparación de los promedios obtenidos en las diferentes fases de la competición.

La valoración en laboratorio del consumo máximo de oxígeno manifestó valores elevados de $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ en la muestra masculina ($\bar{x} = 64,8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; de = 7,1) y resultados inferiores en las floretistas ($\bar{x} = 49,2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; de = 7,3). En la interpretación de los resultados expuestos se deberá tener presente que de los 7 espadistas de la muestra 3 eran pentatletas del equipo olímpico español. De los resultados de la prueba de esfuerzo hay que destacar la relación FC- $\dot{V}\text{O}_2$ individual de cada uno de los sujetos de la muestra, que determinó la ecuación y la recta de regresión individual que permitía estimar el consumo de oxígeno en situación de competición (Figura 1). En los trece sujetos se dieron elevados niveles de correlación entre los valores de FC y $\dot{V}\text{O}_2$ ($0,964 \leq r \leq 0,998$).

El cálculo de las trece rectas de regresión (Figura 2) posibilitó, siguiendo el método descrito, valorar de forma indirecta el consumo de oxígeno de los esgrimistas en competición internacional. Este fue, en valores medios, de $47,3 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (de = 9,3), presentando los hombres ($n = 7$) valores superiores ($\bar{x} = 53,9 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; de = 4,4) a los estimados en las mujeres ($n = 6$) ($\bar{x} = 39,6 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; de = 7,2).

En la estimación del consumo de oxígeno valoramos la demanda específica en los asaltos (Tabla 1), así como en la globalidad de la competición (Tabla 2). En términos absolutos y relativos, como es comprensible, los valores de la globalidad de la competición del consumo de oxígeno por unidad de tiempo fueron inferiores a los de la valoración exclusiva de los asaltos con un alto nivel de significación ($p < 0,001$), siendo, con una confianza del 95%, la diferencia entre 1202 y $1960 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$.

Al analizar la duración de los asaltos en el conjunto de la competición consideramos de interés cuantificar la parte total del consumo de oxígeno estimado en competición correspondiente a la realización de los asaltos ($\dot{V}\text{O}_2^{\text{as}}$). Tanto en la estimación del $\dot{V}\text{O}_2^{\text{as}}$ (Tabla 3) como en el $\dot{V}\text{O}_2^{\text{comp}}$ (Tabla 4) se detectaron valores superiores en la muestra masculina en relación a la femenina, calculándose un promedio global de consumo de oxígeno en la competición de 438 L de O_2 (de = 265), de los cuales 161 L de O_2 (de = 102) correspondían a la disputa de los asaltos.

La segunda competición que estudiamos fueron los Campeonatos de Catalunya absolutos de esgrima de 1993. El promedio del consumo máximo de oxígeno registrado en la prueba de esfuerzo de los 10 sujetos de la muestra (8 hombres y 2 mujeres) fue de $53,7 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (de = 9), valores sensiblemente inferiores a los determinados en la prueba del esfuerzo de la estimación del $\dot{V}\text{O}_2$ en la prueba internacional ($\bar{x} = 57,6 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; de = 10,7). En la programación del estudio consideramos interesante que tres de los

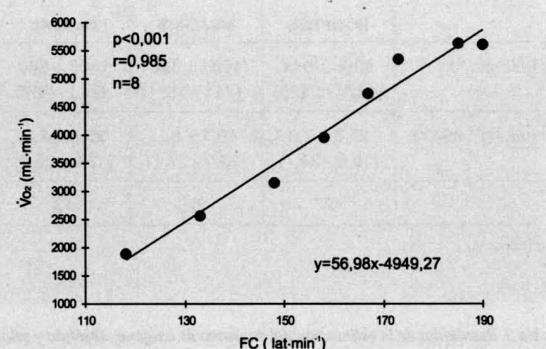


Figura 1. Recta de regresión del consumo de oxígeno en función de la FC obtenida en una prueba de esfuerzo sobre cinta ergométrica en uno de los esgrimistas.

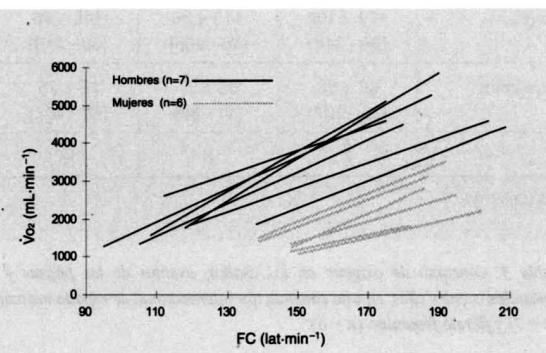


Figura 2. Rectas de regresión individuales de los trece sujetos de la muestra, correspondientes a la relación consumo de oxígeno-FC.

	HOMBRES	MUJERES	GLOBAL
$\dot{V}\text{O}_2^{\text{as}}$ estimado ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)	4021 ± 423 (3356 - 4528)	2210 ± 545 (1538 - 2908)	3185 ± 1047 (1538 - 4528)
$\dot{V}\text{O}_2^{\text{as}}$ estimado ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$53,9 \pm 4,4$ (47,9 - 62,0)	$39,6 \pm 7,2$ (30,2 - 51,0)	$47,3 \pm 9,3$ (30,2 - 62,0)
Sujetos (n)	7	8	13

Los datos son: $\bar{x} \pm \text{de}$ (min-max).

Tabla 1. Resultados de la estimación del consumo de oxígeno, absoluto y relativo al peso, en los asaltos, exentos de las pausas y calentamiento entre ellos, en una competición internacional de espada masculina ($n = 7$) y florete femenino ($n = 6$).

	HOMBRES	MUJERES	GLOBAL
$\dot{V}O_2^{\text{comp}}$ estimado ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)	2066 ± 544 (1226 - 2879)	1064 ± 326 (711 - 1581)	1603 ± 680 (711 - 287)
$\dot{V}O_2^{\text{comp}}$ estimado ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$27,8 \pm 7,0$ (15,8 - 34,7)	$19,1 \pm 5,1$ (13,9 - 27,7)	$23,8 \pm 7,4$ (13,9 - 34,7)
Sujetos (n)	7	6	13

Los datos son: $\bar{x} \pm \text{de}$ (min-max).

Tabla 2. Resultados de la estimación del consumo de oxígeno, absoluto y relativo al peso, de la globalidad de una competición internacional de espada masculina (n = 7) y florete femenino (n = 6).

	HOMBRES	MUJERES	GLOBAL
$\dot{V}O_2^{\text{est}}$ estimado (L)	191 ± 107 (41 - 341)	125 ± 93 (49 - 289)	161 ± 102 (41 - 341)
$\dot{V}O_2^{\text{neto}}$ estimado (L)	179 ± 100 (39 - 318)	115 ± 86 (46 - 266)	149 ± 96 (39 - 318)
Tiempo en asaltos (min)	46 ± 23 (22 - 107)	53 ± 27 (11 - 86)	49 ± 25 (11 - 107)
Sujetos (n)	7	6	13

Los datos son: $\bar{x} \pm \text{de}$ (min-max).

Tabla 3. Consumo de oxígeno en los asaltos, exentos de las pausas y calefamiento entre ellos, en una competición internacional de espada masculina (n = 7) y florete femenino (n = 6).

	HOMBRES	MUJERES	GLOBAL
$\dot{V}O_2^{\text{comp}}$ estimado (L)	588 ± 271 (254 - 951)	263 ± 105 (188 - 470)	438 ± 265 (188 - 951)
$\dot{V}O_2^{\text{neto}}$ estimado (L)	511 ± 246 (227 - 855)	206 ± 94 (146 - 390)	370 ± 243 (146 - 855)
Tiempo competición (min)	294 ± 113 (169 - 369)	292 ± 64 (111 - 421)	292 ± 94 (111 - 421)
Sujetos (n)	7	6	13

Los datos son: $\bar{x} \pm \text{de}$ (min-max).

Tabla 4. Consumo de oxígeno, total y neto, en la globalidad de una competición internacional de espada masculina (n = 7) y florete femenino (n = 6).

tiradores compitieron en dos modalidades diferentes (la espada y el florete), realizándose posteriormente el análisis comparativo de sus resultados en las diferentes fases eliminatorias (Figura 3). No se detectaron diferencias significativas en el apareamiento de los promedios del consumo de oxígeno en las diferentes fases eliminatorias. Se detectó un alto nivel de correlación entre los valores de cada sujeto en las dos modalidades ($r = 0,90$; $p < 0,05$).

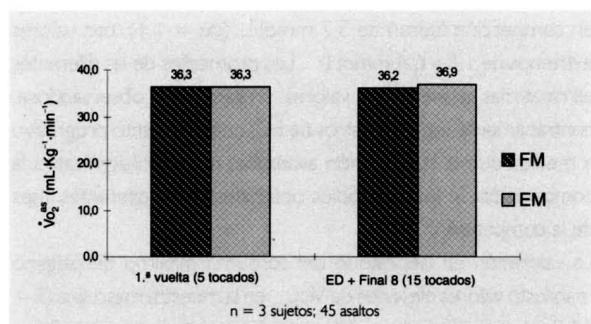


Figura 3. Medias de la estimación del consumo de oxígeno durante los asaltos de tres tiradores en competición de florete (FM) y espada (EM). Las diferencias no son significativas ($p > 0,05$).

La estimación del consumo de oxígeno en los Campeonatos de Catalunya absolutos presentaron un promedio global de $36,0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (de = 6,3) con valores muy similares en las diferentes fases eliminatorias (Tabla 5). Los promedios globales y por género son inferiores a los de la prueba internacional. En la valoración individual realizada sujeto a sujeto determinamos la intensidad del trabajo en los asaltos en base al $\dot{V}O_{2\text{max}}$ estimado en cada sujeto observándose valores medios en el transcurso de todos los asaltos de entre el 55,6 y el 77,4% del $\dot{V}O_{2\text{max}}$, mientras que si se determinábamos los valores máximos del consumo de oxígeno que cada esgrimista conseguía en la disputa de los asaltos encontrábamos valores muy elevados que iban del extremo inferior del 75,3% del $\dot{V}O_{2\text{max}}$ al superior, muy próximo al máximo, del 99,6% del $\dot{V}O_{2\text{max}}$.

Se presentan los valores de gasto energético y potencia energética estimadas en base a los valores de consumo de oxígeno estimados en el transcurso de la competición internacional (Tabla 6).

Al valorar el consumo energético medio producido en un asalto de esgrima a cinco tocados, a un máximo de 5 minutos –en esta competición presentó una duración de 3,6 min (de = 0,9) reales de promedio–, el gasto estimado fue de 56,6 kcal (de = 23,8) en asaltos. Esta demanda se produce por los 11,6 L de O_2 (de = 4,9) de promedio de consumo por asalto que se estimaron en esta prueba internacional en que cada sujeto disputó un promedio de 13 asaltos (de = 6).

La potencia energética en competición, durante la realización de los diferentes asaltos, fue de $15,4 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ (de = 5,1) (Tabla 6).

Finalmente introdujimos el cálculo de la potencia energética en las diferentes actividades incluidas en el estudio de consumo de oxígeno como fueron la prueba internacional, los Campeonatos de Catalunya y unos asaltos de entrenamiento con el analizador telemétrico (Iglesias 1997). Los resultados se presentan en la tabla 7.

Discusión

Para Fox y col. (1989) el registro telemétrico de la FC permite evaluar el $\dot{V}O_2$ de muchas actividades físicas y deportivas que, sin su ayuda, serían difícilmente medibles. La relación individual de la FC con



el $\dot{V}O_2$ ha sido utilizada por diferentes autores en la mejora del conocimiento de la respuesta funcional en algunos deportes y actividades físicas (Acheson y col. 1980 (6); Ekblom 1986; Washburn y Montoye 1986 (6); Kalwarf y col. 1989 (6); Cucullo y col. 1987; Yzaguirre y col. 1989; Pinnington 1988, 1990; Livingston y col. 1990; Bangsbo 1994; Rodríguez, Iglesias y Tapiolas 1995; Rodríguez e Iglesias 1995; Rodríguez, Iglesias y Artero, 1995; Rodríguez, Iglesias, Marínia y Fadó, 1997; Montoye y col. 1996). Considerado como uno de los principales índices de demanda fisiológica y dada la dificultad de su valoración, el consumo de oxígeno ha sido analizado mediante diferentes métodos de estimación. Cucullo y col. (1987) aplicaron fórmulas para determinar el consumo máximo de oxígeno en pruebas de esfuerzo utilizando la potencia de trabajo y la FCmax individual como principales variables. Los resultados dieron valores subestimados en comparación a los valores reales utilizados en la prueba de control. Pinnington y col. (1988, 1990) aplicaron un modelo de estimación en partidos de waterpolo basado en la relación lineal $\dot{V}O_2$ -FC en una prueba de esfuerzo previa en medio acuático. Lavoie, Léger y Marini (1988) estimaron el consumo de oxígeno en asaltos de entrenamiento de esgrima gracias a un método de retroextrapolación en base a los gases espirados al final de los asaltos. Registraron unos valores medios de $44 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (de = 10), que correspondían al 70% del $\dot{V}O_{2\text{max}}$ de los espadistas evaluados. La valoración directa es, hoy en día, inviable en la esgrima de competición. Con la intención de conseguir mayor información sobre las necesidades funcionales de este deporte, y con la finalidad de validar el método expuesto, se llevó a cabo un estudio de validez de la estimación del consumo de oxígeno (Iglesias 1997) que en estos momentos se incluye en una línea de búsqueda del conjunto de actividades físicas de carácter intermitente (Rodríguez y col. 1994, 1995, 1997, 1998). Los datos obtenidos muestran cómo la aplicación del método indirecto comporta una sobreestimación de entre el 19% (CI 95%: 59-103 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$) y el 33% (CI 95%: 465-527 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$) de los valores reales en función de la especialidad de la relación $\dot{V}O_2$ -FC en que se determina la estimación (Iglesias 1997). Estos valores son superiores a los observados en un estudio previo realizado en futbolistas (Rodríguez e Iglesias, 1998), donde la sobreestimación del consumo de oxígeno era del 15% de media. El consumo máximo de oxígeno de los tiradores en las pruebas de esfuerzo coincide con los valores de la literatura en diferentes poblaciones de esgrimistas (Tabla 8), observándose un consumo máximo superior en la muestra masculina ($\bar{x} = 55,5$ -70,9 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) en relación a la femenina ($\bar{x} = 6,3$ -49,2 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Las características diferenciales, determinadas por la desigualdad en la composición corporal y las capacidades funcionales de los dos géneros, condiciona una menor utilización del $\dot{V}O_2$ en las mujeres en relación a los hombres, y un $\dot{V}O_{2\text{max}}$ menor (Faina 1990; Platonov 1991).

(6) En Montoye y col. 1986.

	1 VUELTA	ELIMINACIÓN DIRECTA	FINAL 8	GLOBAL
$\dot{V}O_2$ estimado ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)	2586 ± 240 (794 - 3930)	2597 ± 296 (863 - 3759)	2812 ± 276 (982 - 4316)	2655 ± 251 (794 - 4316)
$\dot{V}O_2$ estimado ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$36,3 \pm 4,7$ (12,2 - 58,1)	$36,2 \pm 5,4$ (12,5 - 55,3)	$39,2 \pm 4,8$ (14,2 - 66,4)	$37,3 \pm 4,8$ (12,2 - 66,4)
Duración asaltos (min)	$3,2 \pm 0,7$	$8,8 \pm 4,2$	$13,0 \pm 5,3$	$5,7 \pm 1,1$
Total de asaltos (n)	51	6	16	73

Los datos son: $\bar{x} \pm \text{de}$ (min-max).

Tabla 5. Estimación del consumo de oxígeno en competición real de esgrima (Campeonatos de Catalunya absolutos masculinos 1993; n = 10)

E^{m} total (kcal)	E^{comp} total (kcal)	E por asalto (kcal)	\dot{E}^{m} (kcal·min $^{-1}$)	\dot{E}^{comp} (kcal·min $^{-1}$)
Florete femenino (n = 6)				
605 ± 449 (239 - 1396)	1270 ± 509 (911 - 2274)	$39,6 \pm 18,9$ (17,9 - 73,5)	$10,7 \pm 2,6$ (7,4 - 14,1)	$4,3 \pm 1,7$ (3,1 - 7,8)
Espada masculina (n = 7)				
924 ± 516 (198 - 1647)	2847 ± 1313 (1228 - 4601)	$71,2 \pm 17,4$ (49,4 - 93,9)	$19,5 \pm 2,0$ (16,2 - 21,9)	$9,7 \pm 4,5$ (4,2 - 15,7)
Global (n = 13)				
777 ± 495 (198 - 1647)	2119 ± 1280 (911 - 4601)	$56,6 \pm 23,8$ (17,9 - 93,9)	$15,4 \pm 5,1$ (7,4 - 21,9)	$7,2 \pm 4,4$ (3,1 - 15,7)

Los datos son: $\bar{x} \pm \text{de}$ (min-max).

Tabla 6. Valores medios del gasto energético (E, kcal) estimado en la totalidad de los asaltos (E^{m}), en el global de la competición (E^{comp}) y la media por asalto (E). Se exponen también los valores de potencia energética en los asaltos (\dot{E}^{m}) y en la globalidad de la competición (\dot{E}^{comp}).

	\dot{E}^{m}		
	(kcal·min $^{-1}$)	(kJ·min $^{-1}$)	(kcal·kg·min $^{-1}$)
Competición internacional (Valores estimados, n = 13)	$15,4 \pm 5,1$	$64,5 \pm 21,2$	$0,23 \pm 0,04$
Campeonatos de Catalunya (Valores estimados, n = 12)	$12,3 \pm 2,0$	$51,6 \pm 8,5$	$0,17 \pm 0,03$
Asaltos de entrenamiento (Valores estimados, n = 10)	$9,8 \pm 2,0$	$41,1 \pm 8,4$	$0,14 \pm 0,03$
Asaltos de entrenamiento (Valores reales, n = 10)	$7,4 \pm 1,0$	$30,8 \pm 4,1$	$0,10 \pm 0,01$

Los datos son: $\bar{x} \pm \text{de}$ (min-max).

Tabla 7. Comparación de la potencia energética (\dot{E} , kcal·min $^{-1}$, kJ·kg $^{-1}$ ·min $^{-1}$) estimada en los asaltos de entrenamiento y en competiciones de diferente nivel. Los valores de los asaltos de entrenamiento se estiman en base a registros reales de consumo de oxígeno.

POBLACIÓN	NIVEL	ARMA	GÉNERO	SUJETOS	$\dot{V}O_2$ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	AUTORES
Consumo máximo de oxígeno determinado en laboratorio ($\dot{V}O_{2\max}$)						
Brasil	Equipo nacional	E,F,S	M	18	53,3	De Rose y Teixeira, 1975
Francia	Heterogéneo	E,F,S	M	7	40,1	Macarez, 1978
Canadá	Equipo nacional	E	M	10	59,5	Lavoie y col., 1984
Canadá	Heterogéneo	E	M	12	54,5	Lavoie y col., 1984
Cuba	Equipo nacional	E,F,S	M	16	56,6	Díaz, 1984
Italia	Heterogéneo	E	M	33	47,1	Roi y Mognoni, 1987
Canadá	Equipo nacional	E	M	8	62,7	Lavoie y col., 1990
Catalunya	Heterogéneo	E,F,S	M	17	55,5	Iglesias y Cano, 1990
Suecia	Equipo nacional	E	M	6	67,3	Nyström y col., 1990
España	Equipo nacional	E,F,S	M	16	56,5	Iglesias y Rodríguez (1)
España	Equipo nacional	F	F	4	46,3	Iglesias y Rodríguez (1)
España	Heterogéneo	E	M	4	60,2	Iglesias y Rodríguez (1)
España	Equipo olímpico pentatlón	E	M	3	70,9	Iglesias y Rodríguez (1)
España	Heterogéneo	F	F	6	49,2	Iglesias y Rodríguez (1)
Catalunya	Heterogéneo	E,F,S	M	8	55,5	Iglesias y Rodríguez (1)
Catalunya	Heterogéneo	E	F	2	47,9	Iglesias y Rodríguez (1)
Consumo máximo de oxígeno estimado en asaltos de competición ($\dot{V}O_{2\max}$)						
España	Heterogéneo	E	M	4	60,9	Iglesias y Rodríguez (1) (2)
España	Equipo olímpico pentatlón	E	M	3	75,0	Iglesias y Rodríguez (1) (2)
España	Espadistas y pentatletas	E	M	7	67,0	Iglesias y Rodríguez (1) (2)
España	Heterogéneo	F	F	6	51,6	Iglesias y Rodríguez (1) (2)
Catalunya	Heterogéneo	E,F,S	M	10	50,6	Iglesias y Rodríguez (1) (3)
Catalunya	Heterogéneo	E	F	2	42,9	Iglesias y Rodríguez (1) (3)
Consumo de oxígeno estimado en asaltos de competición ($\dot{V}O_2$)						
Canadá	Heterogéneo	E	M	8	44,0	Lavoie y col., 1988
España	Heterogéneo	E	M	4	51,7	Iglesias y Rodríguez (1) (2)
España	Equipo olímpico pentatlón	E	M	3	59,2	Iglesias y Rodríguez (1) (2)
España	Espadistas y pentatletas	E	M	7	53,9	Iglesias y Rodríguez (1) (2)
España	Heterogéneo	F	F	6	39,6	Iglesias y Rodríguez (1) (2)
Catalunya	Heterogéneo	E,F,S	M	10	37,3	Iglesias y Rodríguez (1) (2)
Catalunya	Heterogéneo	E	F	2	29,7	Iglesias y Rodríguez (1) (2)
Consumo de oxígeno estimado en una prueba de esfuerzo específico de esgrima (cinta rodante)						
Canadá	Equipo nacional	Pentatlón	M	5	50,4	Seyfried, 1989
Consumo máximo de oxígeno medido en asaltos de entrenamiento ($\dot{V}O_{2\max}$)						
Catalunya	Heterogéneo	E,F,S	M	8	40,2	Iglesias y Rodríguez (1) (4)
Catalunya	Heterogéneo	E,F	F	2	36,5	Iglesias y Rodríguez (1) (4)
Media del consumo de oxígeno en asaltos de entrenamiento ($\dot{V}O_2$)						
Catalunya	Heterogéneo	E,F,S	M	8	29,4	Iglesias y Rodríguez (1) (4)
Catalunya	Heterogéneo	E,F	F	2	27,6	Iglesias y Rodríguez (1) (4)

(1) Datos extraídos del presente estudio. (2) Datos relativos al consumo de oxígeno estimado en una prueba internacional absoluta de EM y FF. (3) Datos relativos al consumo de oxígeno estimado en los Campeonatos de Catalunya en las 5 armas. (4) Datos relativos al consumo de oxígeno real en asaltos de entrenamiento en las 5 armas (Iglesias 1997).

Taula 8. Resumen de diferentes mediciones del consumo de oxígeno en laboratorio y durante la práctica de la esgrima en asaltos en competición real y simulada.



En la prueba internacional se registraron unos valores medios de $47,3 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($de = 9,3$) que en términos absolutos representarían un consumo de $3.185 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ($de = 1.047$). Los valores medios son próximos a los descritos por Lavoie y col. (1988), pero en el análisis por géneros observamos que mientras el promedio de los floretistas es de $39,6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($de = 7,2$) ($\bar{x} = 2.210 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, $de = 545$), los espadistas presentan registros superiores ($p < 0,001$) en los asaltos, siendo el promedio de $53,9 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($\bar{x} = 4.021 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$; $de = 423$), valores superiores a los descritos por los mencionados autores en los espadistas canadienses ($\bar{x} = 3.168 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$; $de = 720$). La sobreestimación detectada en la aplicación del método (Iglesias 1997), mediante la relación de los parámetros de FC y consumo de oxígeno en una prueba de esfuerzo continua y progresiva, podría ser uno de los factores que condicionase la elevación de los valores estimados en nuestro estudio en relación al trabajo de Lavoie y col. De hecho, la sobreestimación del consumo de oxígeno y del gasto energético en base a los registros de FC en actividades donde puede haber un trabajo estático alternado con ejercicio ha sido reconocido por Saris y col. (en Montoye y col. 1986; pp. 102-103).

La cinética del consumo de oxígeno provoca en la actividad física de elevada intensidad una deuda de oxígeno motivada por la desproporción existente entre el suministro de oxígeno y las demandas en el curso de la actividad realizada. Esta deuda presenta dos fracciones: aláctica y láctica (Margaria y col. 1933). Considerando los bajos niveles de lactatemia registrados en las competiciones y entrenamientos de esgrima, hemos de suponer que la mayor parte de la deuda de oxígeno producida por la actividad esgrímistica corresponde a la fracción aláctica del mismo. Esto sin olvidar la influencia del volumen muscular implicado en las acciones propias de la esgrima y las características temporales que permiten amplios tiempos de intensidad baja alternados con picos de elevada intensidad (actividad intermitente). La proximidad entre los valores de consumo máximo de oxígeno en los asaltos y los registrados en el laboratorio, coincide con el trabajo de Ekblom (1986) realizado en fútbol. En este mismo deporte, sin embargo, hay autores (Vogelaere y col. 1985) que no comparten la utilización de la FC como variable para la valoración indirecta del consumo de oxígeno al considerar variables extrañas, como el estrés o la temperatura, que pueden influir en la estimación.

Las características de la esgrima, en donde los esfuerzos intensos alternan con tiempos prolongados de pausas totales o de acciones más aeróbicas, implican una elevada demanda del metabolismo aláctico en la ejecución de las acciones explosivas.

El gasto energético ha sido calculado siguiendo los modelos y conversiones descritos en la literatura por diferentes autores (Fox y col. 1989; Lavoie y col. 1988; Seyfried 1989; Gallozzi y col. 1992; Serra y col. 1995, basando el cálculo energético en los valores de consu-

mo de oxígeno estimados en competición real y multiplicándolos por el equivalente calórico del oxígeno cifrado en $4,838 \text{ kcal}$ por litro de O_2 (asumiendo un $R = 0,83$; Fox y col. 1989; Zuntz 1991). Si contrastamos el promedio global de la muestra de esgrimistas ($\bar{x} = 15,4 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$; $de = 5,1$) observamos que los resultados son casi coincidentes a los descritos por Lavoie y col. (1988), que determinaron un gasto medio de $15,5 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ($de = 3,6$) en una muestra masculina de espadistas. En los espadistas de nuestro estudio estimamos valores superiores ($19,5 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$) a los de Lavoie y col., pero próximos a los descritos por Seyfried (1989) en una muestra de espadistas, pentatletas en una simulación competitiva ($17,8 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$). Al analizar los asaltos de entrenamiento se han registrado valores muy inferiores $-9,8 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ($de = 2$) según los valores estimados y de $7,4 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ($de = 1$) según los registros telemétricos de consumo de oxígeno— que coinciden con los presentados por Díaz (1981) (7) en entrenamiento ($6,9 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$). El análisis comparativo de los datos experimentales con los existentes en la literatura permite observar valores más altos en la potencia energética del presente trabajo, concretamente en la muestra masculina, que pueden obedecer a los siguientes factores:

- De los diferentes estudios relacionados, el nuestro es el único realizado en competición real. La competición provoca unos niveles de exigencia física incrementados por la carga emocional, ausente o por lo menos de menor incidencia, en prueba simuladas.
- De los espadistas de la muestra, tres eran pentatletas de alto nivel internacional.
- La estimación del consumo de oxígeno, con la sobreestimación expuesta, es la base sobre la cual se ha calculado el gasto energético, con lo cual, a toda sobreestimación de $\dot{V}\text{O}_2$ le corresponde una sobreestimación del gasto energético.
- El factor de conversión del equivalente del coste energético de oxígeno utilizado por Lavoie y col. ($1 \text{ L de } \text{O}_2 = 4,825 \text{ kcal}$) es ligeramente inferior al utilizado por nosotros ($4,838 \text{ kcal}$), hecho que provoca la obtención de valores inferiores de gasto energético a igual consumo de oxígeno.
- Otros factores de influencia, como las condiciones ambientales, que no fueron coincidentes en los diferentes estudios: Viru (1994) destaca que la FC está influenciada por factores emocionales y ambientales como la temperatura y la humedad.

Los resultados expuestos corroboran con matizaciones las conclusiones de Díaz (1981) que otorgaba a la esgrima altas demandas energéticas del sistema anaeróbico aláctico y del sistema aeróbico, así como en el trabajo de autores soviéticos (Kaul 1970; Pavlenko 1976; Vítoskin y Westakou 1978, en Díaz 1981) que evi-

(7) Los datos hacen referencia a un estudio longitudinal realizado por Díaz (1981), en una población de esgrimistas cubanos (no se especifica el sexo ni el arma, tan sólo que 7 de los 12 tiradores eran espadistas masculinos). El autor utiliza como equivalente energético la cifra de $1 \text{ L de } \text{O}_2 = 2,9 \text{ kcal}$, considerando que es la cifra media entre los equivalentes láctico y aláctico.



Foto: Xavier Iglesias.

denciaban considerables exigencias del sistema energético, particularmente del consumo de oxígeno en entrenamientos y competición.

En el momento de realizar la valoración comparativa de los resultados en hombres y mujeres hay que considerar las diferencias funcionales que Guyton (1992) cuantifica, a grandes rasgos, en 2/3 a 3/4 en casi todos los parámetros fisiológicos. Ulmer (1993) expone que, ya en condiciones basales, existen diferencias en la potencia energética de hombres y mujeres, siendo en los primeros de $1,2 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ (85 W) y en las mujeres de $1,1 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ (76 W) (8). El conocimiento del gasto energético de los esgrimistas en competición, a pesar de no ser de la relevancia con que puede serlo en deportes de resistencia de larga duración, puede contribuir a la mejora de la organización del entrenamiento, así como de las pautas nutricionales que los tiradores deben practicar en todas las competiciones, dada su duración, que puede oscilar, en función de los sistemas de competición, entre 5 y 8 horas.

Conclusiones

- En relación al $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ individual registrado en la prueba de esfuerzo, la intensidad individual en los asaltos osciló entre el 56 y el 74% del $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$, situándose los valores máximos en competición entre el 75 y el 99% del consumo máximo de oxígeno.
- Los valores del consumo de oxígeno en los asaltos de las floretistas ($\bar{x} = 39,6 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) son inferiores ($p < 0,001$) a los de los espadistas ($\bar{x} = 53,9 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), mostrando

éstos niveles de $\dot{V}\text{O}_2$ en los asaltos superiores a los descritos en la literatura (Lavoie y col. 1988)

- Considerando los bajos niveles de lactatemia de las competiciones y entrenamientos de esgrima, deducimos que la mayor parte de la deuda de oxígeno producido por la actividad esgrimística se corresponde a la fracción aláctica del mismo.
- La potencia energética (\dot{E}) en asaltos de competición presentó valores superiores ($p < 0,001$) en la muestra de hombres ($\bar{x} = 19,5 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$; $de = 2$) en comparación a las mujeres ($\bar{x} = 10,7 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$; $de = 2,6$).
- En el conjunto de esgrimistas, hombres y mujeres, la potencia energética presenta valores superiores en una competición internacional ($15,4 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$) en relación a una autonómica ($12,3 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$), así como superioridad en los registros de competición respecto a los entrenamientos ($9,8 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$).
- Del análisis en competición destaca la variabilidad de la respuesta funcional de los esgrimistas dada la influencia de factores como la adaptación cardíocirculatoria individual, importancia de la competición, eliminatoria registrada, nivel del rival, dinámica competitiva, arma y género.
- Los resultados expuestos en el trabajo son consistentes con los datos comparables de la literatura, definiendo para la esgrima demandas energéticas medianamente elevadas del sistema anaeróbico aláctico y del sistema aeróbico, con considerables exigencias de los sistemas energéticos en entrenamiento y competición.

Bibliografía

- ASTRAND P. E., RODAHL K. (1992), *Fisiología del trabajo físico*. Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana.
- BANGSBO J. (1994), "Physiological demands". En: Ekblom B (ed): *Handbook of Sports Medicine and Science. Football (soccer)*. IOC Medical Comission. London: Blackwell Scientific Publications.
- CHAPANIS A. (1967), "The relevance of laboratory studies to practical situations". *Ergonomics* 10: 557-577.
- CONCU A., MARCELLO C., ROCCHITTA A., CIUTU C., ESPOSITO A. (1992), "Telemetric measurement of heart-rate-matched oxygen consumption during volleyball games". *Medical Science Research* 20: 243-245.
- CUCULLO J. M., TERREROS J. L., LAYUS F., QUÍLEZ J. (1987), "Prueba ergométrica indirecta. Metodología para el cálculo óptimo de $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ en ciclistas". *Apunts Medicina de l'Esport* 93: 157-162.

(8) El autor presenta los resultados en W y propone para las transformaciones las siguientes equivalencias: $0,28 \text{ W} \approx 0,239 \text{ kcal} \cdot \text{h}^{-1}$ (Ulmer 1993).



- DÍAZ J. A. (1981), *Fundamentos pedagógicos y fisiológicos del entrenamiento de los esgrimistas*. La Habana: Científico Técnica.
- DI PRAMPERO P. E. (1981), "Energetics of muscular exercise". *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* 89: 143-222.
- DUMAS J. P., D'ATHIS P., KLEPPING J., FOUILLOT J. P. (1980), "Étude sur le terrain des réactions endocriniennes et cardiaques à l'effort". *Médecine du Sport* 54: 27-32.
- EKBLOM B. (1986), "Applied physiology of soccer". *Sports Medicine* 3: 50-60.
- FAINA M., GALLOZZI C., MARINI C., COLLI R., FANTON F. (1989), *Energy cost of several sport disciplines by miniaturized telemetric O₂ intake measurement*. Colorado Springs, IOC World Congres on Sport Sciences 38: 1-2.
- FOX E. L., BOWERS R. W., FOSS M. L. (1989), *The physiological basis of physical education and athletics*. Dubuque (Iowa): Brown Publishers.
- FOX E. (1984), *Fisiología del deporte*. Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana.
- GALLOZZI C., DE ANGELIS M., FANTON F., DAL MONTE A. (1992), *Il costo energetico nella vela*. Rivista di Cultura Sportiva 27: 19-21.
- GUYTON A. C. (1992), *Tratado de fisiología médica*. Madrid: Interamericana/McGraw-Hill.
- HOCH F., WERLE E., WEICKER H. (1988), *Sympathoadrenergic regulation in elite fencers in training and competition*. *Int J Sports Med* 9: 141-145.
- IGLESIAS X., CANO D. (1990), *El perfil de l'esgrimidor a Catalunya*. Apunts Educació Física i Esports 19: 45-54.
- IGLESIAS X., RODRÍGUEZ F. A. (1991a), *Perfil funcional del esgrimista de alto rendimiento*. Revista de Investigación y Documentación sobre las Ciencias de la Educación Física y del Deporte 18: 37-52.
- IGLESIAS X., RODRÍGUEZ F. A. (1991b), *Physiological testing and profiling of elite fencers*. Proceedings Second IOC World Congress on Sport Sciences. International Olympic Committee. Barcelona: COOB'92: pp. 142-143.
- IGLESIAS X., RODRÍGUEZ F. A. (1995), *Caracterització de la freqüència cardíaca i la lactatèmia en esgrimistes durant la competició*. Apunts Medicina de l'Esport 123: 21-32.
- IGLESIAS X. (1997), *Valoració funcional específica en l'esgrima*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona, Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya. Barcelona.
- LAVOIE J. M., LÉGER L., MARINI J. F. (1988), *Escrime de compétition. Analyse énergétique*. *Médecine du Sport* 62(6): 310-3.
- MARGARIA R., CERRETELLI P., DI PRAMPERO P. E., MASSARI C., TORRELLI G. (1963), *Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man*. *J Appl Physiol* 18: 371-377.
- MARKOWSKA L., STUPNICKI R., GOLEC L., NAGIEC E., BEDNARSKI J., GRZEGOREK K. (1988), "Urinary catecholamines in fencers during competition and training fights". *Biology of Sports* 2(5): 93-99.
- MONTOYE H. J., KEMPER H. C. G., SARIS W. H. M., WASHBURN R. A. (1996), *Measuring physical activity and energy expenditure*. Champaign: Human Kinetics.
- PINNINGTON H., DAWSON B., BLANKSBY B. A. (1990), "The energy requirements of water polo". En: Draper J (ed.): *Third report on the National Sports Research*. Programa Julio 1988-Junio 1990, p. 36.
- PINNINGTON H., DAWSON B., BLANKSBY B. A. (1988), "Heart rate responses and the estimated energy requirements of playing water polo". *Journal of Human Movement Studies* 15: 101-118.
- PLATONOV V. N. (1991), *La adaptación en el deporte*. Barcelona: Paidotribo.
- REILLY T., THOMAS V. (1979), *Estimated energy expenditure of professional association footballers*. *Ergonomics* 22: 541-548.
- RODRÍGUEZ F. A., BANQUELLS M., PONS V., DROBNIC F., GALILEA P. (1992), *A comparative study of blood lactate analytic methods*. *Int J Sports Med* 13(6): 462-466.
- RODRÍGUEZ F. A., IGLESIAS X., TAPIOLAS J. (1994), *Gasto energético y valoración metabólica en el fútbol*. Jornadas Internacionales de Medicina y Fútbol (Premundial 94), San Sebastián/Donostia: pp. 47-64.
- RODRÍGUEZ F. A., IGLESIAS X. (1995), *Consumo de oxígeno y frecuencia cardíaca durante el juego en hockey sobre patines*. Libro de resúmenes, 8th FIMS European Sports Medicine Congress. Granada: p. 58.
- RODRÍGUEZ F. A., IGLESIAS X., ARTERO V. (1995), *Consumo de oxígeno durante el juego en futbolistas profesionales y aficionados*. Libro de resúmenes, 8th FIMS European Sports Medicine Congress. Granada: p. 119.
- RODRÍGUEZ F. A., IGLESIAS X., MARINA M., FADÓ C. (1997), *Physiological demands of elite competitive aerobic: aerobic or anaerobic?* Book of Abstracts, second Annual Congress of the European College of Sport Science, vol. II, pp. 922-923. Copenhagen, Denmark.
- RODRÍGUEZ F. A., IGLESIAS X. (1998), "The energy cost of soccer: telemetric oxygen uptake measurements versus heart rate-estimations". *Journal of Sports Sciences* (16)5: 484-485.
- SERRA L., ARANCETA J., MATAIX J. (1995), *Nutrición y salud pública*. Barcelona: Masson.
- SEYFRIED D. (1989), "Pentathlon moderne: Approche énergétique et nutritionnelle de l'épreuve d'escrime". En: *Seminaire de bio-énergétique: les limites de la performance humaine*. París: pp. 63-68.
- ULMER H. V. (1993), "Metabolismo energético". En: Schmidt RF, Thews G: *Fisiología humana*. Madrid: Interamericana/McGraw-Hill.
- VIRU A. (1984), *La valutazione del carico allenante*. Rivista di Cultura Sportiva 31: 2-8.

- VOGELAERE P., BALAGUÉ N., MARTÍNEZ M. (1985), "Fútbol: una aproximación fisiológica". *Apunts Medicina de l'Esport* 86: 103-107.
- WEIR J. B. DE V. (1949), *New methods for calculating metabolic rate with specific reference to protein metabolism*. *J. Physiol* 109: 1-9.
- YZAGUIRRE I., BALCELLS M. (1989), "Perfil fisiològic dels practicants d'espeleologia". *Apunts Medicina de l'Esport* 102: 233-245.
- ZUNTZ N. (1901), Über die Bedeutung der verschiedenen Nährstoffe als Erzeuger der Muskelkraft. *Pflügers Arch Gesamt Physiol* 83: 557-571.