

INFLUENCIA DEL PROCEDIMIENTO EMPLEADO PARA DETERMINAR LA RECTA DE ECONOMÍA DE PEDALEO EN EL CÁLCULO DEL DÉFICIT MÁXIMO DE OXÍGENO ACUMULADO

Dorado, C; Chavarren, J. & López, J. A.
Departamento de Educación Física
Universidad de las Palmas de Gran Canaria

RESUMEN

Para determinar la influencia que tienen en los valores de DMO, el número, intensidad y duración de las cargas submáximas utilizadas para calcular la recta de economía, 6 varones acudieron al laboratorio en 8 ocasiones. Tras la familiarización, se determinó el VO_2 pico, y el VO_2 a 80, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 200 y nuevamente 100 w. Se calcularon 4 rectas diferentes por regresión lineal: R1, R2, R3, R4. Las rectas R1, R2 y R4 se obtuvieron a partir de la relación VO_2 /intensidad, entre 80 y 130 w (R1, n=5), entre 140 y 200 w (R2, n=5) y entre 80 y 200 w (R4, n=10), tomando como valor de VO_2 correspondiente a cada carga el valor medio alcanzado en los minutos 5 y 6. R3 se calculó a partir de la relación VO_2 /intensidad, entre 80 y 200 w en test incremental hasta el agotamiento (n=4), tomando como valor de VO_2 correspondiente a cada carga el valor medio alcanzado en el 3er min. Finalmente, se calculó el déficit máximo de O_2 (DMO) en un test de Wingate de 45 s.

R4 y R3 presentaron parámetros similares, que no se correlacionaron entre sí. Las pendientes fueron un 15 % inferiores en R1 que en R2 (9.591 ± 1.236 y $11.261 \pm 0.878 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente, $p<0.05$), mientras la ordenada en el origen fue mayor en R1 que en R2 (709.216 ± 154.808 y $510.583 \pm 114.204 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente, $p<0.05$). Entre R1 y R2 tampoco se obtuvieron correlaciones significativas ni entre pendientes, ni entre puntos de intercepción. Los valores de DMO fueron un 18 % superiores, cuando la recta de economía se obtuvo mediante cargas altas (R2) que cuando se obtuvo mediante cargas bajas (R1; $p=0.06$). El índice de correlación del DMO calculado con R3 y R4 no fue significativo ($r=0.76$, $p=0.08$). Sin embargo, se obtuvo una correlación muy alta entre los valores de DMO con R2 y R4 ($r=0.99$, $p<0.001$). Este estudio demuestra que los valores de DMO presentan una variabilidad importante en función del procedimiento seguido para determinar la recta de economía de pedaleo.

PALABRAS CLAVE: Ejercicio, economía de pedaleo, eficiencia, fiabilidad y deficit de oxígeno.

ABSTRACT

To assess the effect on the maximal oxygen deficit (MOD) of the intensity, the duration and the number of bouts utilized to calculate the submaximal VO_2 /intensity relationship, six males were tested on eight separate days. After familiarization, an incremental exercise test was used to assess the VO_2 peak and another three tests were performed to obtain the submaximal VO_2 /intensity relationship at the following intensities: 80, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 200 and another time 100 w. Four different linear regressions were calculated: R1, R2, R3 and R4. R1, R2 and R4 were calculated from the VO_2 /intensity relationship between 80 and 130 w (R1, n=5), 140 y 200 w (R2, n=5) and 80 y 200 w (R4, n=10). The VO_2 for each submaximal bout was taken as the mean for the last two min (i.e., the 5th and 6th min). Subsequently, R3 was obtained from the VO_2 /intensity relationship between 80 and 200 w (R3, n=4) during an incremental exercise test to exhaustion with 40 w steps every 3 min, using the mean VO_2 reached at the third min. Lastly, the maximal oxygen deficit (MOD) was calculated for a 45-s Wingate test.

There were no significant differences between R4 and R3. However, the pendants and the intercepts were not correlated. The pendants were 15% lower for R1 than for R2 (9.591 ± 1.236 y $11.261 \pm 0.878 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, respectively, $p<0.05$), while the intercepts were higher for R1 than for R2 (709.216 ± 154.808 y $510.583 \pm 114.204 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, respectively, $p<0.05$). Between R1 and R2, neither the pendants nor the intercepts were correlated. The MOD calculated from R2 was 18% higher than that obtained from R1 ($p=0.06$). The Pearson correlation coefficient between the MOD values derived from R3 and R4 was not significant ($r=0.76$, $p=0.08$). Conversely, a close correlation was found between MOD obtained from R2 and R4 ($r=0.99$, $p<0.001$). This study shows that the MOD shows a high variability dependent on the procedure utilized to calculate the VO_2 /intensity relationship.

KEY WORDS: Exercise, cycling economy, efficiency, reliability, oxygen deficit.

La determinación del déficit máximo de oxígeno (DMOA) ha sido propuesta como el mejor procedimiento no invasivo para evaluar la capacidad anaeróbica (Medbø y col. 1988; Saltin 1990). Esta técnica se basa en determinar el $\dot{V}O_2$ a intensidades submáximas, en las que el gasto energético es sostenido de forma exclusiva por el metabolismo aeróbico. Posteriormente, por extrapolación lineal se obtiene la demanda de oxígeno para un esfuerzo de intensidad supramáxima. El DMOA se calcula como la diferencia entre el $\dot{V}O_2$ acumulado durante el esfuerzo y la demanda de oxígeno acumulada, o cantidad de O_2 que tendría que haberse consumido para que el metabolismo aeróbico hubiera bastado para suministrar, por sí sólo, todo el ATP consumido.

Medbø y col. (1988) demostraron que la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad de esfuerzo, durante el ejercicio submáximo, puede variar hasta un 16 % entre sujetos. Por lo tanto, la demanda de O_2 durante el esfuerzo de intensidad supramáxima tiene que ser determinada individualmente, a partir del $\dot{V}O_2$ a varias intensidades submáximas. Medbø y col. (1988) comprobaron que son necesarios como mínimo 10 puntos para poder definir con cierta fiabilidad (error ~ 2.2 %) la recta de economía de carrera, a partir de la cual se estima la demanda de O_2 . La principal causa de error durante la medición del DMOA es el error asociado a la determinación de la demanda de O_2 correspondiente a intensidades de esfuerzo supramáximas (Medbø y col. 1988; Bangsbo 1992; Gastin 1994). Sin embargo, se desconocen los efectos que pueden tener los diferentes procedimientos para la determinación de la demanda de O_2 sobre los valores de DMOA. Por ejemplo, existe una gran incertidumbre acerca del tiempo durante el cual deben ser mantenidas las cargas y acerca de las intensidades a las cuales debe medirse el $\dot{V}O_2$, para posteriormente determinar la demanda de O_2 por extrapolación (Medbø y col. 1988; Bangsbo 1992; Gastin 1994).

Algunos autores han calculado la recta de economía de pedaleo a partir de los valores de $\dot{V}O_2$ proporcionados por un test incremental hasta el agotamiento (Terrados y col. 1991). Otros utilizan 5-6 cargas submáximas para determinar la economía de pedaleo (Bangsbo y col. 1993; Withers y col. 1993; López Calbet y col. 1993a). Sin embargo, ninguno de estos procedimientos ha sido validado.

Así pues, el objetivo de este estudio fue determinar la influencia que tienen los distintos procedimientos empleados para calcular la recta de economía de pedaleo sobre los valores de DMOA. Más concretamente: 1) determinar la influencia del número de cargas incluidas en el cálculo de la recta de economía, comparando los valores obtenidos con 10 cargas con los calculados a partir de sólo 5 cargas; 2) evaluar el efecto de la intensidad de las cargas en los parámetros de la recta de economía y, por

lo tanto, en el DMOA; 3) estudiar el efecto de la duración de las cargas empleadas para calcular la recta de economía, determinando si se pueden obtener valores fiables de DMOA cuando la recta de economía se calcula a partir del $\dot{V}O_2$ en el tercer min de cada carga, de un test incremental hasta el agotamiento de 40 W/3 min.

MATERIAL Y MÉTODOS

SUJETOS

Seis estudiantes de Educación Física, todos ellos varones, aceptaron voluntariamente participar en este trabajo después de ser informados del protocolo experimental. Los sujetos fueron aleccionados sobre la importancia de no realizar ningún tipo de ejercicio extenuante y de mantener un consumo adecuado de hidratos de carbono en las 48 h previas a la realización de una prueba. Del mismo modo, se les indicó que no alterasen su actividad física habitual durante todo el período experimental. Las características generales de los sujetos quedan reflejadas en la tabla I.

Tabla 1 . Características generales de los sujetos ($\bar{x} \pm sd$)

Edad (años)	22.3	±	0.8
Peso (Kg)	66.5	±	6.8
Talla (cm)	174.6	±	2.7
% Grasa	10.2	±	3.9

PROCEDIMIENTOS

Los sujetos acudieron al laboratorio en 8 ocasiones, a lo largo de 10 semanas. Las tres primeras sesiones fueron de familiarización con el pedaleo en el cicloergómetro. En la cuarta sesión se efectuó un test de esfuerzo hasta el agotamiento para determinar el $\dot{V}O_{2pico}$, se realizaron las mediciones antropométricas y se determinó el porcentaje de grasa corporal mediante absorciometría fotónica dual de rayos X (Hologic QDR-1500; Massachusetts). Las tres sesiones siguientes se utilizaron para determinar de

forma repetida la economía de pedaleo y la eficiencia energética a distintas intensidades de esfuerzo. La octava y última sesión sirvió para determinar el DMOA, según el procedimiento descrito más adelante. Entre las sesiones de laboratorio se dejó al menos una semana de descanso, para que no se produjera un efecto entrenamiento.

Familiarización. Las sesiones de familiarización consistieron en un ejercicio continuo de pedaleo de 20 a 30 min de duración frente a distintas cargas, las cuales fueron mantenidas constantes durante 4-6 min.

Test de esfuerzo hasta el agotamiento. Consistió en un test de esfuerzo en cicloergómetro con incrementos de carga de 40 W cada 3 min, hasta el agotamiento.

Tests de economía de pedaleo. Los test de economía de pedaleo consistieron en pedalear frente a las siguientes cargas: 80, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 200 y nuevamente 100 W, según el orden expuesto. Cada carga fue mantenida durante 6 min, excepto la primera carga que se mantuvo durante 16 min, para que también sirviera como calentamiento. Después de la carga de 110, 140, 160 y 200 W, se administró agua a los sujetos (~150 ml) y se les permitió un descanso de 3 min, sentados en el cicloergómetro.

Los tests se realizaron en un cicloergómetro de freno electromagnético programable ERGO-LINE (Ergo-metrics 900, ERGO-LINE Germany) el cual se encontraba conectado a un analizador de gases (CPX, Medical Graphics Corporation, St. Paul Minnesota). El cicloergómetro es capaz de mantener constante el trabajo realizado, a expensas de modificar la fuerza de frenado, contrarrestando los cambios en la frecuencia de pedaleo. Todos los tests se efectuaron a una frecuencia de pedaleo entre 70-80 RPM, que los sujetos regularon en función del valor observado en la pantalla del cicloergómetro.

Los parámetros ventilatorios fueron registrados respiración a respiración mediante un sistema automático de circuito abierto (CPX, Medical Graphics Corporation, St. Paul Minnesota). Este analizador permite medir en cada respiración la \dot{V}_E , \dot{V}_{CO_2} , \dot{V}_{O_2} , la $p_{ET}O_2$, $p_{ET}CO_2$, el RER, el volumen corriente y la frecuencia respiratoria. Finalmente, la frecuencia cardíaca se registró cada 5 segundos mediante un cardiotacómetro (Polar Advantage XL Heart Rate Monitor, Sport Tester 4000, Polar). Las variables ergoespirométricas fueron promediadas cada 20 s durante el test progresivo hasta el agotamiento. En los tests de economía se tomó el valor medio de los dos últimos min de cada carga.

Rectas de economía de pedaleo: Las rectas de economía de pedaleo se determinaron por regresión lineal. Se calcularon 4 rectas diferentes: R1, R2, R3 y R4. Las rectas R1, R2 y R4 se obtuvieron a partir de la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad, entre 80 y 130 W (R1), entre 140 y 200 W (R2) y entre 80 y 200 W (R4), tomando como valor de $\dot{V}O_2$ correspondiente a cada carga el valor medio alcanzado en los min 5º y 6º. Finalmente, la recta R3 se calculó a partir de la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad, entre 80 y 200 W en el test incremental hasta el agotamiento, tomando como valor de $\dot{V}O_2$ correspondiente a cada carga el valor medio alcanzado en el 3º min de cada escalón.

Déficit máximo de oxígeno: Se calculó el déficit de oxígeno alcanzado durante un test de Wingate de 45 s de duración, realizado en un cicloergómetro Monark 818E (Varberg, Sweden), provisto de un sensor de velocidad de pedaleo de alta resolución (Ciclotest, Aplicaciones Infográficas, Las Palmas). Para ello, primeramente se determinó la fuerza de frenado óptima a partir de la curva fuerza-velocidad, conforme al procedimiento descrito con anterioridad (López Calbet y col. 1996; Arteaga y col. 1995). Brevemente, cada sujeto pedaleó frente a 4-5 fuerzas de frenado y se determinó por regresión lineal la relación velocidad máxima de pedaleo/fuerza de frenado. La fuerza de frenado óptima se determinó siguiendo la técnica de Vandewalle y col. (1987). La potencia media desarrollada en el test de Wingate se corrigió para el incremento de carga debido al trabajo de aceleración, conforme al procedimiento descrito por Lakomy (1986).

La demanda de oxígeno por min, correspondiente al test de Wingate, se calculó por extrapolación a partir de la recta de economía R2. La demanda acumulada de oxígeno se obtuvo multiplicando la demanda de oxígeno por segundo, por los 45 s que duró el test. El DMOA se calculó como la diferencia entre la demanda acumulada de oxígeno y el $\dot{V}O_2$ durante el test, medido respiración a respiración.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó una estadística descriptiva de las variables analizadas. Se estudió la relación entre las pendientes obtenidas por distintos procedimientos, mediante el test de correlación de Pearson. El mismo procedimiento se siguió para determinar la relación entre los puntos de intercepción con la ordenada, obtenidos en las 4 rectas. Tanto los valores de DMOA, como los parámetros de las rectas de economía, fueron comparados entre sí mediante la prueba de la T de Student para datos apareados. El nivel de significación se estableció para toda $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

La recta de economía de pedaleo obtenida mediante el test escalonado de 6 min (R4) presentó una pendiente y un punto de intercepción en la ordenada similares a los obtenidos con el test de esfuerzo hasta el agotamiento (R3, Fig. 1).

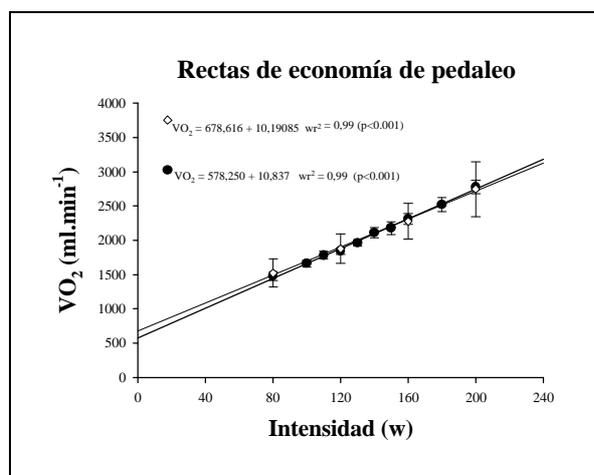


Figura 1. Rectas de economía de pedaleo R3 (◇) y R4 (●). R3 se ha calculado a partir de la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad, entre 80 y 200 W en el test incremental hasta el agotamiento, tomando $\dot{V}O_2$ el alcanzado en el min 3 de cada escalón. R4 ha sido calculada a partir de la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad, entre 80 y 200 W, tomando como valor medio de $\dot{V}O_2$, el alcanzado en los dos últimos minutos de cada escalón de 6 minutos.

No obstante, el grado de correspondencia entre ambos tests fue muy bajo (Fig. 2)

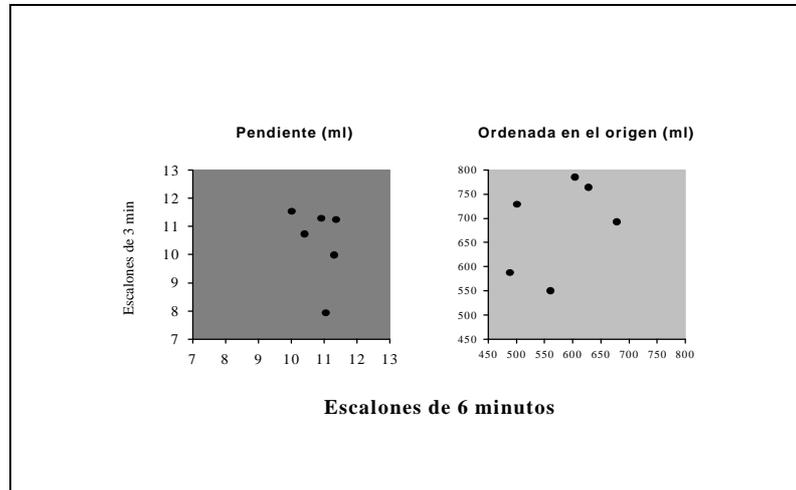


Figura 2. Relación entre los parámetros de las rectas de economía de pedaleo obtenidos en tests con escalones de 3 y 6 min, respectivamente.

El test de correlación de Pearson entre las pendientes no fue significativo ($r=-0.41$), como tampoco lo fue el test de correlación de Pearson entre los puntos de intercepción en la ordenada ($r=-0.23$).

La intensidad de las cargas empleadas para calcular los parámetros de las rectas de economía tiene una gran influencia en los resultados obtenidos. Así, al calcular las rectas de economía para las 5 cargas más bajas (R1; de 80 a 130 W), los valores de las pendientes fueron un 15 % inferiores a los obtenidos al emplear las 5 cargas superiores (R2; de 140 a 200 W; 9.591 ± 1.236 y 11.261 ± 0.878 ml.min⁻¹, respectivamente, $p < 0.05$). Al contrario, los puntos de intercepción con la ordenada fueron mayores para R1 que para R2 (709.216 ± 154.808 y 510.583 ± 114.204 ml.min⁻¹, respectivamente, $p < 0.05$); (Figura 3).

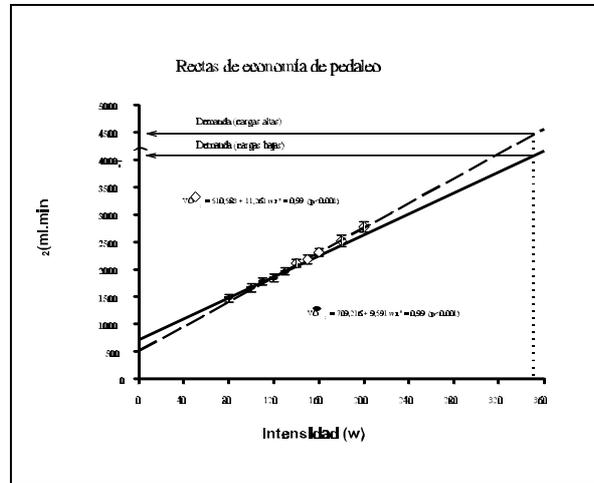


Figura 3. Rectas de economía de pedaleo R1 (●) y R2 (◊). R1 se ha calculado a partir de la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad entre 80 y 130 W, mientras que R2 ha sido calculada a partir de la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad entre 140 y 200 W. En ambos casos se tomó el valor medio de $\dot{V}O_2$ alcanzado en los dos últimos minutos de cada escalón, siendo la duración de los escalones de 6 min.

Tampoco se obtuvieron correlaciones significativas ni entre pendientes, ni entre puntos de intercepción.

En la tabla II se presentan los valores de DMOA durante el test de Wingate de 45 segundos. Los valores de DMOA fueron un 18 % superiores cuando la recta de economía se obtuvo mediante cargas altas (R2; de 140 a 200 W) que cuando se obtuvo mediante cargas bajas (R1; de 80 a 130 W, $p=0.06$).

Tabla 2. Variables obtenidas a partir del test de Wingate de 45 segundos.

VO ₂ ACU (ml)	Wmedia (W)	DEMO ₂ -R1 (ml)	DEMO ₂ -R2 (ml)	DEMO ₂ -R3 (ml)	DEMO ₂ -R4 (ml)	DMO-R1 (ml eq. O ₂)	DMO-R2 (ml eq. O ₂)	DMO-R3 (ml eq. O ₂)	DMO-R4 (ml eq. O ₂)
2336	818	5693	7738	7495	7167	3357	5402	5159	4831
2036	637	4815	5190	6025	5294	2780	3154	3990	3258
1730	621	4994	5460	5402	5262	3264	3730	3673	3533
1841	636	5931	5899	5309	5769	4089	4057	3467	3927
2051	596	5065	5735	5607	5534	3014	3684	3556	3483
1701	546	4239	4923	7495	4893	2538	3222	1987	3192
Media ± sd	Media ± sd	Media ± sd	Media ± sd	Media ± sd	Media ± sd	Media ± sd	Media ± sd	Media ± sd	Media ± sd
1949	642	5123	5824	5588	5653	3174	3875*	3639	3704*
240	93	612	1002	1229	797	541	821	1020	610

VO₂ACU: Consumo de oxígeno acumulado; Wmedia: potencia media

DEMO₂-R1 y DMO-R1: Demanda de O₂ y DMO cuando la recta de economía se obtiene con cargas bajas (de 80 a 130 W).

DEMO₂-R2 y DMO-R2: Demanda de O₂ y DMO cuando la recta de economía se obtiene con cargas altas (de 140 a 200 W).

DEMO₂-R3 y DMO-R3: Demanda de O₂ y DMO cuando la recta de economía se obtiene mediante un test incremental (40 W cada 3 min).

DEMO₂-R4 y DMO-R4: Demanda de O₂ y DMO cuando la recta de economía se obtiene con 10 cargas (de 80 a 200 W).

CV: coeficiente de variación en %. * p=0.06, al comparar con DMO-R1

En la tabla III se presenta la matriz de correlaciones entre los distintos procedimientos empleados para calcular el DMOA. Las técnicas que mejor correlacionaron fueron el DMOA calculado con la recta de economía de las 10 cargas del test escalonado de 6 min (R4) y el DMOA, calculado a partir de la recta de economía de las 5 cargas más altas (R2), del test escalonado de 6 min (r=0.99; p<0.001). El índice de correlación entre el DMOA calculado con la recta de economía obtenida a partir del test incremental hasta el agotamiento (R3) y el obtenido al utilizar las 10 cargas del test escalonado de 6 min (R4), fue de r=0.76 (p=0.08).

Tabla 3. Matriz de correlaciones entre los valores de DMOA (ml eq. O₂), obtenidos por los 4 procedimientos descritos en el texto.

	DMOA-R1	DMOA-R2	DMOA-R3
DMOA-R4	0.56 (p=0.24)	0.99 (p<0.001)	0.76 (p=0.08)
DMOA-R3	0.46 (p=0.38)	0.75 (p=0.09)	
DMOA-R2	0.52 (p=0.29)		

DISCUSIÓN

Este trabajo demuestra que pueden obtenerse parámetros muy dispares para la recta de economía de pedaleo en función del procedimiento empleado para su determinación. Las primeras estimaciones del déficit de oxígeno durante el esfuerzo de intensidad supramáxima se efectuaron asumiendo una eficiencia mecánica neta del 19.5 al 22.5 % (Åstrand y Saltin 1961; Karlsson y Saltin 1970, 1971; Szogy y col. 1984; Pate y col. 1983). Otros autores han calculado la recta de economía de pedaleo a partir de los valores de $\dot{V}O_2$ proporcionados por un test incremental hasta el agotamiento (Terrados y col. 1991). Sin embargo, ninguno de estos procedimientos ha sido validado.

La utilización de un test incremental hasta el agotamiento con escalones de 3 min permite un importante ahorro de tiempo en la determinación de la recta de economía y, por lo tanto, en la medición del DMOA. Este estudio demuestra que empleando incrementos de carga de 40 W cada 3 min, es posible obtener una recta de economía que no es significativamente diferente de la que se obtiene utilizando tests escalonados, en los que cada carga es mantenida durante 6 min. No obstante, la ausencia de diferencias significativas podría ser debida a la gran variabilidad entre sujetos que mostraron los parámetros que definen cada recta de economía, cuando éstos fueron determinados a partir del test incremental (40 W/3 min). Además, los parámetros que definieron las rectas de economía no se correlacionaron entre sí. Las

pendientes obtenidas a partir del test incremental (40 W/3 min) no se correlacionaron con las pendientes obtenidas mediante el test en el que las cargas fueron mantenidas durante 6 min. Tampoco se encontró una correlación significativa entre los puntos de intercepción con la ordenada, lo que sugiere que ambas rectas no son comparables.

En efecto, recientemente comprobamos que la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad tiene una pendiente menor, cuanto más elevados son los incrementos de carga durante el esfuerzo en rampa, es decir cuanto más rápido es el test (López Calbet y col. 1993b). Este comportamiento de la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad está relacionado con la cinética del $\dot{V}O_2$, en respuesta al incremento de carga. Estudios clásicos en Fisiología del Ejercicio han demostrado que tanto el $\dot{V}O_2$ como las variables cardiovasculares se estabilizan a partir del tercer min, en esfuerzos de intensidad baja o moderada (Jones y col. 1970; Linnarsson 1974; Rowell 1974; Whipp y col. 1981; Wasserman 1987; Henson y col. 1989). Se ha estimado que la constante de tiempo para alcanzar el estado estable, en esfuerzos de carga constante, a una intensidad inferior a la correspondiente al umbral láctico (inicio del incremento de la lactacidemia sobre los niveles de reposo), es de 45 segundos (Linnarsson 1974; Whipp y col. 1981). Cuando las cargas son sólo ligeramente superiores al umbral láctico también puede alcanzarse un estado estable, pero la constante de tiempo es mayor (Wasserman 1987; Henson y col. 1989).

Por otro lado, el tiempo necesario para que el $\dot{V}O_2$ se estabilice cuando se produce un incremento de carga depende de la magnitud del incremento y del $\dot{V}O_2$ previo. Para un determinado incremento de carga, cuanto más elevado sea el $\dot{V}O_2$ del escalón precedente, mayor será el tiempo requerido para alcanzar un nuevo estado estable (Di Prampero y col. 1989). Así mismo, cuanto mayor es el incremento de carga más lentamente se alcanza el nuevo estado estable (Di Prampero y col. 1989). Así pues, la utilización de un test incremental con escalones mantenidos durante 3 min puede llevar a subestimar la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad. Sin embargo, la relación $\dot{V}O_2$ /intensidad no se ha subestimado en este estudio, probablemente, porque la magnitud del incremento de carga ha sido relativamente pequeño (~ 13.3 W/min) y porque se excluyeron del análisis intensidades superiores a 200 W (ésta fue la intensidad más elevada alcanzada en el test escalonado de 6 min).

Otra razón en contra de la utilización de tests incrementales con escalones de 3 min para determinar la recta de economía es de índole práctica. Generalmente los tests incrementales hasta el agotamiento se emplean para determinar el $\dot{V}O_{2max}$, el umbral ventilatorio y el punto de compensación respiratoria de la acidosis metabólica. La medición de estas variables es menos fiable cuando la duración del test es inferior a

6 min o superior a 12 min (Wasserman y col. 1994), por lo que para medir el DMOA es mejor realizar un test específico para obtener la recta de economía.

Henson y col. (1989) también observaron que la pendiente de la recta de economía es mayor cuando se incluyen intensidades de esfuerzo superiores al UV_1 , que cuando sólo se emplean intensidades inferiores al UV_1 . El aumento de la pendiente de la recta de economía a intensidades de esfuerzo más elevadas puede estar relacionada con el componente lento del $\dot{V}O_2$ durante el ejercicio físico de intensidad constante. Durante el pedaleo a intensidad constante, varios autores (Camus y col. 1988; Henson y col. 1989; Poole y col. 1991, 1994) han observado la presencia de una pendiente ascendente del $\dot{V}O_2$, cuando el $\dot{V}O_2$ correspondiente al esfuerzo es superior al $\dot{V}O_2$ alcanzado en el primer umbral ventilatorio (UV_1). En este estudio, el UV_1 se halló a un $\dot{V}O_2$ de $2188 \pm 303 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, muy próximo al $\dot{V}O_2$ observado (entre el 5º y 6º min) para una carga de 160 W ($2180 \pm 138 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$). Por lo tanto, las cargas de 180 y 200 W podrían haberse visto afectadas por este fenómeno.

Otra cuestión bien distinta, y aún no aclarada, hace referencia a si el componente lento del $\dot{V}O_2$ debe ser tenido o no en cuenta al calcular la recta de economía (Medbø y col. 1988; Medbø y Tabata 1989; Bangsbo 1992). Si el componente lento del $\dot{V}O_2$ forma parte del costo energético del esfuerzo, la exclusión de las cargas altas en el cálculo de la recta de economía llevaría a subestimar el DMOA real. Viceversa, si el componente lento del $\dot{V}O_2$ es debido a factores relacionados con la duración, es decir, si sólo se presenta cuando la duración del esfuerzo es superior a los 2-3 min que duran los tests supramáximos, la inclusión de cargas altas provocaría una sobrestimación del DMOA.

Así como Medbø y col. (1988) determinan el $\dot{V}O_2$ correspondiente a cada intensidad y el valor medio detectado entre los min 8-10, otros autores utilizan el valor medio de los min 5º y 6º (Bangsbo 1992, Wither y col. 1993, López Calbet y col. 1993a). Sin embargo, aún utilizando el valor medio de $\dot{V}O_2$ entre el 5º y 6º min, los valores de DMOA tienden a ser más bajos al estimar la demanda a partir de los $\dot{V}O_2$ correspondientes a cargas comprendidas entre 80 y 130 W, que al emplear los $\dot{V}O_2$ correspondientes a las cargas comprendidas entre 140 y 200 W. Estos hallazgos son similares a los anteriormente comunicados por Bangsbo (1992) y apuntan hacia una relación no lineal entre $\dot{V}O_2$ e intensidad de esfuerzo.

La recta de economía tiene que ser establecida a partir del $\dot{V}O_2$ a intensidades de esfuerzo submáximas y la demanda calculada por extrapolación. El error de predicción por regresión lineal es mayor cuanto más elevado es el valor predicho, en relación a

los valores empleados para obtener la recta. Por ello, a efectos de reducir el error hay dos posibilidades. En primer lugar, emplear cargas próximas al $\dot{V}O_2$ max para calcular la recta de economía de pedaleo. En segundo, utilizar intensidades de esfuerzo supramáximo no muy alejadas de la intensidad correspondiente al $\dot{V}O_2$ max. Medbø y col. (1988) demostraron que el error en el cálculo del DMOA es menor cuando se utilizan intensidades supramáximas constantes, de tal magnitud que la fatiga se produzca en aproximadamente 2 min, lo que corresponde a una intensidad relativa del 120 al 130 % del $\dot{V}O_2$ max. Sin embargo, otros autores han demostrado que el DMOA también se puede calcular mediante tests denominados "all-out", como el test de Wingate: los tests "all-out" son de menor duración y más parecidos a las estrategias que emplean los deportistas que practican disciplinas que dependen de la capacidad anaeróbica. A pesar de que la intensidad media del test supramáximo fue de 207 ± 24 % del $\dot{V}O_{2pico}$, los valores de DMOA que se obtuvieron oscilaron entre 44.3 y 82.3 ml eq. O_2 por kg de masa corporal (58.7 ± 13.5 ml.kg⁻¹). Estas cifras son similares a otras anteriormente publicadas (Gastin 1994; Olesen y col. 1992, 1994; Bangsbo y col. 1993; López Calbet y col. 1993a). Si la eficiencia energética empeorara de forma considerable a intensidades de esfuerzo altas, habríamos obtenido valores de DMOA mucho más bajos. En efecto, recientemente Saugen y Vøllestad (1995) han demostrado una mayor eficiencia a intensidades de esfuerzo elevadas que a intensidades de esfuerzo bajas, a pesar de la mayor participación de las fibras musculares tipo II durante el ejercicio de alta intensidad.

Este estudio demuestra que el procedimiento seguido en el cálculo de la recta de economía puede producir diferencias en los valores de DMOA de hasta un 18 %. Aunque Medbø y col. (1988) describieron esta técnica empleando 10 cargas submáximas para determinar la recta de economía en carrera, en cicloergómetro es posible obtener una recta igualmente fiable empleando sólo 5 cargas, siempre que estas correspondan a intensidades superiores al 57 % del $\dot{V}O_2$ max. La recta de economía se puede calcular a partir de los valores de $\dot{V}O_2$ correspondientes al 3^{er} min de un test incremental hasta el agotamiento, con escalones de 40 W cada 3 min. No obstante, el error que comporta este procedimiento desaconseja su utilización tanto para la determinación de la economía de pedaleo como para el cálculo del DMOA.

REFERENCIAS

ARTEAGA ORTIZ R, RAMÍREZ MON JM, MAYO MAYO E, ARTEAGA HERRERA R, CHAVARREN CABRERO J. (1995). *Fiabilidad de las mediciones*

de potencia instantánea máxima durante el test de wingate. VIII Congreso Europeo de Medicina del Deporte, Granada.

ÅSTRAND PO, SALTIN B. (1961). *Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. J Appl Physiol* 16:971-976.

BANGSBO J, GOLLNICK PD, GRAHAM TE, JUEL C, KIENS B, MIZUNO M, SALTIN B. (1990). *Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. J Physiol* 422:539-559.

BANGSBO J. (1992). *Is the O₂ deficit an accurate quantitative measure of the anaerobic energy production during intense exercise? J Appl Physiol* 73:1207-1209.

BANGSBO J, MICHALSIK L, PETERSEN A. (1993). *Accumulated oxygen deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. Int Sports Med* 14:207-213.

CAMUS G, ATCHOU G, BRUCKNER JC, GIEZENDANNER D, DI PRAMPERO PE. (1988). *Slow upward drift of VO₂ during constant-load cycling in untrained subjects. Eur J Appl Physiol* 58:197-202..

DI PRAMPERO PE, MAHLER PB, GIEZENDANNER D, CERRETELLI P. (1989). *Effects of priming exercise on VO₂ kinetics and O₂ deficit at the onset of stepping and cycling. J Appl Physiol* 66:2023-2031.

GASTIN PB. (1994). *Quantification of anaerobic capacity. Scand J Med Sci Sports* 4:91-112.

GASTIN PB, LAWSON DL. (1994). *Variable resistance all-out test to generate accumulated oxygen deficit and predict anaerobic capacity. Eur J Appl Physiol* 69:331-336.

GREEN S, DAWSON B. (1993). *Measurement of anaerobic capacities in humans. Definitions, limitations and unsolved problems. Sports Med* 15:312-327.

HENSON LC, POOLE DC, WHIPP BJ. (1989). *Fitness as determinant of oxygen uptake response to constant-load exercise. Eur J Appl Physiol* 59:21-28.

JONES WB, FINCHUN RN, RUSSELL RO, REEVES TJ. (1970). *Transient cardiac output response to multiple levels of supine exercise. J Appl Physiol* 28:183-189.

KARLSSON J, SALTIN B. (1970) *Lactate, ATP, and CP in working muscles during exhaustive exercise in man. J Appl Physiol* 29:598-602

KARLSSON J, SALTIN B. (1971). *Oxygen deficit and muscle metabolites in intermittent exercise. Acta Physiol Scand* 82:115-122.

-
- KROGH A, LINDHARD J. (1919/20) *The changes in respiration at the transition from work to rest.* J Physiol 53:431-437.
- LAKOMY H.K.A.. (1986). *Measurements of work and power output using friction-loaded cycle ergometers.* Ergonomics 29:509-517.
- LINNARSSON D, KARLSSON J, FAGRAEUS L, SALTIN B. (1974) *Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia.* J Appl Physiol 36:399-402.
- LÓPEZ CALBET JA, NAVARRO MA, BARBANY JR, GARCÍA MANSO J, BONNIN MR, VALERO J. (1993a). *Salivary steroid changes and physical performance in highly trained cyclists.* Int J Sports Med 14: 111-117.
- LÓPEZ CALBET JA, CHAVARREN CABRERO J, GARCÍA MANSO JM, SAAVEDRA MILLAN I, DORADO GARCÍA C. (1993b). *Relación entre el umbral láctico y el umbral ventilatorio 1, determinados mediante test en rampa.* V Congreso de la Federación Española de Medicina del Deporte. Pamplona.
- LÓPEZ CALBET JA. (1993). *Valoración Fisiológica de la Condición Física en Ciclistas Altamente entrenados.* Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- LÓPEZ CALBET JAL, DORADO GARCÍA C, CHAVARREN CABRERO J. (1996). *Oxygen deficit incurred during supramaximal all-out and constant intensity exercise.* In: Book of abstracts. Marconnet P, Gaulard J, Margaritis I, Tessier F (eds). First Annual Congress of the European College of Sports Science. Nice, France, pag. 512-513.
- MEDBØ JI, MOHN AC, TABATA I, BAHR R, VAAGE O, SEJERSTED OM. (1988). *Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit.* J Appl Physiol 64:50-60.
- MEDBØ JI, TABATA I. (1989) *Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise.* J Appl Physiol 67:1881-1886.
- OLESEN HL. (1992). *Accumulated oxygen deficit increases with inclination of uphill running.* J Appl Physiol 73:1130-1134.
- OLESEN HL, RAABO E, BANGSBO J, SECHER NH. (1994). *Maximal oxygen deficit of sprint and middle distance runners.* Eur J Appl Physiol 69:140-146.
- PATE RR, GOODYEAR L, DOVER V, DOROCIAC J, MCDANIEL J. (1983). *Maximal oxygen deficit: a test of anaerobic capacity.* Med Sci Sports Exerc 23:S1.

- POOLE DC, SCHAFFARTZIK W, KNIGHT DR, DERION T, KENNEDY B, GUY HJ, PREDILETTO R, WAGNER PD. (1991). *Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans*. J Appl Physiol 71:1245-1253.
- POOLE DC, BARSTOW TJ, GAESSER GA, WILLIS WT, WHIPP BJ. (1994). *VO₂ slow component: physiological and functional significance*. Med Sci Sports Exerc 26:1354-1358.
- ROWELL LB. (1974). *Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress*. Physiol Rev 54:75-159.
- SALTIN B. (1990). *Anaerobic capacity: past, present and prospective*. In: Biochemistry of Exercise VII. Taylor AW, Gollnick PD, Green HJ, Ianuzzo CD, Noble EG, Métivier G, Sutton JR (eds). International series on Sport Sciences, Human Kinetics Publishers, Champaign, 21: 387-412.
- SAUGEN E, VØLLESTAD NK. (1995). *Nonlinear relationship between heat production and force during voluntary contractions in humans*. J. Appl Physiol 79:2043-2049.
- SZÖGY A, LINZBACH B, BÖHMER D, AMBRUS P. (1984). *Aerobic and anaerobic work capacity in adolescent road track and cross country cyclists*. Int J Sports Med 5:285..
- TERRADOS N, FERNÁNDEZ B, PÉREZ-LANDALUCE J. (1991). *Anaerobic capacity in elite Kayakers*. Med Sci Sports Exerc 23:S106.
- VANDEWALLE H, PRESE G, HELLER J, PANEL J, MONOD H. (1987). *Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer*. Eur J Appl Physiol 56:650-656.
- WASSERMAN K. (1987). *Determinants and detection of anaerobic threshold and consequences of exercise above it*. Circulation 76:VI29-VI39.
- WASSERMAN KL, HANSEN JE, SUE DY, WHIPP BJ, CASABURI R. (1994). *Protocols for exercise testing*. In: Principles of exercise testing and interpretation. Harris JM, Stead L, Dirienzi D (eds). Lea & Febiger. Philadelphia, pag. 97-111.
- WHIPP BJ, DAVIS JA, TORRES F, WASSERMAN K. (1981). *A test to determine parameters of aerobic function during exercise*. J Appl Physiol 50:217-221.
- WITHERS RT, PLOEG G VAN DER, FIN JP. (1993). *Oxygen deficits incurred during 45, 60, 75 and 90-s maximal cycling on an air-braked ergometer*. Eur J Appl Physiol 67:185-191.

