

Casajús, J.A.; Piedrafita, E. y Aragonés, M.T (2009). Criterios de maximalidad en pruebas de esfuerzo. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 9 (35) pp. 217-231 [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista35/artcriterios114.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista35/artcriterios114.htm)

## CRITERIOS DE MAXIMALIDAD EN PRUEBAS DE ESFUERZO

### CRITERIA FOR MAXIMAL EXERCISE TEST

Casajús J.A.<sup>1</sup>, Piedrafita, E.<sup>2</sup> y Aragonés M.T.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Profesor Titular de la Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte de la Universidad de Zaragoza, Doctor en Medicina y Cirugía, Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte.<joseant@unizar.es>

<sup>2</sup> Ldo en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Doctorando de la Universidad de Zaragoza <eduardo.prieto@yahoo.es>

<sup>3</sup> Lda en Medicina y Cirugía, Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte, Centro de Medicina del Deporte del Gobierno de Aragón <maragones@aragob.es>

**Recibido** 22 de diciembre de 2008

**Aceptado** 18 junio de 2009

**Clasificación UNESCO:** 2411 Fisiología Humana  
9915 Medicina del Deporte

#### RESUMEN

Los criterios utilizados para determinar los test de esfuerzo máximos, son motivos de discusión. En este trabajo se pretende: a) analizar la incidencia de la meseta del consumo de oxígeno y otros criterios de maximalidad en tests máximos en laboratorio, y b) identificar si el ergómetro y el protocolo influyen en los criterios analizados. Se estudiaron 135 deportistas varones, 12-42 años, pertenecientes a doce disciplinas deportivas. Se seleccionaron como criterios de maximalidad la meseta del consumo de oxígeno (< 150 mL/min y < 2 ml/kg/min), el Cociente Respiratorio ( $\geq 1,10$ ) y la Frecuencia Cardíaca ( $\geq 95\%$  de la máxima teórica). Sólo el 51 % de las pruebas máximas analizadas alcanza la meseta de  $VO_2$  y un 7% no alcanza ninguno de los criterios analizados; el 28% alcanza tres criterios y el 70% solo dos. El protocolo y el ergómetro influyen de manera significativa en los criterios de maximalidad analizados.

**PALABRAS CLAVE:** *prueba de esfuerzo, plateau, cociente respiratorio, frecuencia cardíaca, ergómetro, protocolo.*

#### ABSTRACT

The criteria used to establish whether a true maximal test has been attained have been criticised. The aims of this study were: a) to assess the incidence of plateau of VO<sub>2</sub>max and other criteria in a maximal exercise test in laboratory, and b) to determine if the protocol and ergometer have an influence on these criteria. 135 sportsmen, aged 12-42 years, were examined. Maximal exercise tests were carried out with different ergometer (treadmill vs cycle) and protocol (continuous vs discontinuous) according to the sports discipline. The criteria analysed were: oxygen uptake ( $< 150 \text{ mL/min}$  and  $< 2 \text{ mL/kg/min}$ ), Respiratory Exchange Ratio ( $\geq 1,10$ ) and Heart Rate ( $\geq 95\% \text{ HRmax}$ ). Only 51% of the maximal test analysed reached the plateau of oxygen uptake and 7% did not reached any criteria; the 28% reached three criteria and 70% two. The protocol and ergometer were determinant in the criteria analysed in the maximal exercise tests.

**KEY WORDS:** maximal exercise test, plateau, respiratory exchange ratio, heart rate, protocol, ergometer.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los parámetros más relevantes en la evaluación funcional es el consumo máximo de oxígeno<sup>1</sup> o VO<sub>2</sub>máx. El VO<sub>2</sub>máx se define como la cantidad máxima de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo. La mayoría de los investigadores consideran el VO<sub>2</sub>máx como la mejor medida objetiva de laboratorio para determinar la potencia aeróbica máxima<sup>2</sup>, aunque los criterios para determinar si realmente se ha alcanzado son motivo de controversia<sup>3</sup>. En pruebas de laboratorio de VO<sub>2</sub>máx, el sujeto realiza un ejercicio en un ergómetro con un protocolo específico hasta el agotamiento.

Estos tests de laboratorio son un método de exploración fundamental para la valoración funcional clínica y en el deporte de alta competición. La cuestión que muchas veces se plantea es ¿realmente el sujeto ha realizado la prueba hasta llegar al esfuerzo máximo?

Existen parámetros fisiológicos que sugieren si se ha realizado un esfuerzo máximo. Los más utilizados son: el VO<sub>2</sub>, la frecuencia cardiaca (FC), el cociente respiratorio (CR), la concentración de lactato ([lac])<sup>4,5</sup> y en menor proporción la escala subjetiva de percepción del esfuerzo realizado<sup>6</sup> (Escala de Borg). A partir de estos parámetros se pueden establecer unos valores que indiquen si el sujeto, cuando termina la prueba, lo hace por razones fisiológicas (máximo esfuerzo) o no. A estos valores se les conoce como criterios de maximalidad.

De esta forma, han surgido numerosos estudios, donde cada investigador ha aportado los resultados obtenidos. En una reciente revisión Midgley et al<sup>3</sup> refieren los resultados de los criterios utilizados en la determinación del VO<sub>2</sub>máx en diferentes trabajos publicados en revistas con índice de impacto en los

últimos años; se pueden apreciar más de 30 criterios diferentes utilizados para la determinación del consumo máximo de oxígeno.

El criterio de maximalidad relacionado con el  $VO_2$  es la meseta<sup>7,8,9,10,11</sup>. Conforme aumenta la intensidad del ejercicio, aumenta también el  $VO_2$ . Sin embargo, llega un momento en que aunque se incremente la carga, el  $VO_2$  no aumenta, o si lo hace es con una mínima diferencia; entonces se indica que se ha alcanzado el *plateau* o meseta. Lo que se mide es la diferencia entre el  $VO_2$  alcanzado en la última carga de trabajo respecto de la penúltima. Ese valor se puede expresar en mL/min o en mL/kg/min. Si es inferior al criterio de maximalidad determinado, el sujeto lo ha cumplido. La ausencia de plateau no significa que la prueba no sea máxima; existen otros valores como la FC, el CR, la lactacidemia y la escala de Borg que ayudan a valorar si la prueba ha sido máxima.

Cuando hablamos del criterio de FC, nos referimos al % de  $FC_{máx}$  teórica que un sujeto alcanza al finalizar la prueba. Esta  $FC_{máx}$  teórica se obtiene a través de la fórmula:  $220 - edad\ del\ sujeto\ en\ años$ <sup>12</sup>. Este porcentaje varía, según diferentes autores, de 85 a 100%<sup>3</sup>.

Por otro lado, el CR se obtiene a partir de la relación del volumen de  $CO_2$  eliminado y el volumen de  $O_2$  consumido. En reposo, el CR se sitúa alrededor de 0,8, aumentando paulatinamente con la intensidad del ejercicio<sup>5</sup>. Generalmente, el criterio de maximalidad se establece cuando el cociente respiratorio supera la unidad ( $VCO_2 > VO_2$ ).

En relación con la lactacidemia se consideran pruebas máximas cuando se superan los 8 mmol/L<sup>5</sup> y en la escala de Borg cuando el resultado final es igual o superior a 17,18 o 19<sup>3</sup>. En este trabajo no se han valorado lactacidemias ni la escala de Borg.

La determinación de criterios de maximalidad en pruebas de esfuerzo en laboratorio presentan algunos elementos que necesariamente deben ser ponderados. Los objetivos de este trabajo son: 1) analizar la incidencia en pruebas de esfuerzo máximas de la meseta de  $VO_2$  y de otros criterios de maximalidad, y 2) identificar si las variables ergómetro y protocolo influyen en los criterios de maximalidad analizados.

## **MATERIAL Y MÉTODO**

La muestra de este estudio está constituida por 135 sujetos varones todos ellos deportistas de elite, que realizaron una prueba de esfuerzo en el Centro de Medicina del Deporte del Gobierno de Aragón. Pertenecen a diferentes modalidades deportivas: ciclismo, atletismo, triatlón, esquí (fondo, alpino), tenis, judo, balonmano, fútbol, fútbol sala, baloncesto, hockey sobre hierba y montañismo con una franja de edad de 12 a 42 años ( $22,98 \pm 7,09$ ).

Los datos recogidos para realizar el estudio son los obtenidos en el periodo comprendido entre agosto de 2006 y mayo de 2007.

Este estudio se llevó a cabo siguiendo las normas deontológicas de la Declaración de Helsinki (revisión de Hong-Kong, 1989), el acuerdo sobre recomendaciones de Buena Práctica Clínica de la CEE (documento 111/3976/88, 1990) y la normativa legal vigente española que regula la investigación clínica en humanos (RD 561/1993). Los deportistas firmaron un consentimiento informado; en el caso de que fueran menores de edad, padres y/o tutores y deportista firmaron este consentimiento.

Todos los deportistas pasaron un reconocimiento médico-deportivo previo a la prueba de esfuerzo que incluía ECG de reposo, tensión arterial, etc. y firmaron un consentimiento informado. También se constató si el deportista tomaba medicamentos o sustancias que pudieran interferir en los resultados y cuál era su nivel de entrenamiento en ese momento. Las pruebas se llevaron a cabo por la mañana y los deportistas realizaron una actividad física ligera el día anterior.

En función de la disciplina y/o modalidad deportiva y de la edad, los sujetos realizaron el test en cinta o cicloergómetro con un protocolo continuo o intermitente. De este modo, la prueba sobre cinta (con inclinación fija de 3%) y protocolo continuo, consistía en un incremento lineal de 1 km/h cada minuto, mientras que con protocolo intermitente era de 2 km/h cada 3 minutos, con pausas de 1 minuto. Cuando el test se realizaba con cicloergómetro, si el protocolo era continuo el incremento era de 30 W/min, y si era intermitente de 60 W/min, con pausas de 1 minuto.

La prueba finalizaba cuando el deportista alcanzaba un nivel máximo de esfuerzo y no podía continuar con el incremento de carga. Se analizaron los datos ergoespirométricos de la última y penúltima carga.

Los criterios de maximalidad que se han valorado en este trabajo son:

- Meseta de  $VO_2$ . Diferencias entre las dos últimas cargas de trabajo  $<150$  mL/min y/o  $<2$  mL/kg/min.
- $CR \geq 1,10$ .
- $\%FC_{m\acute{a}x} \geq 95\%$  de la  $FC_{m\acute{a}x}$  teórica

El material de laboratorio utilizado en este estudio ha sido:

- Cinta ergométrica Jaeger, modelo L5.
- Cicloergómetro Monark, modelo Ergomedic 828 E.
- Analizador de gases “respiración a respiración” MedGraphics, modelo CPX/MAX.

- Electrocardiógrafo y osciloscopio (para registrar de forma continua la FC) Datex-Ohmeda, modelo S/5.

## TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Los datos se presentan como media y desviación típica (media  $\pm$  DT).

El valor de la meseta de VO<sub>2</sub> (diferencia entre las dos últimas cargas) se calculó de la siguiente forma: VO<sub>2</sub> última carga - VO<sub>2</sub> penúltima carga. Este criterio se cumplía cuando la diferencia era <150 mL/min y/o <2 mL/kg/min. El %FC<sub>máx</sub> teórica (FC<sub>max</sub> teórica = 220-edad) se calculó a partir de la FC máxima alcanzada en la prueba. El criterio se cumplía cuando la frecuencia cardíaca máxima alcanzada era  $\geq$  95% de la FC<sub>máx</sub> teórica.

Se utilizó el test chi-cuadrado para comparar la incidencia de ergómetro y protocolo en la distribución de las frecuencias de los criterios de maximalidad. Se estableció un nivel de significación para  $p < 0.05$ .

Para el tratamiento de los datos, se trabajó inicialmente con el programa Microsoft Excel, y posteriormente esos datos fueron tratados con el programa SPSS, versión 13.0.

## RESULTADOS

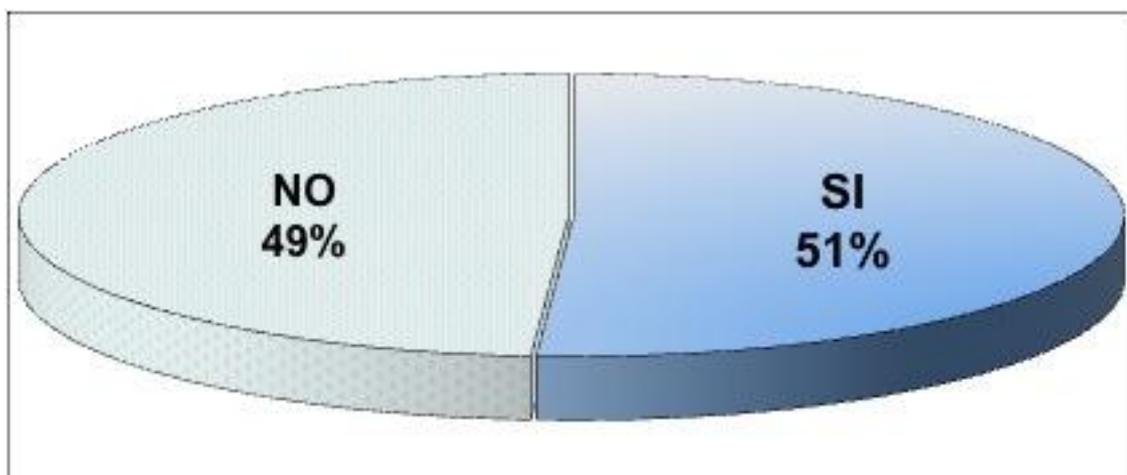
Las características de la muestra con los valores medios alcanzados en los criterios de maximalidad estudiados se presentan en la **tabla 1**. Se muestran los datos de la muestra total (n=135) y su redistribución en función del ergómetro y protocolo.

**Tabla 1.** Características y resultados de los criterios alcanzados de la muestra total y en función del ergómetro y protocolo (media  $\pm$  DT)

			Edad (años)	Peso (kg)	Talla (cm)	VO <sub>2</sub> (mL/min)	VO <sub>2</sub> (mL/kg/min)	CR	%FCmax
Total	n=135	Media	22,98	71,63	177,55	183,56	2,64	1,14	96,87
		DT	7,09	13,95	9,72	139,57	2,05	0,07	4,52
Cinta n=70	Continuo n=52	Media	24,11	77,28	180,48	122,69	1,59	1,12	96,91
		DT	6,91	17,98	13,13	112,36	1,27	0,07	4,37
	Intermitente n=18	Media	27,94	70,60	175,23	257,78	3,68	1,14	100,26
		DT	5,67	6,68	7,35	136,62	2,05	0,06	3,38
Ciclo n=65	Continuo n=45	Media	19,24	67,57	175,87	195,78	2,95	1,15	95,77
		DT	6,32	10,98	5,94	120,29	1,86	0,06	4,71
	Intermitente n=20	Media	23,97	67,00	175,81	247,50	3,71	1,16	96,19
		DT	6,64	5,91	5,89	182,41	2,84	0,07	4,10

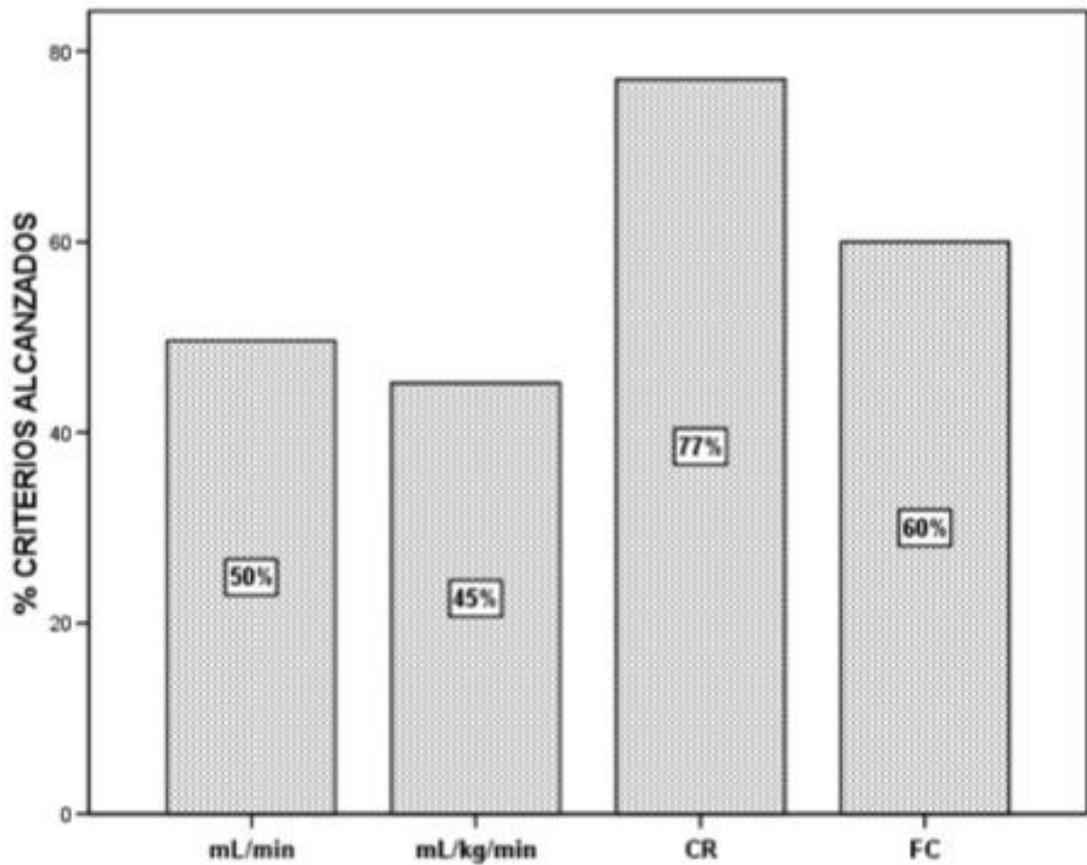
CR: cociente respiratorio. %FCmax: porcentaje frecuencia cardiaca teórica máxima.  
VO<sub>2</sub> :consumo de oxígeno.

En la figura 1 se muestran los resultados del porcentaje de pruebas que han alcanzado la meseta de VO<sub>2max</sub>. Como puede observarse sólo el 51% de las pruebas valoradas supera este criterio.



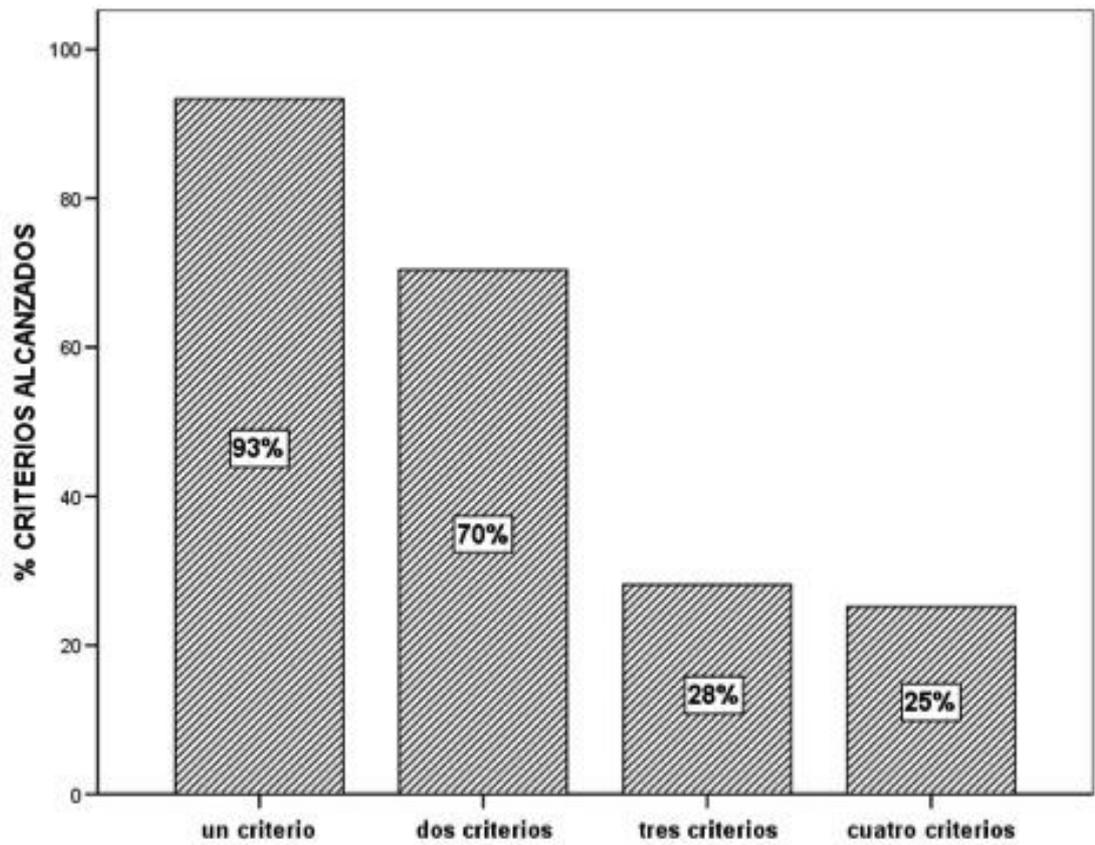
**Figura 1.** Porcentaje de pruebas que han alcanzado la meseta de VO<sub>2</sub>.

El porcentaje de cada uno de los criterios de maximalidad alcanzados en toda la muestra se observan en la figura 2. El criterio CR es el que más se cumple seguido de la FC y VO<sub>2</sub> en mL/min.



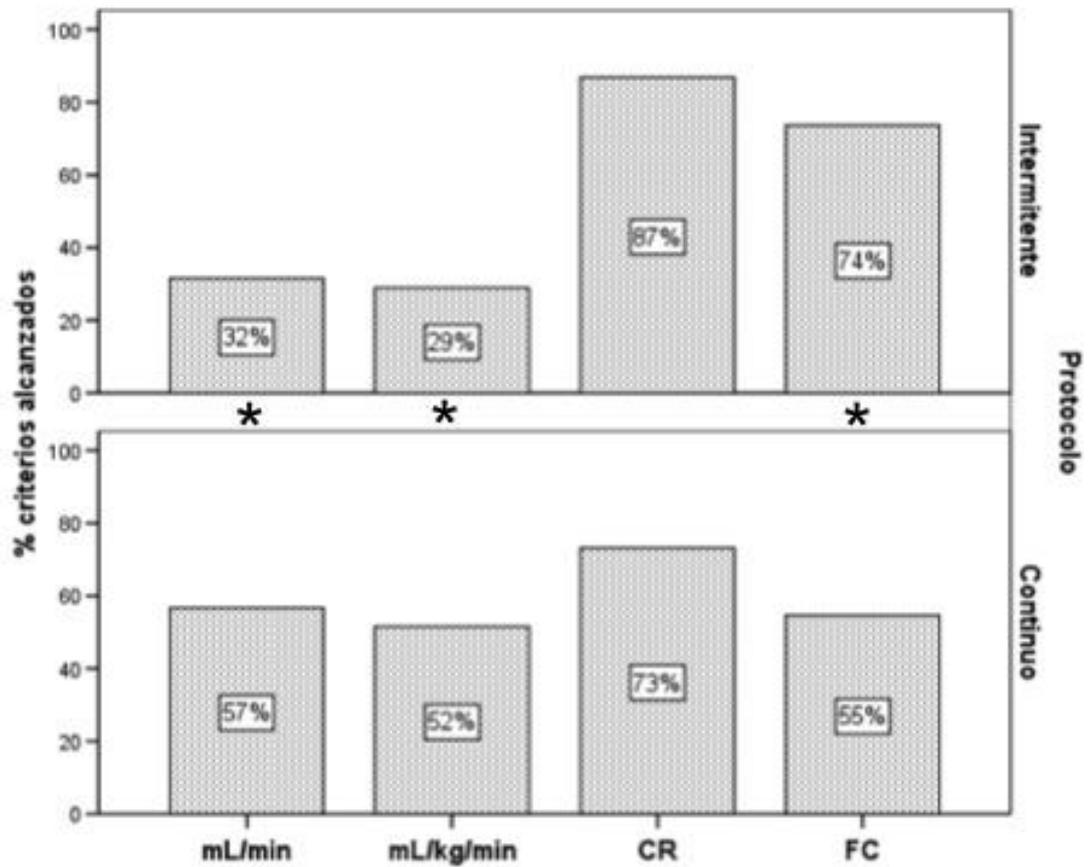
**Figura 2.** Porcentaje alcanzado por cada uno de los criterios de maximalidad estudiados en la muestra total.

En la figura 3 se indican el porcentaje de pruebas que cumplen con uno, dos, tres o cuatro criterios de maximalidad. Es interesante destacar que en sólo el 7% de las pruebas no se alcanza ninguno de los criterios valorados.



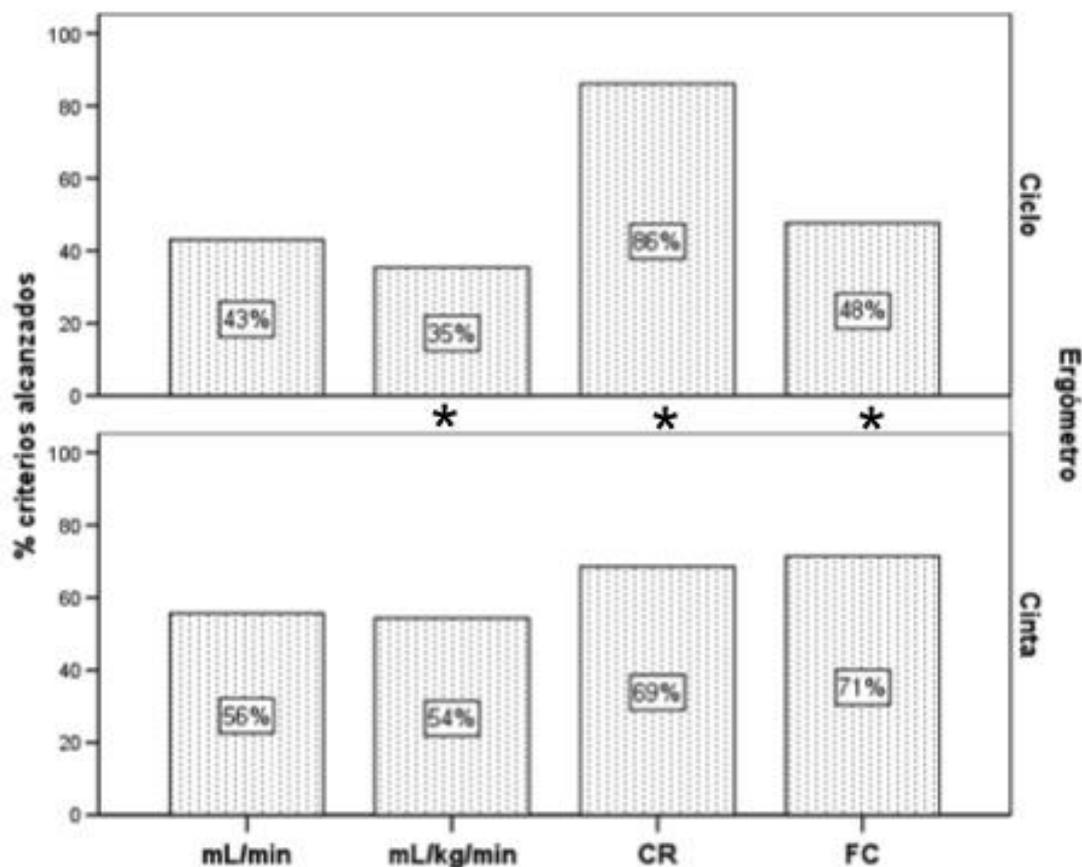
**Figura 3.** Combinaciones del número de criterios alcanzados en la muestra total

El porcentaje de los distintos criterios de maximalidad alcanzados en función del protocolo aparece en la figura 4, con diferencias significativa en  $\text{VO}_2$  (mL/min y mL/kg/min) y FC.



**Figura 4.** Porcentaje de criterios alcanzados en función del protocolo empleado.  
 \* diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

En la figura 5 se muestran los porcentajes de los distintos criterios de maximalidad alcanzados en función del ergómetro, con diferencias significativas en  $VO_2$  (mL/kg/min), CR y FC.



**Figura 5.** Porcentaje de criterios alcanzados en función del ergómetro utilizado.  
\* diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

## DISCUSIÓN

Los parámetros que representan los criterios de maximalidad utilizados en la literatura son dispersos y generales. Esta falta de unanimidad en los criterios dificulta la interpretación de “prueba máxima” en los diferentes laboratorios y publicaciones científicas y la comparación entre diferentes estudios transversales. Teniendo en cuenta la relevancia de este procedimiento, parece necesario una revisión y actualización de estos parámetros que desemboque en un consenso que fije de forma inequívoca los criterios de maximalidad para pruebas de esfuerzo máximas.

Considerando la meseta de  $VO_2$  como criterio máximo<sup>13</sup>, podemos observar que el porcentaje de casos de nuestro estudio que alcanza este criterio no llega al 50%, tanto en mL/min como en mL/kg/min. De hecho, a pesar de ser una misma variable ( $VO_2$ ), un criterio (mL/min) se ha alcanzado más que otro (mL/kg/min), lo cual requiere una mínima reflexión. ¿Cómo consideramos si un sujeto ha alcanzado la meseta? ¿Atendiendo sólo uno de los dos criterios? ¿Teniendo en cuenta los dos a la vez? ¿O fijándonos en que, al menos, cumpla una de los dos, sin importar cuál? Si nos fijamos en los

estudios más recientes sobre el tema referidos por Midgley et al<sup>3</sup>, observamos que la referencia más citada es en mL/min. Por otro lado parece razonable que con que se cumpla una de las dos opciones se cumple el criterio de maximalidad para el VO<sub>2</sub>. En este estudio el 47,7% de la muestra cumple los dos criterios mientras que el 51,1% cumple uno de los dos (Figura 1).

Estos resultados son concordantes por los referidos por Day et al<sup>14</sup>, Doherty et al<sup>15</sup> y Howley et al<sup>16</sup> con resultados inferiores al 60%. Otros autores (Froelicher et al<sup>17</sup>; Niemelä et al<sup>18</sup> refieren porcentajes todavía mas bajos (<20%) de meseta de VO<sub>2</sub>. Nos encontramos ante un requisito difícil de alcanzar ya que como señala Wagner et al<sup>10</sup> la meseta ocurre en aquellas personas con una tolerancia al dolor y a la fatiga muy elevada, siendo determinante la motivación del sujeto.

Existen numerosas referencias en la bibliografía que indican que se ha realizado un esfuerzo máximo sin llegar a observarse el fenómeno del “plateau” o meseta<sup>4,17,19,20,21</sup>. En estas situaciones se valoran otros criterios de maximalidad como el cociente respiratorio y la frecuencia cardiaca.

En nuestro estudio el CR es el criterio que más se cumple (77%) seguido de la FC (60%). Algunos autores consideran que el CR es mejor criterio que la FC dada la gran variabilidad interindividual que se observa en la determinación de la frecuencia cardiaca máxima<sup>22</sup>.

### **Criterios de maximalidad en función del ergómetro**

Un 55,7% de los sujetos que realizaron la prueba en cinta alcanzó el criterio de VO<sub>2</sub> (mL/min), mientras que en ciclo solo lo hizo el 43,1% (p=0,098). Sin embargo cuando el VO<sub>2</sub> lo expresamos en mL/kg/min el 54,3% cumplen el criterio de maximalidad en cinta por un 35,4% en ciclo (p=0,02); por lo tanto estos resultados sugieren que el tipo de ergómetro influye en el criterio de maximalidad del VO<sub>2</sub> en mL/kg/min. Es interesante destacar como en función de las unidades en que se exprese el VO<sub>2</sub> los resultados varían. Evidentemente hay otros factores que deberían tenerse en cuenta como el peso y composición corporal, la eficiencia energética o la biomecánica de la carrera o pedaleo que quedan fuera de los objetivos de este estudio. Estos porcentajes, en mL/kg/min, son similares a los referidos por Lucia et al<sup>23</sup> en ciclistas profesionales (47%) y en sedentarios (24%); Doherty et al<sup>15</sup> refieren un 39% aunque con un criterio más exigente (< 1,5 mL/kg/min). Poole et al<sup>24</sup>, en cinta, destacan unos resultados del 62,5 % (< 100 mL/kg). Una vez mas la disparidad de puntos de corte nos impide comparar y discutir los resultados obtenidos por los diferentes autores.

Con el CR ocurre lo contrario. El 68,6 % de los sujetos que realizaron la prueba en cinta cumplió este criterio, mientras que los que lo hicieron en ciclo, fueron el 86% (p=0,012). Es decir, observamos diferencias significativas en este criterio de maximalidad a favor del cicloergómetro. Doherty et al<sup>15</sup> indican un porcentaje del 72% y Lucía et al<sup>23</sup> refieren un 100% de cumplimiento de este

criterio, tanto en el grupo de ciclistas profesionales como sedentarios. Para Poole et al<sup>24</sup> el porcentaje de su muestra que alcanza este criterio es de un 87%.

En cuanto a la FC, de los que hicieron la prueba en cinta cumple este criterio el 71,4%, por el 47,7% ( $p=0,004$ ) que lo realizaron en ciclo, con lo cual podemos determinar que el ergómetro marca diferencias significativas en FC. En ciclo, los resultados son considerablemente inferiores a los de Poole et al<sup>24</sup> (62,5%,) y Lucía et al<sup>23</sup> (68 % sedentarios y 82% deportistas). Sin embargo en cinta, Doherty et al<sup>15</sup> refieren un porcentaje del 55%, sensiblemente inferior al de nuestro estudio.

### **Criterios de maximalidad en función del protocolo**

En relación con el protocolo podemos indicar que los sujetos que realizaron la prueba con protocolo continuo cumplió el criterio de  $VO_2$  (mL/min) el 56,7% por sólo el 31,6% de los que la hicieron con intermitente ( $p=0,007$ ). Valores similares se obtienen si expresamos el  $VO_2$  en mL/kg/min, 51,5% vs 28,9 % ( $p=0,014$ ). Si comparamos estos datos con los de Duncan et al<sup>25</sup> vemos que el protocolo continuo ofrecía un resultado similar (50%), mientras que el intermitente era del (60%), es decir, obtiene valores superiores en el protocolo intermitente al contrario que los obtenidos en este estudio. Esto puede ser debido a que sus pruebas sólo se realizaron con cinta, y el criterio también es diferente ( $< 2,1$  mL/kg/min).

El 73,2% de las personas que hicieron la prueba con protocolo continuo cumple el criterio de CR, frente al 86,8% que lo hicieron en intermitente, ( $p=0,067$ ). El estudio anteriormente mencionado de Duncan et al<sup>25</sup> arroja mejores valores, y eso que su criterio es más exigente ( $CR \geq 1,15$ ), ya que en continuo lo alcanza el 90%, y en intermitente el 100%.

El 54,6% de los que realizaron el protocolo continuo alcanzó el criterio de  $FC_{max}$  teórica, mientras que en intermitente fue el 73,7% ( $p=0,032$ ). Los resultados de Duncan et al<sup>25</sup> sólo alcanzaban el 40 % en continuo y 10% en intermitente. Al utilizar otro criterio de maximalidad en este apartado (100%  $FC_{max}$  teórica) y hacerlo sólo en cinta limita, una vez mas, la comparación de los mismos.

Por tanto, el que se utilice un protocolo continuo o intermitente también influirá en los resultados relativos al cumplimiento de los criterios. Se ha demostrado que hay diferencia significativa en todos ellos, excepto en el caso de CR. Estos resultados contrastan con lo referido por Duncan et al<sup>25</sup> que indican que el logro de varios criterios de  $VO_{2max}$  es independiente del protocolo.

Analizando el número de criterios que pueden darse conjuntamente en una prueba se observa que 25,2% cumplen todos los criterios, mientras que el 93% cumple, al menos, un criterio (Figura 3). La mayoría de los estudios

tienen en cuenta los criterios de forma aislada, aunque, como indica Shephard<sup>21</sup> se deberían utilizar combinaciones de los denominados secundarios para validar ese  $VO_{2max}$ . Un criterio frecuentemente utilizado en la literatura científica para verificar que la prueba de esfuerzo realiza es máxima consiste en verificar que al menos se cumplen dos criterios de maximalidad. Siguiendo esta sugerencias observamos que sólo el 70% de las pruebas podrían considerarse máximas.

El cumplimiento simultáneo de dos de los cuatro criterios analizados es del 70% mientras que si limitamos estos dos criterios a CR y FC el cumplimiento es del 49%. Si añadimos el  $VO_2$ , es decir tres criterios, el cumplimiento es del 28%. Estos resultados demuestran que, si tenemos en cuenta la meseta de  $VO_2$ , sin hacer la distinción de las unidades, hay una leve mejoría del resultado (28% frente al 25% que se producía al cumplir los cuatro criterios).

## CONCLUSIONES

A partir de los resultados y valoraciones realizadas podemos concluir que:

- El fenómeno de la meseta de  $VO_2$  se cumple sólo en el 51% de la muestra estudiada ( $VO_2$  mL/min o mL/kg/min).
- De acuerdo a los criterios de maximalidad establecidos, el 93% de los sujetos cumple uno de ellos, alcanzando únicamente el 25% de la muestra todos los criterios.
- El 70% de los sujetos cumple al menos dos criterios dentro de las posibles combinaciones ( $VO_2$ , FC, CR).
- En la mayoría de los criterios de maximalidad influye el ergómetro observándose diferencias significativas entre ciclo y cinta, salvo el caso del  $VO_2$  en mL/min.
- En el protocolo continuo el fenómeno de la meseta de  $VO_2$  se da con mayor frecuencia que en el protocolo intermitente. Sin embargo los otros dos criterios, CR y FC, son más frecuentes en el protocolo intermitente.
- Creemos que deben revisarse los criterios de maximalidad establecidos en pruebas de esfuerzo teniendo en cuenta el protocolo y el ergómetro seleccionados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

---

1. Hill AV, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Q J Med* 16: 135-171, 1923.

2. Wilmore JH, Costill DL. Physiology of sport and exercise. 3rd edition. Human Kinetics, Champaign IL. p. 271-304, 2004.
3. Midgley Aw, McNaughtom LR, Polman R, Marchant D. Criteria for Determination of Maximal Uptake. A brief Critique and Recommendations for the Future Research. *Sports Med* 37 (12): 1019-1028, 2007.
4. Cumming GR, Borysyk LM. Criteria for maximum oxygen uptake in men over 40 in a population survey. *Med Sci Sports Exerc* 4: 18-22, 1972.
5. Brooks Ga, Fahey TD, White TP, Baldwin KM. Exercise Physiology . Human Bioenergetics and its Applications . 3rd ed . Mayfield Plus Company. 2000 p. 264-271
6. Borg GA. Perceived Exertion. *Exerc Sport Sci Rev* 2:131-153, 1974
7. Bassett DR Jr, Howley ET. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints. *Med Sci Sports Exerc* 29(5): 591-603, 1997.
8. Mitchell JH, Blomqvist G. Maximal oxygen uptake. *N Engl J Med* 284(18): 1018-1022, 1971.
9. Sloniger MA, Cureton KJ, Carrasco DI, Prior BM, Rowe DA, Thompson RW. Effect of the slow-component rise in oxygen uptake on  $\text{VO}_2\text{max}$ . *Med Sci Sports Exerc* 28(1): 72-78, 1996.
10. Wagner PD. New ideas on limitations to  $\text{VO}_2\text{max}$ . *Exerc Sports Sci Rev* 28: 10-14, 2000.
11. Wyndham CH, Strydom NB, Maritz JS, Morrison JF, Peter J, Potgieter ZU. Maximum oxygen intake and maximum HR during strenuous work. *J Appl Physiol* 14: 927-936, 1959.
12. Astrand PO. Aerobic work capacity in men and woman with special reference to age. *Acta Physiol Scand* 49, (supl 169). 1960
13. Taylor HL, Buskirk E, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol* 8: 73-80, 1955.
14. Day JR, Rossiter HB, Coats EM, Skasick A, Whipp BJ. The maximally attainable  $\text{VO}_2$  during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. *J Appl Physiol* 95: 1901-1907, 2003.
15. Doherty M, Nobbs L, Noakes TD. Low frequency of the “plateau phenomenon” during maximal exercise in elite British athletes. *Eur J Appl Physiol*, 89: 619-623, 2003.
16. Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake; review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 27: 1292-1301, 1995.
17. Froelicher VF, Brammell H, Davis G, Noguera I, Steward A, Lancaster MC. A comparison of three maximal treadmill exercise protocols. *J Appl Physiol* 36: 720-725, 1974.

18. Niemelä K, Palatsi I, Takkunen J. The oxygen uptake - work-output relationship of runners during graded cycling exercise: sprinters vs endurance runners. *Br J Sports Med* 14: 204-209, 1980.
19. Glassford RG, Baycroft GH, Sedgwick AW, Macnab RB. Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual methods. *J Appl Physiol* 20: 509-513, 1965.
20. Noakes TD. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc* 20(4): 319-330, 1988.
21. Shephard RJ. Tests of maximum oxygen intake: a critical review. *Sports Med* 1: 99-124, 1984.
22. Davis JA. Direct determination of aerobic power. En: Maud Pj, Foster C. *Physiological assessment of human fitness* (eds). Human kinetics, Champaign (IL). 1995. p. 9-17.
23. Lucía A, Rabadán M, Hoyos J, Hernández-Capilla M, Pérez M, San Juan AF, Earnest CP, Chicharro JL. Frequency of the VO<sub>2</sub>max plateau phenomenon in world-class cyclists. *Int J Sports Med*, 27(12): 984-992, 2006.
24. Poole DC, Wilkerson DD, Jones AM. Validity of criteria for establishing maximal O<sub>2</sub> uptake during ramp exercise tests. *Eur J Appl Physiol* 102: 403-410, 2008.
25. Duncan Ge, Howley ET, Johnson BN. Applicability of VO<sub>2</sub>max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Med Sci Sports Exerc*, 29(2): 273-278, 1997.