



universidad  
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2014/2015

## VALORACIÓN ERGOESPIROMÉTRICA DE CICLISTAS DE DIFERENTES CATEGORIAS

Ergospirometry assessment of cyclists according their level

Autor: Javier Fernández Basanta

Tutores: José A. Rodríguez Marroyo

Fecha: 01/07/2015

VºBº TUTOR

VºBº AUTOR



## ÍNDICE

Resumen .....	2
Abstract.....	3
Introducción .....	4
El consumo máximo de oxígeno.....	4
Consumo máximo de oxígeno y deportes de resistencia.....	7
Consumo máximo de oxígeno y ciclismo.....	9
Consumo máximo de oxígeno como garantía de rendimiento .....	10
Umbral aeróbico y anaeróbico en el ciclismo .....	11
Objetivos.....	13
Metodología .....	14
Sujetos .....	14
Diseño experimental.....	14
Test de laboratorio.....	14
Análisis estadístico .....	15
Resultados.....	16
Discusión .....	22
Conclusiones .....	24
Valoración personal .....	25
Bibliografía.....	26

## RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la cualidad aeróbica de ciclistas de carretera de diferentes categorías, desde la categoría alevín (10-11 años) hasta la categoría élite (>23 años). En el estudio participaron 47 ciclistas pertenecientes a las diferentes categorías (i.e., alevín, infantil, cadete, junior, Sub-23 y élite). Todos ellos fueron sometidos a un test incremental máximo sobre un cicloergómetro en su periodo preparatorio. Además, los ciclistas cadetes y junior realizaron una segunda prueba cuatro meses después, en el periodo competitivo. Los resultados obtenidos mostraron un aumento del  $VO_{2max}$  con la edad, encontrándose diferencias significativas entre las categorías alevín, infantil y cadete ( $\sim 57 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) con los junior ( $\sim 63 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) y los Sub-23 y élite ( $\sim 71 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). También, se obtuvieron diferencias significativas entre los junior y las dos últimas categorías. El  $VO_{2max}$  solo se incrementó tras 4 meses de entrenamiento en la categoría cadete. Las potencias máximas y en los umbrales ventilatorios se modificaron significativamente con el aumento de la categoría y tras 4 meses de entrenamiento en la categoría junior. En conclusión, la potencia parece ser el parámetro más sensible a los cambios de rendimiento de los ciclistas. Las mayores mejoras en el  $VO_{2max}$  ( $\sim 10\%$ ) se establecieron entre la categoría junior y Sub-23, el incremento medio por categoría fue de  $\sim 4\%$ .

*Palabras clave:* Ciclismo, consumo de oxígeno máximo, umbrales ventilatorios, entrenamiento.

**ABSTRACT**

The main aim of this study is to evaluate the road cyclist's aerobic quality in different age category, from U11, to elite cyclists (>23 years). 47 cyclists participated in this study belonging the different categories (U11, U13, Youth, Junior, U23 and Elite). They were subjected to a stress test in cycle ergometer in the beginning of their preparatory period to obtain the different values. Youth and Junior categories participated in another test four months after the first one with the aim of analyzing the changes produced by a training period in maximal oxygen uptake and in ventilatory threshold and respiratory compensation threshold in addition to identify the most sensitive variables to the training. The results show a continuous progression in values like oxygen uptake ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), power (w), ergometric index ( $\text{w}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) with increasing age. In this study we have found significant differences between U23 and Elite with the other categories. The training period between the two tests, to youth and junior categories, showed significant differences in oxygen uptake in first one and in power in second one. So these would be the most sensitive variables in each category.

*Key words:* Cycling, maximal oxygen uptake, ventilatory thresholds, training.

## INTRODUCCIÓN

Es aceptado que el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) es uno de los indicadores de resistencia más importantes. Por ello cobra especial relevancia este parámetro en el contexto de los deportes de resistencia, en los cuales puede tomarse en cuenta como un indicador de rendimiento, ya que siempre se han asociado valores de  $VO_{2max}$  altos con deportistas de resistencia (Robinson et al., 1937 en Joyner y Coyle, 2008). En el ciclismo, como deporte de resistencia que es, este parámetro goza de gran importancia, y está ampliamente estudiado. Existen multitud de estudios que analizan los valores de  $VO_{2max}$  en ciclistas profesionales y de distintas categorías y especialidades. Sin embargo, el número de estudios en ciclistas adolescentes o de categorías inferiores no es tan amplio como podría esperarse. La mayoría de estudios se centran en los ciclistas profesionales, menor porcentaje en amateurs y sub-23 y en menor medida en categoría junior (17-18 años) y cadete (15-16 años). Los estudios referidos a ciclistas alevines e infantiles (11-12 y 13-14 años respectivamente) son muy escasos.

El estudio del  $VO_{2max}$  no tiene una aplicabilidad meramente deportiva sino que es utilizado también en el ámbito de la salud (Fernández-Vaquero, 2006; Lucia et al., 2006; Tsiaras et al., 2010), por lo que puede ser utilizado tanto para la planificación del entrenamiento, como para la captación y selección de talentos, así como para la valoración de la salud y la condición física del sujeto. Por este motivo el conocimiento de este, y otros valores ventilatorios, como los umbrales, son de utilidad para garantizar el correcto desarrollo del adolescente deportista, ajustando el entrenamiento a sus características y observando su estado de salud.

### **El consumo máximo de oxígeno**

El consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2máx}$ ) se define como la cantidad máxima de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo (Fernández-Vaquero, 2006; Lucia, et al., 2006). Este parámetro refleja el límite superior del funcionamiento aeróbico del organismo y muestra la integración efectiva del sistema nervioso central, cardiopulmonar y sistemas metabólicos (Day et al., 2003). El  $VO_{2max}$  pone de manifiesto tanto la capacidad del sistema de aportación de oxígeno, esto es, las partes del organismo cuya finalidad es ofrecer oxígeno a los tejidos y órganos según las necesidades, como la capacidad de utilización y aprovechamiento de ese oxígeno por los tejidos, principalmente el tejido muscular (García-Manso et al., 2006). Es el indicador

principal de la capacidad funcional o de la potencia aeróbica, y se utiliza tanto con atletas como con pacientes de diversas patologías (Fernández-Vaquero, 2006; Lucia et al., 2006). Es utilizado para la evaluación de la eficacia del entrenamiento y para la prescripción de ejercicio aeróbico o, en casos médicos, para evaluar el estado de riesgo de la salud (Tsiaras et al., 2010). El  $VO_{2max}$  depende de varios factores (Fernández-Vaquero, 2006):

- Dotación genética: Puede definir hasta un 70% del  $VO_{2max}$ .
- Edad: El  $VO_{2max}$  aumenta con la edad hasta el intervalo de los 18 a los 25 años, momento en el cual alcanza su máximo. A partir de esa edad se produce un descenso de entorno al 10% del  $VO_{2max}$  por década tanto en varones como en mujeres e independientemente del nivel de actividad física. Algunos de los factores culpables de esta involución son, la pérdida de masa muscular, más acusada en la vejez (sarcopenia), y la reducción del volumen sanguíneo. Peronnet y Thibault (1988) elaboran una tabla en la que aparecen diversos rangos de  $VO_{2max}$  en función de la edad. Según esta información, varones menores de 20 años tendrían un consumo de oxígeno de entre 42-54  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ , siendo el grupo de edad con más altos valores de  $VO_{2max}$ . El siguiente grupo de edad sería el de 20 a 29 años a los que corresponderían 41-51  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ . En esta etapa los valores aún son similares a los de la etapa previa, y es a partir de este grupo de edad cuando empieza a verse un descenso más acelerado en los valores de  $VO_{2max}$ .
- Composición corporal: El  $VO_{2max}$  depende de la cantidad de masa libre de grasa o masa magra. En este sentido, a mayor masa magra mayor  $VO_{2max}$ .
- Sexo: Los valores de  $VO_{2max}$  son mayores en varones que en mujeres para cualquier edad y condición física. Los factores que influyen en la existencia de estas diferencias son la composición corporal, factores de función cardiovascular, factores hormonales y la menor concentración de hemoglobina en las mujeres después de la pubertad. Se le atribuye a la composición corporal una parte importante de las diferencias entre sexos.
- Grado de entrenamiento o acondicionamiento físico: El entrenamiento puede inducir mejoras de hasta un 20% del  $VO_{2max}$  tanto en personas con patologías (cardiópatas) como en atletas de alto nivel.

Durante un esfuerzo máximo el  $VO_2$  alcanza un valor a partir del cual no puede aumentar más. Esto es debido a la existencia de unos mecanismos limitantes que impiden que el valor de  $VO_2$  aumente indefinidamente.

La ley de Fick indica que el  $VO_{2max}$  depende del gasto cardiaco y de la diferencia arteriovenosa de oxígeno.

$$VO_{2max} = GC * (CaO_2 - CvO_2)$$

La limitación del consumo de oxígeno no se debe a un único factor, sino que está determinada por la interacción de factores centrales y periféricos. Lucía et al. (2006) afirman que está generalmente aceptado que el  $VO_{2max}$  está limitado principalmente por 1) el suministro de oxígeno a los músculos, el cual dependerá a su vez del flujo de sangre oxigenada, la capacidad de difusión pulmonar, el gasto cardiaco, el flujo sanguíneo muscular y la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre y 2) la extracción de oxígeno por parte del músculo. Esto representa por un lado la oferta y disponibilidad de oxígeno, los factores centrales y por otro, la capacidad de utilización del mismo, factores periféricos.

#### *Factores centrales*

- En cuanto a la función cardiaca se produce una respuesta de vasoconstricción que reduce la disponibilidad de oxígeno a nivel celular. Por otro lado la función cardiovascular limita la capacidad máxima de ejercicio a causa de una limitación en el aporte de oxígeno al propio miocardio. Además el gasto cardiaco es otro factor relevante que va a influir notablemente en el  $VO_{2max}$ . Basset y Howley (2014) afirman que las variaciones en los valores de  $VO_{2max}$  entre hombres y mujeres sedentarios y entrenados de la misma edad se debe principalmente a la variación en el volumen sistólico máximo. Añaden que algunos estudios longitudinales han demostrado que el entrenamiento induce a un aumento del  $VO_{2max}$  como resultado, principalmente de un incremento en el gasto cardiaco máximo y se estima que un 70-85% de la limitación del  $VO_{2max}$  se debe al gasto cardiaco.
- El sistema respiratorio puede limitar el  $VO_{2max}$  en atletas entrenados en resistencia, con un gasto cardiaco elevado. En estos sujetos el paso de la sangre por el sistema pulmonar se produce de manera muy rápida, no pudiendo realizarse una oxigenación completa de la sangre, lo cual da lugar a disminuciones en la saturación arterial de oxígeno e hipoxemia. En sujetos poco entrenados no aparece esta limitación.



- La capacidad de transporte de oxígeno, dependiente de la concentración de hemoglobina. Un aumento de la concentración de hemoglobina permite aumentos en el  $VO_{2max}$  (Fernández-Vaquero, 2006).

#### *Factores periféricos*

- Masa mitocondrial. En las fibras musculares, las mitocondrias es el sitio donde el oxígeno es consumido en el último paso de la cadena de transporte de electrones (Basset y Howley, 2014). La capacidad de utilización de  $O_2$  en las mitocondrias puede llegar a limitar la potencia aeróbica. Para determinar el  $VO_{2max}$  interactúan la disponibilidad de oxígeno y la capacidad oxidativa mitocondrial. En sujetos no entrenados la capacidad de utilización del  $O_2$  parece ser más limitante que la disponibilidad del mismo.
- Densidad capilar. Una mayor densidad capilar permite mejorar el aporte de oxígeno a los músculos incluso a flujos sanguíneos musculares muy elevados. El entrenamiento de resistencia propicia un aumento en la densidad capilar del músculo esquelético (Fernández-Vaquero, 2006).

### **Consumo máximo de oxígeno y deportes de resistencia**

Es aceptado que valores altos de  $VO_{2max}$  son considerados marcador de rendimiento en especialidades de resistencia. Ya en la década de los treinta se observaron valores altos de  $VO_{2max}$  y se identificaron como marcadores de rendimiento en deportes de resistencia (Robinson et al., 1937 en Joyner y Coyle, 2008). Los valores de  $VO_{2max}$  presentes en deportistas de resistencia de elite pueden llegar a ser entre un 50-100% mayores de los que presenta la población joven con actividad normal, del mismo modo aparecen algunas adaptaciones al entrenamiento que contribuyen a estos elevados valores de  $VO_{2max}$ , como el aumento del volumen sistólico, del volumen de sangre o el aumento de la densidad capilar y mitocondrial en los músculos entrenados (Costill et al., 1976, en Joyner y Coyle, 2008).

Antes de comenzar a analizar los valores de  $VO_{2max}$  que poseen deportistas de nivel en las distintas disciplinas, es importante conocer los valores de la población sedentaria que sirvan de referencia. En este sentido, García-Manso et al. (2006) establecen valores de 40-50  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  para varones adultos jóvenes sedentarios, y de 30-40  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  para el sexo femenino. Fernández-Vaquero (2006) sitúa los valores para sujetos normales entre 35-45  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  para varones y 30-40  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ . Fernández-

Vaquero (2006) aporta datos sobre los valores típicos de  $VO_{2max}$  en diferentes deportes. Los valores son significativamente mayores en los deportes de resistencia, donde destacan las carreras de larga distancia, esquí de fondo ( $75-80 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) y ciclismo ( $70-75 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Después aparecerían los deportes de combate ( $55-65 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), deportes de equipo ( $50-60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), deportes de potencia ( $40-55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) y deportes técnicos acrobáticos ( $45-55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). González y Rubio (1990) ofrecen datos sobre el  $VO_{2max}$  de deportistas de élite españoles de diversas disciplinas. En la clasificación que realizan estos autores deportes de resistencia como el atletismo de fondo ( $71.6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) y el ciclismo ( $75.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) presentan los valores más altos, seguidos por el atletismo de medio fondo ( $67.8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) y el piragüismo en canoa ( $69.4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Por debajo estaría la natación ( $62.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) y el remo ( $61.9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Entre  $50-60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  aparecen el atletismo de velocidad, saltos, baloncesto, gimnasia artística, judo y voleibol. Se observa que los valores de  $VO_{2max}$  son más altos en los deportes considerados, de resistencia. En pruebas de larga duración valores de  $VO_{2max}$  muy altos, se relacionan directamente con el nivel de rendimiento. Esta relación se pone de manifiesto más claramente cuanto mayor es la distancia o duración de la prueba (García-Manso, et al. 2006). En este sentido, Legaz (1997) enumera los valores de  $VO_{2max}$  entre los mejores atletas masculinos españoles para las distintas pruebas de carreras de atletismo. El resultado muestra nuevamente que el aumento de la distancia de la prueba va acompañado de un aumento en los valores de  $VO_{2max}$ , siendo este de  $61.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  en la prueba de 100 m y de  $78.4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  en las pruebas de 5000 y 10000 m.

García Manso, et al. (2006) afirman que el entrenamiento aeróbico específico es la mejor manera de incrementar los valores de  $VO_{2max}$  y alcanzar el potencial máximo de una persona, esto justifica los altos valores hallados en deportistas de resistencia, ya que estos basan su entrenamiento en la cualidad aeróbica. No obstante, señalan la existencia a cierta controversia en cuanto al potencial de mejora de este parámetro. Howard (1996), afirma que se estima un aumento medio de 25-30% cuando se cambia de estilo de vida sedentario a entrenado. Cuando se posee un  $VO_{2max}$  inicial relativamente alto ( $>50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) los cambios se basan en adaptaciones a nivel cardiovascular, como ya afirmamos anteriormente, en especial en el gasto cardiaco. Esto indica que deben emplearse cargas que produzcan adaptaciones en este sentido, cardiovasculares. Cuando el entrenamiento se mantiene durante muchos años el incremento del gasto cardiaco puede ser de un 30-35%, asociándose a un incremento menor de la diferencia arterio-venosa de oxígeno (5-10%). Se produce un aumento del flujo sanguíneo hacia los músculos (40%) por una mayor densidad capilar en estas zonas, lo que permite una mejor absorción del  $O_2$  por

parte de los músculos. El entrenamiento produce también un marcado incremento de las enzimas oxidativas (160%), mejorando los niveles de producción energética (García Manso et al., 2006).

Por otro lado, en el espacio de tiempo que comprende una temporada competitiva la variación del  $VO_{2max}$  es muy escasa, especialmente cuando el deportista tiene varios años de entrenamiento y es considerado de alto nivel (Barbeau et al., 1991; Rusko, 1991). Barbeau et al. (1991), observaron que en siete ciclistas de élite el  $VO_{2max}$  permanecía inalterado tras nueve meses de entrenamiento, mientras que otros seis ciclistas de nivel regional lo vieron mejorado en un 11.4% en el mismo tiempo. Rusko (1991) estudió a 33 esquiadores de fondo durante cuatro años, observando que los esquiadores menores de 17 años habían mejorado su  $VO_{2max}$  en  $9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (de 62 a  $71 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), mientras que los mayores de 19 años solo mejoraron  $1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (de 75 a  $76 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

### **Consumo máximo de oxígeno y ciclismo**

Como hemos visto anteriormente el ciclismo aparece en diferentes estudios como uno de los deportes en los que se dan valores de  $VO_{2max}$  más altos. Mujika y Padilla (2001) aseguran que la alta capacidad aeróbica es una de las características destacadas de los ciclistas profesionales, representada por el  $VO_{2max}$  junto a la potencia máxima. Esto podría estar justificado por las cargas de trabajo que soportarían los ciclistas en la competición y sobretodo en los momentos determinantes de ésta. Durante las etapas llanas, según Mujika y Padilla (2001), los ciclistas pasan un 70% del tiempo por debajo del 70% de  $VO_{2max}$ , un 25% entre 70-90%  $VO_{2max}$  y un 5% por encima del 90%  $VO_{2max}$ . En las etapas contrarreloj y en las de montaña, sobre todo en las ascensiones de los puertos de mayor dureza, estos autores informan que los ciclistas pueden llegar a demandar intensidades en torno y por encima del 90% del  $VO_{2max}$  durante largos periodos de tiempo (incluso por encima de los 60 min) (Mujika y Padilla, 2001; Lucia et al., 2001; Santalla et al., 2012).

Varios estudios sitúan los valores de  $VO_{2max}$  de los ciclistas profesionales entre 70-80  $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (Santalla et al., 2012; Mujika y Padilla, 2001; Lucia et al., 2001). Los valores más elevados de  $VO_{2max}$  se corresponden con los especialistas en montaña, escaladores (Sallet et al., 2006; Mujika y Padilla, 2001; Santalla et al., 2012). Además Santalla et al. (2012) sugieren que para ganar el Tour de Francia es necesario un  $VO_{2max}$  mínimo de 80  $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

En ciclistas pertenecientes a categorías inferiores también se ha estudiado este parámetro fisiológico. En la categoría juvenil (17-18 años) de igual modo que en profesionales existe relación entre el  $VO_{2max}$  y el rendimiento (Menaspà et al., 2012). Los valores de  $VO_{2max}$  en esta categoría se sitúan entre  $62-69 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (Rodríguez-Marroyo et al., 2011; Menaspà et al., 2012). Para ciclistas de categoría cadete (14-15 años) se han descrito valores en torno a los  $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (Rodríguez-Marroyo et al., 2011; Montfort-Steiger et al., 2005). Si analizamos las demandas fisiológicas competitivas para estas categorías observamos que el tiempo de ejercicio en zonas 1 y 2 es inferior al de ciclistas profesionales debido a la menor distancia de las carreras, que permite mantener mayor porcentaje de tiempo altas intensidades (Rodríguez-Marroyo et al., 2011).

### **Consumo máximo de oxígeno como garantía de rendimiento**

Por lo visto anteriormente podemos afirmar que el  $VO_{2max}$  es un parámetro que aparece en el ciclismo con valores altos respecto a otros deportes, y es por tanto un factor relevante en la determinación del rendimiento de los ciclistas. No obstante, un  $VO_{2max}$  alto no es una garantía de rendimiento en ciclistas, sino un requisito mínimo. Otro factor de gran importancia en el ciclismo, junto al  $VO_{2max}$  es el umbral anaeróbico. El umbral anaeróbico ha sido descrito por Wasserman (1967) como *“la intensidad de ejercicio o de trabajo físico por encima de la cual empieza a aumentar de forma progresiva la concentración de lactato en sangre a la vez que la ventilación se intensifica también de una manera desproporcionada con respecto al oxígeno consumido”*. Faria et al., (2005b) lo describe como el estado estable de intensidad de trabajo más alto posible que puede ser mantenido en el tiempo durante periodos prolongados, siendo un excelente índice de resistencia. Wasserman (1967) considera que se trata de un indicador de la capacidad del sistema cardiovascular para aportar oxígeno a un ritmo adecuado para evitar anaerobiosis muscular durante el ejercicio. El  $VO_{2max}$  indica el estado del sistema de aportación de oxígeno pero no siempre es determinante en la consecución de mejores rendimientos en esfuerzos de cierta intensidad, en especial cuando el deportista lleva mucho tiempo entrenando. El porcentaje de  $VO_{2max}$  correspondiente al umbral anaeróbico es considerablemente alto en ciclistas profesionales (~90%) mientras que en sujetos sedentarios este se encuentra al 50-60%. Este parámetro, el umbral anaeróbico, representa un importante factor de rendimiento en pruebas de resistencia. Para valores similares de  $VO_{2max}$  el umbral anaeróbico determina que deportistas tendrá más opciones de rendimiento. Si por ejemplo, comparamos a dos deportistas con  $VO_{2max}$  67 y  $70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$

$l \cdot \text{min}^{-1}$  respectivamente, podemos pensar en un principio que el segundo tendrá ventaja sobre el primero, pero si observamos sus umbrales anaeróbicos y nos percatamos de que el primero lo tiene al 97% ( $64.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) y el segundo al 90% ( $63 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) vemos que la ventaja es para el primero (García Manso et al. 2006). En las pruebas más duras (montaña y contrarreloj), obtener un buen rendimiento pasa por tolerar un nivel de intensidad cercano o superior al umbral anaeróbico durante periodos prolongados de tiempo (Lucía et al., 2000). El valor de este parámetro muestra una alta correlación con los rendimientos en pruebas de media, y sobre todo, larga distancia. Además resulta de gran utilidad para el control de las cargas de entrenamiento. No obstante, el  $\text{VO}_{2\text{max}}$  es un parámetro útil en la captación de talentos, debido a que depende en mayor medida de aspectos genéticos que los umbrales ventilatorios, los cuales son más sensibles al entrenamiento.

### **Umbrales aeróbico y anaeróbico en el ciclismo**

Diferentes autores han sugerido la utilización del umbral anaeróbico como índice de rendimiento en los deportes de resistencia debido a que es la mayor carga de trabajo en estado estable que se puede mantener durante un tiempo prolongado (Sjodin y Jacobs, 1981; Sjodin y Svedenhag, 1985). Además, tanto la potencia como el  $\text{VO}_2$  obtenidos en el umbral anaeróbico se han correlacionado con el rendimiento, ayudando a predecir éste en ciclistas con similares potencias aeróbicas máximas (Coyle et al., 1991; Baron, 2001; Faria et al., 2005a). Hoy en día, la mayor sensibilidad que tienen los umbrales ventilatorios frente a otras variables para identificar los cambios producidos en el estado de forma de los ciclistas (Lucía et al., 2000; Zapico et al., 2007) hace necesario su control y análisis. Los ciclistas profesionales alcanzan los umbrales a un alto porcentaje de su  $\text{VO}_{2\text{max}}$  (~70 y ~90% en el umbral aeróbico y anaeróbico, respectivamente) (Lucía et al., 1998, 1999, 2002; Rodríguez-Marroyo et al., 2003, 2007; Zapico et al., 2007) y de su potencia aeróbica máxima (~80 y ~90% en el umbral aeróbico y anaeróbico, respectivamente) (Mújika y Padilla, 2001). Obtener el umbral anaeróbico a un alto porcentaje del  $\text{VO}_{2\text{max}}$  se ha indicado como una ventaja para el rendimiento de los ciclistas en las ascensiones de los puertos de montaña que conllevan una duración de 30-60 min (Padilla et al., 1999; Lucía et al., 1999). Además, se ha analizado que los ciclistas pueden permanecer en algunas etapas de las grandes vueltas ciclista a intensidades entorno al umbral ventilatorio anaeróbico durante ~60 min (Lucía et al., 2000). Tanto el umbral aeróbico como el anaeróbico pueden ser indicadores del nivel de rendimiento de los ciclistas (Rodríguez-Marroyo et al., 2007). Lucía et al. (1998)

encontraron que los ciclistas profesionales ( $\sim 65\%$   $VO_{2max}$  y  $\sim 3.8$   $W \cdot kg^{-1}$  en el umbral aeróbico, y  $\sim 87\%$   $VO_{2max}$  y  $\sim 5.5$   $W \cdot kg^{-1}$  en el umbral anaeróbico) alcanzaban sus umbrales ventilatorios a un porcentaje del  $VO_{2max}$  y a una potencia mayor que los ciclistas aficionados o amateur ( $\sim 62\%$   $VO_{2max}$  y  $\sim 3.5$   $W \cdot kg^{-1}$  en el umbral aeróbico, y  $\sim 80\%$   $VO_{2max}$  y  $\sim 5.0$   $W \cdot kg^{-1}$  en el umbral anaeróbico), pudiendo ser esta una de las causas del mayor rendimiento de los ciclistas profesionales. La identificación de los umbrales ventilatorios no parece discriminar entre el grado de especialización de los ciclistas. Lucía et al. (2000) no encontraron diferencias significativas al comparar los valores a los que se identificaron los umbrales aeróbico y anaeróbico en ciclistas escaladores y contrarrelojistas. Por el contrario, Sallet et al. (2006) encontraron que el umbral anaeróbico en rodadores aparecía a un mayor porcentaje del  $VO_{2max}$  ( $\sim 89\%$   $VO_{2max}$ ) que el analizado en escaladores ( $\sim 85\%$   $VO_{2max}$ ). Sin embargo, el mayor  $VO_{2max}$  analizado por estos autores en los escaladores ( $\sim 78$  vs.  $\sim 73$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) hace que los valores de  $VO_2$  en el umbral anaeróbico sean similares ( $\sim 67$  vs.  $\sim 65$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  en escaladores y rodadores, respectivamente).

## OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio ha sido valorar la cualidad aeróbica, a través de una prueba ergoespirométrica máxima, en ciclistas de diferentes categorías (alevines, infantiles, cadetes, junior, Sub-23 y élite).

Además, se plantearon los siguientes objetivos secundarios del trabajo:

- Analizar la evolución del consumo máximo de oxígeno en función de la edad de los ciclistas.
- Analizar las modificaciones de los umbrales ventilatorios en función de la categoría de los ciclistas.
- Analizar los cambios del consumo máximo de oxígeno y de los umbrales ventilatorios en la categoría cadete y junior tras un periodo de entrenamiento.
- Identificar las variables ergoespirométricas que son más sensibles al nivel de los ciclistas.

## MÉTODOLOGÍA

### Sujetos

En el estudio participaron 47 ciclistas de nivel regional y nacional. Los ciclistas fueron divididos en función de su edad y según las categorías establecidas por la Real Federación Española de Ciclismo: alevines ( $n= 6$ ,  $10.3\pm 0.5$  años,  $34.9\pm 5.6$  kg,  $142.0\pm 7.3$  cm), infantiles ( $n= 7$ ,  $13.2\pm 0.4$  años,  $54.7\pm 8.2$  kg,  $163.2\pm 8.9$  cm), cadetes ( $n= 10$ ,  $15.0\pm 0.7$  años,  $61.9\pm 8.2$  kg,  $172.3\pm 6.9$  cm), junior ( $n= 10$ ,  $16.7\pm 0.6$  años,  $65.6\pm 6.6$  kg,  $175.1\pm 7.2$  cm), Sub-23 ( $n= 8$ ,  $19.7\pm 1.4$  años,  $66.0\pm 6.5$  kg,  $176.4\pm 6.4$  cm) y élite ( $n= 6$ ,  $26.6\pm 4.2$  años,  $63.2\pm 3.3$  kg,  $167.6\pm 5.4$  cm). Antes de iniciar el estudio los ciclistas y sus tutores, en el caso de los menores de edad, fueron informados del objetivo y de la metodología del mismo, obteniendo su participación voluntaria y su consentimiento por escrito.

### Diseño experimental

El estudio fue realizado durante la presente temporada 2014-2015. Los ciclistas acudieron al laboratorio de Valoración de la Condición Física del Departamento de Educación Física y Deportiva en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte en su periodo preparatorio, entre los meses de febrero-abril. Todos los ciclistas realizaron un test incremental máximo con análisis de gases para valorar su cualidad aeróbica. La capacidad aeróbica de los ciclistas fue valorada utilizando su  $VO_{2max}$  y la resistencia aeróbica determinando los umbrales ventilatorios. Los ciclistas cadetes y junior fueron sometidos a una segunda evaluación, después de aproximadamente 4 meses de entrenamiento, en su periodo competitivo (i.e., meses de junio y julio) para determinar influencia del entrenamiento en los parámetros estudiados.

### Test de laboratorio

El test incremental se realizó sobre un ergómetro Lode Corival para las categorías alevín e infantil y sobre un ergómetro Lode Excalibur Sport (Lode Medical Technology, Groningen, The Netherlands) para el resto de las categorías analizadas. Este cambio de ergómetro se realizó para poder ajustar correctamente las dimensiones del mismo a las características antropométricas de los sujetos. El test se inició a una potencia de 25, 50 y



75 W para la categoría alevín, infantil y para el resto de categorías, respectivamente. La potencia se aumentó en 10, 15 y 25 W en la categoría alevín, infantil y para el resto de categorías hasta que los ciclistas no pudieron mantener la carga de trabajo fijada. Este punto se determinó cuando la cadencia de pedaleo de los sujetos descendió por debajo de las 60 rpm. Durante toda la prueba se monitorizó la frecuencia cardíaca (FC) (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy, Finland) cada 5 s y los gases respirados respiración a respiración (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Belgium). Las condiciones del laboratorio (~21°C y ~30% de humedad relativa) y la duración del calentamiento (10 min entre 25-75 W) se estandarizaron para todos los ciclistas. A su vez se recomendó a los sujetos realizar el día anterior a la prueba un entrenamiento ligero y una dieta rica en hidratos de carbono.

Las variables analizadas en el test fueron la potencia y FC máxima y el  $VO_{2max}$ . Se consideró como  $VO_{2max}$  al valor máximo obtenido al promediar los datos cada 30 s. Además, se determinaron los umbrales ventilatorios a tendiendo a la metodología descrita por Davis (1985). El criterio utilizado para determinar el umbral ventilatorio (VT) fue el incremento de la ventilación (VE), el equivalente ventilatorio del oxígeno ( $VE \cdot VO_2^{-1}$ ) y de la presión end-tidal de oxígeno ( $PET_{O_2}$ ) sin el aumento concomitante del equivalente ventilatorio del dióxido de carbono ( $VE \cdot VCO_2^{-1}$ ), y la segunda ruptura de la linealidad de la VE, el aumento del  $VE \cdot VO_2^{-1}$  con un incremento paralelo del  $VE \cdot VCO_2^{-1}$  y la disminución de la presión end-tidal del dióxido de carbono ( $PET_{CO_2}$ ) para hallar el umbral de compensación respiratoria (RCT).

### **Análisis estadístico**

Los resultados se expresan como media  $\pm$  desviación estándar (*SD*). Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de la muestra. Las variables obtenidas en el test incremental en función de la categoría de los ciclistas (alevín, infantil, cadete, junior, Sub-23 y élite) se analizaron usando un análisis de la varianza (ANOVA). Cuando se obtuvo un valor *F* significativo, se aplicó el test de Bonferroni para establecer las diferencias significativas entre medias. La comparación de los resultados obtenidos en el test realizado en el periodo preparatorio y en el periodo competitivo en la categoría cadete y junior fue realizada usando una *t* de student para muestras relacionadas. Valores de  $p < 0.05$  fueron considerados como estadísticamente significativos. El software estadístico SPSS+ v.19.0 fue usado para este análisis.

## RESULTADOS

No se obtuvieron diferencias significativas entre el  $VO_{2max}$  analizado en la categoría alevín, infantil y cadete, ni entre los valores obtenidos en los ciclistas aficionados. Sin embargo, en estas categorías inferiores se obtuvieron los valores más bajos ( $p < 0.05$ ) frente a los obtenidos en los junior, Sub-23 y élite. Del mismo modo, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los junior y los ciclistas aficionados (Tabla 1). La potencia máxima analizada, tanto en valores absolutos como relativos, se incrementó significativamente ( $p < 0.05$ ) con el aumento de la categoría hasta la categoría Sub-23 (Tabla 1).

En la Tabla 2 y 3 se muestran los valores obtenidos en el RCT y VT, respectivamente. La potencia a la que se determinaron los umbrales ventilatorios se comportó de la misma manera que la potencia máxima. Los valores se fueron incrementando ( $p < 0.05$ ) con la edad de los ciclistas hasta la categoría Sub-23. El porcentaje al que aparecieron los umbrales ventilatorios con respecto al  $VO_{2max}$  y  $FC_{max}$  fue similar en todas las categorías (Tabla 2 y 3).

Cuando se analizó el efecto que tuvo el periodo de entrenamiento de aproximadamente 4 meses en los valores ergoespirométricos obtenidos, únicamente se obtuvieron mejoras ( $p < 0.05$ ) en el  $VO_{2max}$  en la categoría cadete (Tabla 4) y en los valores de potencia máxima, en el RCT y VT en la categoría junior (Tabla 5). No se encontraron diferencias significativas en las frecuencias cardiacas a las que se determinaron los umbrales ventilatorios (Tabla 4 y 5).

Tabla 1. Parámetros máximos (media±SD) alcanzados en la prueba incremental máxima en función de la categoría de los ciclistas.

	Alevín	Infantil	Cadete	Junior	Sub-23	Élite
VO <sub>2max</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	53.5±6.6‡\$#	58.7±3.7‡\$#	60.9±6.2‡\$#	63.3±6.6\$#	69.9±4.4	72.6±5.1
Potencia (W)	133.0±27.3*†‡\$#	253.1±43.6‡\$#	288.5±52.8‡\$#	328.3±58.4\$#	395.5±51.7	408.9±77.8
Potencia (W·kg <sup>-1</sup> )	3.9±0.8*†‡\$#	4.6±0.3‡\$#	4.7±0.8‡\$#	5.0±0.9\$#	6.0±0.7	6.3±0.9
Frecuencia cardíaca (ppm)	200±9	202±5	195±8	194±8	192±8	193±9

VO<sub>2max</sub>, consumo de oxígeno máximo. \*, diferencias significativas con la categoría infantil ( $p<0.05$ ). †, diferencias significativas con la categoría cadete ( $p<0.05$ ). ‡, diferencias significativas con la categoría junior ( $p<0.05$ ). \$, diferencias significativas con la categoría Sub-23 ( $p<0.05$ ). #, diferencias significativas con la categoría élite ( $p<0.05$ ).

Tabla 2. Parámetros (media±SD) analizados en el umbral de compensación respiratoria en función de la categoría de los ciclistas.

	Alevín	Infantil	Cadete	Junior	Sub-23	Élite
VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	46.3±9.0\$#	48.2±3.3\$#	50.6±6.0\$#	51.9±6.7\$#	57.7±4.9	60.3±5.4
Porcentaje de VO <sub>2max</sub> (%)	86.0±6.9	82.1±1.7	83.1±5.4	81.9±6.1	82.8±4.8	83.0±3.8
Potencia (W)	103.5±14.4*†‡\$#	194.4±41.0†‡\$#	226.8±43.9†‡\$#	257.1±46.4\$#	321.4±38.6	322.4±68.4
Potencia (W·kg <sup>-1</sup> )	3.0±0.6*†‡\$#	3.5±0.4†‡\$#	3.7±0.7†‡\$#	3.9±0.7\$#	4.8±0.6	5.0±0.7
Frecuencia cardiaca (ppm)	183±11	181±5	181±8	179±8	178±7	177±8
Porcentaje de FC <sub>max</sub> (%)	90.8±2.0	89.9±2.1	92.5±2.6	91.5±8.3	92.5±2.2	91.7±2.4

VO<sub>2</sub>, consumo de oxígeno; FC, frecuencia cardiaca. \*, diferencias significativas con la categoría infantil ( $p<0.05$ ). †, diferencias significativas con la categoría cadete ( $p<0.05$ ). ‡, diferencias significativas con la categoría junior ( $p<0.05$ ). \$, diferencias significativas con la categoría Sub-23 ( $p<0.05$ ). #, diferencias significativas con la categoría élite ( $p<0.05$ ).

Tabla 3. Parámetros (media±SD) analizados en el umbral ventilatorio en función de la categoría de los ciclistas.

	Alevín	Infantil	Cadete	Junior	Sub-23	Élite
VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	32.0±7.1\$#	33.8±2.3\$#	39.2±5.2\$#	40.1±5.7\$#	45.9±5.5	45.4±5.7
Porcentaje de VO <sub>2max</sub> (%)	59.5±7.4	57.7±3.0	64.4±6.5	63.5±7.4	65.9±7.1	62.4±6.2
Potencia (W)	65.0±12.5*†‡\$#	115.8±28.9†‡\$#	161.5±34.1‡\$#	183.6±34.1\$#	233.7±30.7	232.4±52.7
Potencia (W·kg <sup>-1</sup> )	1.9±0.6†‡\$#	2.1±0.2†‡\$#	2.6±0.6‡\$#	2.8±0.5\$#	3.5±0.5	3.6±0.6
Frecuencia cardiaca (ppm)	164±16	160±8	159±10	158±10	156±8	157±8
Porcentaje de FC <sub>max</sub> (%)	76.5±5.1	73.8±2.3	81.6±4.1	81.3±4.5	81±4.5	81.0±3.3

VO<sub>2</sub>, consumo de oxígeno; FC, frecuencia cardiaca. \*, diferencias significativas con la categoría infantil ( $p<0.05$ ). †, diferencias significativas con la categoría cadete ( $p<0.05$ ). ‡, diferencias significativas con la categoría junior ( $p<0.05$ ). \$, diferencias significativas con la categoría Sub-23 ( $p<0.05$ ). #, diferencias significativas con la categoría élite ( $p<0.05$ ).

Tabla 4. Evolución de las variables analizadas (media $\pm$ SD) en la prueba incremental máxima tras 4 meses de entrenamiento en los ciclistas cadetes.

	Primera prueba	Segunda prueba
<i>Valores máximos</i>		
VO <sub>2max</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	60.1 $\pm$ 6.1*	63.2 $\pm$ 6.0
Potencia (W)	293.1 $\pm$ 56.4	279.4 $\pm$ 36.3
Potencia (W·kg <sup>-1</sup> )	4.7 $\pm$ 0.9	4.6 $\pm$ 0.5
Frecuencia cardíaca (ppm)	196 $\pm$ 8	195 $\pm$ 10
<i>Valores en el umbral de compensación respiratoria</i>		
VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	49.9 $\pm$ 5.8*	52.6 $\pm$ 6.2
Porcentaje de VO <sub>2max</sub> (%)	83.1 $\pm$ 5.7	83.1 $\pm$ 4.6
Potencia (W)	228.1 $\pm$ 47.8	222.6 $\pm$ 28.3
Potencia (W·kg <sup>-1</sup> )	3.7 $\pm$ 0.7	3.6 $\pm$ 0.5
Frecuencia cardíaca (ppm)	181 $\pm$ 8	181 $\pm$ 9
Porcentaje de FC <sub>max</sub> (%)	92.4 $\pm$ 2.5	92.8 $\pm$ 3.2
<i>Valores en el umbral ventilatorio</i>		
VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	38.4 $\pm$ 5.3*	41.5 $\pm$ 4.3
Porcentaje de VO <sub>2max</sub> (%)	64.0 $\pm$ 7.0	65.7 $\pm$ 4.5
Potencia (W)	164.7 $\pm$ 36.8	161.1 $\pm$ 24.2
Potencia (W·kg <sup>-1</sup> )	2.6 $\pm$ 0.6	2.6 $\pm$ 0.4
Frecuencia cardíaca (ppm)	159 $\pm$ 10	160 $\pm$ 10
Porcentaje de FC <sub>max</sub> (%)	81.5 $\pm$ 4.1	82.2 $\pm$ 3.9

VO<sub>2</sub>, consumo de oxígeno; FC, frecuencia cardíaca. \*, diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Tabla 5. Evolución de las variables analizadas (media $\pm$ SD) en la prueba incremental máxima tras 4 meses de entrenamiento en los ciclistas junior.

	Primera prueba	Segunda prueba
<i>Valores máximos</i>		
VO <sub>2max</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	63.0 $\pm$ 6.6	64.3 $\pm$ 6.6
Potencia (W)	322.2 $\pm$ 55.2*	348.3 $\pm$ 64.8
Potencia (W·kg <sup>-1</sup> )	4.9 $\pm$ 0.9*	5.3 $\pm$ 0.9
Frecuencia cardíaca (ppm)	193.9 $\pm$ 8.5	194.3 $\pm$ 6.3
<i>Valores en el umbral de compensación respiratoria</i>		
VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	51.6 $\pm$ 6.9	52.7 $\pm$ 6.2
Porcentaje de VO <sub>2max</sub> (%)	81.9 $\pm$ 6.5	82.0 $\pm$ 5.1
Potencia (W)	251.2 $\pm$ 42.1*	276.3 $\pm$ 54.8
Potencia (W·kg <sup>-1</sup> )	3.8 $\pm$ 0.7*	4.2 $\pm$ 0.8
Frecuencia cardíaca (ppm)	179 $\pm$ 9	179 $\pm$ 8
Porcentaje de FC <sub>max</sub> (%)	92.2 $\pm$ 2.7	89.1 $\pm$ 16.5
<i>Valores en el umbral ventilatorio</i>		
VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	39.9 $\pm$ 6.0	40.7 $\pm$ 4.9
Porcentaje de VO <sub>2max</sub> (%)	63.4 $\pm$ 7.7	63.6 $\pm$ 6.3
Potencia (W)	178.7 $\pm$ 30.6*	199.6 $\pm$ 40.1
Potencia (W·kg <sup>-1</sup> )	2.7 $\pm$ 0.5*	3.1 $\pm$ 0.5
Frecuencia cardíaca (ppm)	158 $\pm$ 10	156 $\pm$ 11
Porcentaje de FC <sub>max</sub> (%)	81.6 $\pm$ 4.4	80.3 $\pm$ 4.8

VO<sub>2</sub>, consumo de oxígeno; FC, frecuencia cardíaca. \*, diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

## DISCUSIÓN

En base a los datos obtenidos podemos establecer una serie de conclusiones en cuanto a las diferencias entre ciclistas de distintas categorías de edad y en cuanto a la evolución de los diferentes parámetros fisiológicos estudiados.

El principal objetivo del estudio era analizar la evolución del  $VO_{2max}$  medio en función de la edad de los participantes. Mediante las pruebas de valoración realizadas obtenemos una progresión de la evolución de este parámetro con la edad. Los resultados establecen una media de  $VO_{2max}$  para categorías alevín (10 y 11 años) e infantil (12-13 años) de  $53.5 \pm 6.6$  y  $58.7 \pm 3.7$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  respectivamente, que aún siendo las medias más bajas de las estudiadas, se sitúan por encima de la media de este parámetro para la población de varones adultos sedentarios, según García Manso et al. (2006), que lo establecían entre 40-50  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ , y de los establecidos por Fernández Vaquero (2006), 35-45  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ . Esto demuestra una vez más que el entrenamiento regular de un deporte de resistencia como el ciclismo produce un aumento del  $VO_{2max}$ . Observamos que no hay diferencias significativas entre las categorías alevín, infantil, cadete y junior, pero sí entre estas y las categorías sub-23 y élite. Por otro lado los valores de  $VO_{2max}$  obtenidos para la categoría junior ( $63.3 \pm 6.6$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ), coinciden con los obtenidos por Menaspà et al. (2012), que describe valores en torno a 65  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ . De igual forma los valores para la categoría élite ( $72.6 \pm 5.1$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) son similares a los obtenidos por Lucía et al., (1998) ( $72.9 \pm 5.7$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ).

En cuanto al parámetro de potencia, observamos un importante escalón entre la categoría alevín e infantil (alevín=  $133.0 \pm 27.3$ ; infantil=  $253.1 \pm 43.6$  W). Esta diferencia aparece tanto en datos absolutos como relativos (Alevín  $3.9 \pm 0.8$ ; Infantil  $4.6 \pm 0.3$ ). Esto aclara que la diferencia en la producción de fuerza no se debe a la diferencia de peso sino a la edad y al menor desarrollo de los sujetos de esta categoría. Una vez más las categorías sub-23 y élite muestran valores similares entre sí. Si comparamos este estudio con el de Menaspà et al., (2012), observamos diferencias significativas en la categoría junior, donde este autor describe potencias relativas de en torno a los 6  $W \cdot kg^{-1}$ . Si coinciden los datos de potencia relativizados al peso para la categoría élite con los obtenidos por Lucía et al., (1998), que los sitúa en  $6.4 \pm 0.5$   $W \cdot kg^{-1}$ .

Analizando el momento de aparición de los umbrales tanto el VT como el RCT aparecen en valores más altos tanto de potencia como de  $VO_{2max}$  a medida que aumenta la edad. Sin embargo, no se encuentran diferencias significativas entre las categorías alevín, infantil,



cadete y junior, pero sí entre estas y las categorías de aficionados, sub-23 y élite. Esto ocurre para valores de la potencia absoluta como relativa. Ni la frecuencia cardiaca ni el porcentaje de la frecuencia cardiaca máxima a la que aparecen el RCT y el VT muestran diferencias significativas

En cuanto a las pruebas realizadas a cadetes y juveniles en dos momentos distintos de la temporada, observamos que tras cuatro meses de entrenamiento se producen mejoras significativas en el  $VO_{2max}$  en cadetes y en la potencia en juveniles. Observamos que en los más jóvenes se producen mayores mejoras en el  $VO_{2max}$  ( $60.1 \pm 6.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $63.2 \pm 6.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) que en la potencia ( $4.7 \pm 0.9 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $4.6 \pm 0.5 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) donde incluso se observa un pequeño descenso. Mientras en los de mayor edad, la mejoría en el consumo de oxígeno no es significativa ( $63.0 \pm 6.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $64.3 \pm 6.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) y sí lo es en cuanto a potencia desarrollada ( $4.9 \pm 0.9 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $5.3 \pm 0.9 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Además, sendos cambios,  $VO_{2max}$  en cadetes y potencia en junior, vienen acompañados de un aumento en el valor de cada parámetro para el cual aparecen tanto RCT como VT.

## CONCLUSIONES

- El  $VO_{2max}$  de los ciclistas aumentó a lo largo de los años de entrenamiento. Se analizó un incremento medio de ~4% por categoría, destacando el paso de la categoría junior a la Sub-23 donde se produjo un mayor incremento, ~10%. Por ello, parece esta una etapa crucial para el entrenamiento de dicha variable. En categorías inferiores, como la cadete, el estímulo de 4 meses de entrenamiento parece ser suficiente para mejorar el  $VO_{2max}$ . Sin embargo, a partir de esta categoría donde el valor de este parámetro es mayor ( $>60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) su mejora necesita periodos de entrenamiento más largos, posiblemente las mejoras se establezcan con el paso de los años.
- La potencia parece ser el parámetro más sensible a los cambios de rendimiento producidos por el aumento de categoría de los ciclistas. Tanto las potencias máximas como las analizadas en los umbrales ventilatorios aumentaron con el cambio de categoría hasta la categoría Sub-23. Además, estas variables también se mostraron sensibles al aumento del rendimiento de los ciclistas en la propia temporada en la categoría junior.
- El porcentaje al que aparecen los umbrales, tanto en función del  $VO_{2max}$  como de la  $FC_{max}$ , fueron similares entre las distintas categorías y dentro de la misma categoría (i.e., cadete y junior) en dos momentos diferentes de la temporada. Desde el punto de vista práctico este hallazgo puede ser una herramienta muy útil para la planificación del entrenamiento cuando los ciclistas no puedan realizar test para determinar precisamente los umbrales. De este modo el VT y el RCT se situarían aproximadamente al 80 y 90% de la  $FC_{max}$ , respectivamente.

## VALORACIÓN PERSONAL

Personalmente creo que la realización de este trabajo me ha aportado una experiencia muy positiva. Me ha permitido poner en práctica conocimientos que he ido adquiriendo durante los cuatro años de carrera. Además durante la elaboración de este trabajo se han desarrollado algunas competencias propias del grado en Ciencias de la Actividad Física y Deporte como:

- Conocer y comprender los efectos y los factores fisiológicos y biomecánicos que condicionan la práctica de la actividad física y del deporte.
- Aplicar los principios fisiológicos, biomecánicos, comportamentales y sociales a los diferentes campos de la actividad física y del deporte.
- Comprender la literatura científica del ámbito de la actividad física y del deporte.

Además esta experiencia me ha proporcionado la oportunidad de acercarme a la actividad en un laboratorio de fisiología deportiva y al campo de la investigación y elaboración de estudios relativos al deporte, con pruebas de laboratorio, mediciones y valoración de la condición física en general.

Durante el grado había realizado varios trabajos de investigación, pero ninguno tan exhaustivo como este. Se trataba simplemente de temas concretos y ya estudiados, y por tanto todo lo que hacía era una revisión bibliográfica. En este caso se me ha dado la oportunidad de obtener mis propios datos, y valorarlos, analizarlos y discutirlos.

Esto me ha permitido aumentar ampliamente mi capacidad para realizar búsquedas de literatura científica, obtención y análisis de datos, planificación y organización... En general este trabajo me ha aportado muchos beneficios en el plano académico entre otras cosas por darme cierta libertad para organizar, buscar, redactar y analizar, siempre con la supervisión de mi tutor, que por otro lado siempre se ha mostrado dispuesto a ayudarme y compartir conmigo su tiempo y conocimiento.

Como conclusión final, se ha tratado de una experiencia muy positiva por la posibilidad de entrar en la dinámica del laboratorio, captación de sujetos, realización de pruebas, análisis y discusión de los resultados, etc.

---

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Barbeau P., Serresse, O., Giroux, M., y Boulay, M.R. (1991) The usefulness of  $VO_{2max}$  in charting the progress of elite and non elite cyclist during training and competition season. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 23:S9.
2. Baron R. (2001) Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 33:1387-1393.
3. Bassett, D.R., y Howley, E.T., (1997). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 32(1): 70-84.
4. Coyle E.F., Feltner M.E. y Kautz S.A. (1991) Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine Science Sports Exercise*. 23:93-107.
5. Davis J.A. (1985) Anaerobic threshold: a review of the concept and directions for future research. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 17:6-18.
6. Day, J.R., Rossiter, H.B., Coats, E.M., Skasick, A., y Whipp, J. (2003) The maximally attainable  $VO_2$  during exercise in humans: the peak vs. Maximum issue. *Journal Applied Physiology*. 95: 1901-1907.
7. Faria E.W., Parker D.L. y Faria I.E. (2005a) The science of cycling: factors affecting performance – part II. *Sports Medicine*. 35:313-337.
8. Faria, E.W., Parker, D.L., Faria, I.E. (2005b) The science of cycling: physiology and training– part I. *Sports Medicine*. 35(4): 285-312.
9. Fernández-Vaquero, A. (2006) Consumo de oxígeno: concepto, bases fisiológicas y aplicaciones. En López-Chicharro, J. y Fernández-Vaquero, A. (Eds.) *Fisiología del ejercicio* (pp. 405-415). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
10. García-Manso, J. M., Vitoria, M., Navarro, F., & Legido, J. C. (2006). *La resistencia desde la optica de las ciencias aplicadas al entrenamiento deportivo*. España: Grada Gymnos Editorial Deportiva
11. González, M.; Rubio, S. (1990). Valores ergoespirométricos en deportistas españoles de élite. *Revista de Investigación en Ciencias de la Educación Física y del Deporte*, 14: 9-51.

12. Howard, L. (2006) Función cardíaca y resistencia. En Shephard, R.J. y Åstrand, P.O. (Eds.), *La resistencia en el deporte* (pp. 78-85). Barcelona: Ed. Paidotribo.
13. Joyner, M. J. y Coyle, E. F. (2008) Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of Physiology*. 586(1): 35-44.
14. Legaz, A. (1997) Maratón español: Aproximación biomédica al éxito. *Atletismo Español*. 498: 36-41.
15. Lucía A., Hoyos J., Carvajal A. y Chicharro J.L. (1999) Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *International Journal of Sports Medicine*. 20:167-172.
16. Lucía A., Hoyos J., Pérez M., Santalla A. y Chicharro J.L. (2002) Inverse relationship between  $VO_{2max}$  and economy/efficiency in world-class cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 34:2079-2084.
17. Lucía A., Pardo J., Durántez A. y Hoyos, J. (1998) Physiological differences between professional and elite road cyclists. *International Journal of Sports Medicine*. 19:342-348.
18. Lucia, A. Hoyos, J. y López-Chicharro, J. (2001) Physiology of profesional road cycling. *Sports medicine*, 31(5): 325-337.
19. Lucía, A., Hoyos, J., Pérez, M., Chicharro, J.L. (2000) Heart rate and performance parameters in elite cyclist a longitudinal study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 32: 1777-1782.
20. Lucia, A., Rabadán, M., Hoyos, J., Hernández-Capilla, M., Pérez, M., San Juan, A. F., Earnest, C. P. y Chicharro, J. L. (2006) Frequency of the  $VO_{2max}$  plateau phenomenon in world-class cyclists. *International Journal of Sports Medicine*. 27(12): 984-992..
21. Menaspà, P., Rampinini, E., Bosio, A., Carlomagno, D., Riggio, M., y Sassi, A. (2012) *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 22: 392-398.
22. Monfort-Steiger, Williams, C.A., y Armstrong, N. (2005) The reproductibility of endurance performance test in adolescent cyclists. *European Journal Applied of Physiology*. 94: 618-625.
23. Mujika, I. y Padilla, S. (2001) Physiological and performance characteristics of male profesional road cyclists. *Sports Medicine*, 31(7): 479-487.
24. Padilla A., Mujika I., Cuesta G., Goiriena J.J. (1999) Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 31:878-885.

25. Peronnet, F. Y Thibault, G. (1988) Consommation maximale d'oxygène, endurance et performance en course à pied. *Amicale des EFA*. 108:9-11.
26. Rodríguez-Marroyo J.A., García López J., Avila C., Jiménez F., Cordova A., Villa Vicente J.G. (2003) Intensity of Exercise according to topography in professional cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 35:1209-1215.
27. Rodríguez-Marroyo J.A., García López J., Juneau C.E., Villa J.G. (2007) Workload demands in professional multi-stage cycling races of varying duration. *British Journal of Sports Medicine*. 43(3):180-5.
28. Rodríguez-Marroyo, J.A., Pernía, R., Cejuela, R., García-López, J., Llopis, J., y Villa, J.G. (2011) *Journal of Strength and Conditioning Association*. 25(2): 511-519.
29. Rusko, H. (1991) Age, sex and muscle fiber composition influence the training response in endurance athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*.
30. Sallet P., Mathieu R., Fenech G. y Baverel G. (2006) Physiological differences of elite and professional road cyclists related to competition level and rider specialization. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 46:361-365.
31. Santalla, A., Earnest, C., Rodríguez-Marroyo, J.A. y Lucia, A. (2012) The Tour de France: An updated physiological review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 7: 200-209.
32. Sjödín B. y Jacobs I. (1981) Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*. 2:23-26.
33. Sjödín B. y Svedenhag J. (1985) Applied physiology of marathon running. *Sports Medicine*. 2:83-99.
34. Tsiaras, V., Zafeiridis, Z., Dipla, K., Patras, K., Georgoulis, A. y Kellis, S. (2010) Prediction of peak oxygen uptake from a maximal treadmill test in 12- to 18-year-old active male adolescents. *Pediatric Exercise Science*. 22. 624-637.
35. Wasserman, K., Van Kessel, A. L., y Burton, G. G. (1967). Interaction of physiological mechanisms during exercise. *Journal Applied Physiology*. 22(1), 71-85.
36. Zapico A.G., Calderón F.J., Benito P.J., González C.B., Parisi A., Pigozzi F. y Di Salvo V. (2007) Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2007; 47:191-196.