

# VALORACION FUNCIONAL ERGOESPIROMETRICA EN TAPIZ RODANTE VS KAYAKERGOMETRO EN PIRAGÜISMO DAMAS

Rabadán M, Hernández M, Calderón C, Millán MJ., Cámara L., Antón P., Rubio S.  
 Centro de Medicina del Deporte. C.A.R.I.CD. Consejo Superior de Deportes. Madrid.

## INTRODUCCION

Dentro de los objetivos de un Centro de Medicina del Deporte se encuentran, en primer lugar mantener un adecuado grado de salud de los deportistas mediante la prevención, el diagnóstico precoz y eventual tratamiento tanto de enfermedades como de lesiones del aparato locomotor y en segundo lugar realizar un asesoramiento y apoyo científico-médico al proceso del entrenamiento con el objetivo final de optimizar el rendimiento deportivo.

En ambos capítulos juega un papel importante la realización de pruebas de esfuerzo con análisis de los gases espirados (ergoespirometría), que nos permiten realizar una valoración funcional del deportista. Dicha valoración está íntimamente unida, en el deporte de alto nivel, al análisis biomecánico del gesto deportivo. La Fisiología de ejercicio y la Biomecánica caminan juntas para conseguir en el Laboratorio del esfuerzo realizar un análisis del comportamiento del organismo humano ante un esfuerzo físico específico de una especialidad deportiva concreta, en la cual se activan determinados grupos musculares y segmentos corporales que van a condicionar la respuesta al ejercicio. Por otra parte el rendimiento mecánico que el deportista obtendrá en el ergómetro será mejor si realiza una actividad física a la cual está entrenado, se encuentre más cómodo y muscularmente más preparado. Todo ello

incrementa indudablemente su motivación, factor fundamental para la obtención de parámetros máximos de esfuerzo.

En base a éstas consideraciones, para la realización de pruebas de esfuerzo en deportistas es recomendable la utilización de ergómetros lo más específicos posible a la especialidad deportiva de que se trate.

En cuanto a los protocolos de esfuerzo serán diferentes en función de los objetivos de la ergoespirometría.

## OBJETIVO

El objetivo de nuestra investigación fue analizar los diferentes resultados, utilidad y aplicación de dos pruebas de esfuerzo, una en tapiz rodante y otra en ergómetro específico de piragua (kayakergómetro).

## MATERIAL Y METODOS

La población a la cual se realizó el estudio fue al equipo nacional español de piragüismo damas, compuesto por 7 palistas, de las cuales 5 representaron a España en los Juegos Olímpicos de Atlanta 96. Las características de la muestra se presentan en la tabla siguiente:

N=7	AÑOS ENTRENAM.	DIAS/SEM	HORAS/DIA
x±std	8,3±1,8	6±0	6,9±1,5
MAX.-MIN.	5-10	6-6	4-8

El estudio se realizó al final de la pretemporada, a primeros de febrero, al inicio del periodo de entrenamiento específico en agua. El volumen de entrenamiento del grupo

era alto como corresponde a deportistas de alto nivel. Las características deportivas de la muestra se reflejan a continuación:

N=7	EDAD	PESO	TALLA
x±std	20.4±2	67±4.6	168.3±3.2
MAX.-MIN.	19-24	61.4-76.1	163.4-173.3

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

La metodología en el Laboratorio de Fisiología del esfuerzo fue la siguiente. Realizamos dos pruebas de esfuerzo con un intervalo entre ellas de 5-6 horas, con las siguientes características:

1-Prueba de esfuerzo máxima en tapiz rodante, con un protocolo incremental escalonado continuo. La velocidad inicial del test fue 6 km/h., con incrementos de 2 km/h. cada 2 minutos, hasta el agotamiento y parada voluntaria por parte de la deportista. La pendiente de la cinta rodante fue constante de un 1 %. Esta prueba se realizó por la mañana.

2-Prueba de esfuerzo en kayakergómetro, de 2 minutos de duración a la máxima intensidad, ritmo de competición. Este test se realizó por la tarde.

La instrumentación utilizada para la realización de éstas pruebas fue la siguiente:

-Tapiz rodante Laufergotest L6, marca Jaeger, especialmente diseñado para la realización de pruebas de esfuerzo a deportistas al tener una mayor longitud de cinta que los habitualmente utilizados en los laboratorios de cardiología clínica.

-Equipo de electrocardiografía de esfuerzo, Marquette Electronics Inc. Case 12,

-Para monitorización ECG de 12 derivaciones (en el test en tapiz rodante).

-Pulsómetro sport tester Polar modo 4000 (en el test en kayakergómetro).

-Ergoespirómetro Eos-sprint de Jaeger con osciloscopio incorporado de la marca Hellige Servomed. El ergoespirómetro está formado por un sistema de circuito abierto, con cámara de mezcla, que analiza los gases espirados por método directo (el oxígeno por principio paramagnético y el anhídrido carbónico por infrarrojos). La medición del volumen espirado se realizó mediante un

neumotacógrafo.

Los parámetros evaluados fueron los siguientes:

1. En la prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante:

-Parámetros máximos de esfuerzo: Ergoespirométricos y cardiológicos (consumo de oxígeno en l/min y en ml/kg/min, volumen espiratorio y frecuencia cardíaca).

-Parámetros submáximos: se determinaron las zonas de transición metabólicas, es decir, los umbrales aeróbico y anaeróbico por método ventilatorio.

2. En la prueba de esfuerzo en kayakergómetro:

-Parámetros máximos de esfuerzo: Ergoespirométricos y cardiológicos (consumo de oxígeno en l/min y en ml/kg/min, volumen espiratorio y frecuencia cardíaca).

-Sumatorio del VO<sub>2</sub> durante el test, sumatorio del VO<sub>2</sub> durante los 10 primeros minutos de la recuperación postesfuerzo y el VO<sub>2</sub> total en ml. (suma de los dos anteriores). A partir de estos datos se determinó el porcentaje de energía utilizada por vía aeróbica y anaeróbica durante el test de 2 minutos. El VO<sub>2</sub> medido en la recuperación correspondería a la deuda de oxígeno contraída durante el esfuerzo y por lo tanto la energía desarrollada por la vía anaeróbica. -Potencia desarrollada durante el test en valores absolutos y relativos (vatios y vatios/kg).

Los criterios de maximalidad aplicados en la valoración de las pruebas de esfuerzo fueron los siguientes:

-Cardiológicos: alcanzar la frecuencia cardíaca máxima teórica expresada como 220 menos la edad.

-Ergoespirométricos: meseta en la curva de VO<sub>2</sub> aunque se incremente la carga de trabajo (VO<sub>2</sub> máximo frente a VO<sub>2</sub> pico) y cociente respiratorio >1,1.

Los criterios de determinación de los umbrales aeróbico y anaeróbico fueron los siguientes:

## **CRITERIOS DE DETERMINACION DE UMBRALES VENTILATORIOS. DAVIS 1985**

### **UMBRAL VENTILATORIO 1, VT1, UMBRAL AEROBICO**

1. *PRIMER INCREMENTO NO LINEAL DE LA VENTILACION*
2. *AUMENTO DEL VENO<sub>2</sub> SIN UN SIMUL TANE O INCREMENTO DEL VE/VC<sub>O2</sub>*
3. *ELEVACION DE LA PETO<sub>2</sub> SIN UN DESCENSO RECIPROCO DE LA PETCO<sub>2</sub>*

### **UMBRAL VENTILATORIO 2, VT2, UMBRAL ANAEROBICO**

1. *SEGUNDO CAMBIO DESPROPORCIONADO, NO LINEAL DE LA VENTILACION*
2. *INCREMENTO NO LINEAL DEL VENO<sub>2</sub> CON AUMENTO SIMUL TANE O DEL VE/VC<sub>O2</sub>*
3. *ELEVACION DE LA PETO<sub>2</sub> CON UN DESCENSO RECIPROCO DE LA PETCO<sub>2</sub>*

El método estadístico utilizado fue estadística descriptiva para la media y desviación estándar y estadística

comparativa por el método de la t de Student para datos pareados.

## RESULTADOS

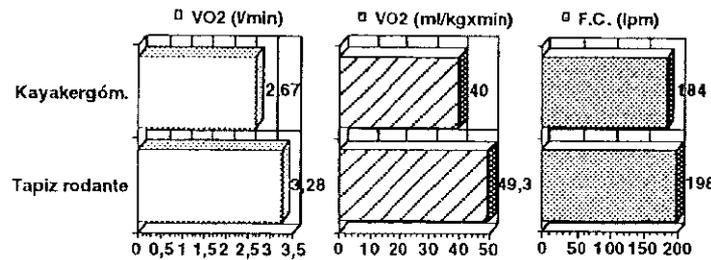
En múltiples trabajos publicados se han relacionado los valores máximos y en concreto el consumo máximo de oxígeno con el rendimiento deportivo. El piragüismo es un ejemplo de esta afirmación, siendo ésta relación rendimiento- VO<sub>2</sub> máx. más en relación al VO<sub>2</sub> máx. en valores absolutos (l/min.). No obstante estos valores máximos pueden ser diferentes en función del ergómetro

donde se realice la prueba de esfuerzo, ya que el gesto biomecánico y la masa muscular activa puede variar sustancialmente. Actualmente existe una tendencia hacia la valoración funcional lo más específica posible en ergómetros adaptados a cada deporte. A continuación presentamos los parámetros máximos de esfuerzo que obtuvimos en nuestro estudio:

x±std	VO <sub>2</sub> * (l/min)	VO <sub>2</sub> * (ml/kgxmin)	V.E. * (l/min)	F.C.* (lpm)
Tapiz rodante	3,28±0,11	49,3±3,7	125,9±7,6	198±6
Kayakergóm.	2,67±0,21	40,0±3,3	105,3±6,9	184±7

PARAMETROS ERGOESPIROMETRICOS MAXIMOS PIRAGÜISMO DAMAS . FEB.96

\* Diferencia estadísticamente significativa p<0,01 (t Student pareada)



TAPIZ RODANTE VS KAYAKERGOMETRO. PARAMETROS MAXIMOS

Se puede apreciar claramente la existencia de diferencias significativas en los parámetros máximos ergoespirométricos y en la frecuencia cardiaca máxima, siendo mayores los valores en tapiz rodante que en kayakergómetro. La distinta masa muscular activa utilizada

durante el esfuerzo en carrera y kayak, pensamos que justifica estos resultados.

Los parámetros submáximos, es decir, los umbrales aeróbico y anaeróbico en el test en tapiz rodante fueron los siguientes:

VO <sub>2</sub> VT1 (ml/kg.mln)	% VO <sub>2</sub> MAX	F.C. VT1 (lpm)	%F.C. MAX
29,6±4,9	60,1±9,4	163±9	82±4
VO <sub>2</sub> VT2 (ml/kg.mln)	%VO <sub>2</sub> MAX	F.C. VT2 (lpm)	%F.C. MAX
42,6±3,2	86,7±6	185±7	93±3

UMBRALES VENTILATORIOS. PIRAGÜISMO DAMAS TAPIZ RODANTE.  
1%- 6 km/h + 2 km/h x 2 min. FEB.96

Estos resultados podemos valorados, en cuanto al umbral aeróbico, como adecuados o normales para la especialidad deportiva y momento de la temporada (60,1 % respecto al VO<sub>2</sub> máx.). En cuanto al umbral anaeróbico se encuentra en un nivel bueno (86,7% respecto al VO<sub>2</sub> máx.). Estos valores medios son orientativos y en relación a la

tendencia general del grupo, pero merece la pena debido a la dispersión de los resultados hacer un análisis individualizado de los mismos. En la tabla siguiente se reflejan algunos de los parámetros determinados en el test en tapiz rodante en cada una de las 7 piragüistas:

	VEL1	FC1	VEL2	FC2	VEL MAX	FC MAX	T.	VO2 MAX
1	10	156	14	188	16	198	10,23	40,9-3,11
2	12	174	14	188	16	194	10,09	49,2-3,23
3	8	150	14	175	16	191	11,17	52,8-3,24
4	10	166	14	186	18	199	12,14	51,4-3,25
5	8	178	14	200	18	210	12,03	48,6-3,36
6	10	157	12	177	18	200	12,11	52,2-3,36
7	8	163	14	185	16	195	11,14	49,8-3,45

UMBRALES VENTILATORIOS Y PARAMETROS MAXIMOS. PIRAGÜISMO DAMAS. TAPIZ RODANTE. 1%-6+2x2 FEB.96

VEL 1: velocidad en km/h en el umbral aeróbico. FC 1: frecuencia cardiaca en el umbral aeróbico  
 VEL 2: velocidad en km/h en el umbral anaeróbico. FC2: frecuencia cardiaca en el umbral anaeróbico.  
 VEL MAX: velocidad máxima alcanzada en km/h.. FC MAX: frecuencia cardiaca máxima alcanzada.  
 T.: tiempo final test en minutos. VO2 MAX.: consumo máximo de oxígeno en ml/kgxmin. y en l/mino

Las zonas de transición metabólicas, umbral aeróbico y anaeróbico, son fundamentales para la individualización del entrenamiento y para la aplicación de las cargas de trabajo en cada momento de la temporada, siendo parámetros sensibles a los cambios fisiológicos producidos como

consecuencia del entrenamiento físico, e independientes de la motivación del individuo al realizar la prueba de esfuerzo.

En cuanto a los resultados obtenidos en el test en kayakergómetro se resumen a continuación:

x±std N=7	%AEROBICO	% ANAEROBICO	POT. (w)	POT/Kg (w/kg)
	34,7±2,1	65,3±2,1	233±12	3,48±0,23
MAX-MIN	30,4-37,5	62,5-69,6	207-248	3,11-3,84
	VO2 TEST (ml)	VO2 10 MIN REC (ml)	VO2 TOTAL (ml)	
	3980±213	7517±808	11497±933	

TEST KAYAKERGOMETRO. 2 MIN. MAX. INTENSIDAD. PIRAGÜISMO DAMAS. FEB.96

## CONCLUSIONES

El motivo de la realización del test de 2 minutos en kayakergómetro fue intentar reproducir, de forma controlada en el laboratorio, la prueba específica de K-I 500 m, tanto en el esfuerzo realizado (intensidad máxima, ritmo de competición) como en el tiempo aproximado de la prueba de K-I 500 m.

De ésta manera y mediante el cálculo de la deuda de oxígeno podemos determinar la vía energética más utilizada durante el desarrollo del test, pudiendo ser una herramienta útil para orientar el entrenamiento, considerando el momento de la temporada de que se trate.

En un esfuerzo máximo en kayakergómetro de 2 minutos de duración, el porcentaje de trabajo aeróbico es, valorándolo mediante la metodología descrita (deuda de oxígeno), de un 34,7% de media, frente a un 65,3% de trabajo anaeróbico, lo que nos indica la importancia del desarrollo de la vía anaeróbica en ésta especialidad deportiva, sin descuidar por supuesto el trabajo aeróbico.

1. Para la determinación de los valores máximos ergoespirométricos y cardiológicos de un individuo se deberá realizar la prueba de esfuerzo en tapiz rodante.

2. La elección de los ergómetros y protocolos a utilizar dependerá del objetivo del test, del momento de la temporada y de la especificidad para el gesto deportivo.

3. La interpretación de los datos obtenidos se debe realizar en función de la prueba de esfuerzo realizada.

4. Las pruebas incrementales nos permiten la valoración de parámetros submáximos, fundamentales para la programación individualizada del entrenamiento.

5. Los tests específicos de máxima intensidad permiten estudiar el metabolismo energético aproximado de la competición y las capacidades máximas específicas.