

Article

# Predicción del Rendimiento en Pruebas Contrarreloj en el Llano y en Ascenso en Ciclistas Aficionados de Elite

M. M. Antón, Prof. Mikel Izquierdo, J. Ibáñez, X. Asiain, J. Mendiguchia y E. M. Gorostiaga

*Studies, Research and Sport Medicine Center, Government of Navarra, Pamplona, Spain*

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar las variables fisiológicas, antropométricas, biomecánicas y hormonales relacionadas al rendimiento en llano y en ascenso. Dieciocho ciclistas de ruta aficionados de nivel elite ( $21,1 \pm 3,8$  años), que presentaban homogeneidad con respecto al rendimiento en pruebas contrarreloj (coeficiente de variación: 2,9-5,2%), participaron en el estudio y se les realizó la medición de área frontal (FA), fuerza máxima, potencia, área transversal del músculo cuádriceps femoral y concentraciones séricas basales de testosterona total (TT), testosterona libre (FT) y cortisol (C). En un test de ciclismo máximo progresivo discontinuo realizado en laboratorio se realizó la medición de las cargas de trabajo máxima ( $W_{max}$ ) y submáxima, y además se realizaron dos pruebas contrarreloj máximas (duración de: 1049-1251s) en el campo en dos días separados: una ruta llana de 14-km (pendiente media de 0,2%) y una ruta de ascenso de 6,7 km (pendiente media de 6%). Se observaron correlaciones negativas significativas ( $p < 0,01-0,001$ ) entre los valores de los individuos en el tiempo de la prueba contrarreloj de 14 km en el llano y los valores individuales de  $W_{max}$  ( $r = -0,90$ ) y FA ( $r = -0,73$ ). Un análisis de regresión demostró que los valores individuales de la prueba contrarreloj de 6,7-km en ascenso se correlacionaron significativamente ( $p < 0,05-0,001$ ) con los de la testosterona libre (FT) ( $r = -0,75$ ) y  $W_{max}$  kg-1 ( $r = -0,66$ ). Los resultados presentes sugieren que el rendimiento en pruebas contrarreloj en el llano en ciclistas amateur de elite está relacionado principalmente con la carga de trabajo máxima absoluta y con las variables antropométricas, mientras que el rendimiento en pruebas contrarreloj en ascenso está asociado con la carga de trabajo máxima normalizada en función de la masa corporal, así como también con una mayor actividad anabólica-androgénica.

**Palabras Clave:** Carga de trabajo máxima, tamaño corporal, hormonas, frecuencia cardíaca, lactato

## INTRODUCCION

El éxito del ciclismo de ruta depende principalmente de la habilidad de optimizar las demandas de las competencias de pruebas contrarreloj en el llano y en las cuestas. Estudios previos han descrito diferencias en las variables fisiológicas y características antropométricas asociadas con el terreno durante las competencias por etapas en ciclistas de ruta profesionales [21, 25]. Debido a esto, es sumamente importante poder determinar las demandas fisiológicas y antropométricas necesarias en cada terreno de competición y la identificación subsiguiente para poder predecir el rendimiento.

Varios estudios han analizado la relación entre los datos antropométricos y de laboratorio con el rendimiento en pruebas contrarreloj realizadas al aire libre en distancias cortas (20-35 minutos), en el llano [1, 8, 18, 23] o en cuesta [9]. Estos estudios informaron una relación significativa entre la producción de potencia máxima ( $W_{max}$ ) o el consumo de oxígeno máximo ( $VO_{2max}$ ) obtenidos en una prueba incremental hasta el agotamiento y el rendimiento en superficies llanas ( $r = -0,46$  a  $-0,91$ ). Sin embargo, los sujetos que participaron en estos estudios de estimación de ciclismo en terrenos llanos no tenían un rendimiento homogéneo en ciclismo y no podían ser considerados como ciclistas de ruta de élite competitivos [22]. Los pocos estudios de ciclismo en ascenso que existen [3, 9] también han sido realizados con ciclistas de bajo nivel con una gran diversidad de habilidades ciclistas. De manera similar, ningún estudio ha examinado simultáneamente las relaciones entre las variables obtenidas en el laboratorio y el rendimiento en caminos llanos o de ascenso en ciclistas de ruta amateur competitivos de élite.

Previamente en ciclistas masculinos de élite aficionados se ha observado la existencia de valores más altos de fuerza máxima absoluta en las piernas [13] y de niveles subclínicos más bajos de testosterona sérica en reposo [12]. Los mayores valores de fuerza máxima han sido relacionados con una activación y un reclutamiento no sincronizado de fibras de contracción rápida que se produce durante el ciclismo sub máximo [20] y, particularmente, con las series cortas de producciones de potencia instantáneas extremadamente altas de 800-1000 W que se encuentran intercaladas entre los períodos largos de ciclismo de intensidades sub máximas [15]. Se ha sugerido que las bajas concentraciones séricas basales de testosterona están parcialmente relacionadas al trastorno del eje hipotálamo-pituitaria-testicular debido a una alteración en el estímulo central de las gónadas y a una menor capacidad testicular para producir testosterona [7]. Sin embargo, según nuestros conocimientos, ningún estudio previo ha investigado de que manera los valores de fuerza muscular altos y la menor función testicular podrían afectar el rendimiento a corto plazo de los ciclistas amateur de élite.

Por ello, el principal propósito de este estudio transversal fue determinar la relación entre las variables antropométricas, los test de ciclismo en laboratorio y el rendimiento en el llano y en cuesta a aire libre en ciclistas de ruta aficionados de élite. Adicionalmente, planteamos la hipótesis que las diferencias en la fuerza muscular y en el estado anabólico basal pueden afectar el rendimiento en ciclismo.

## MÉTODOS

---

### Sujetos

Dieciocho ciclistas de ruta varones aficionados de élite participaron voluntariamente en este estudio (edad media:  $21,1 \pm 3,8$  años). Los ciclistas de ruta aficionados de élite pertenecían a dos equipos de ciclismo ubicados entre los mejores cinco equipos de ciclismo nacional español amateur. Ganaron más de 25 competencias de un día y cuatro competencias de 4-6-días durante la siguiente temporada de competición. Al final de la temporada, 6 de los 18 ciclistas de ruta se volvieron profesionales. Los ciclistas fueron evaluados entre febrero y marzo, es decir, 10 días antes del comienzo de la temporada competitiva. Al momento de realizar las pruebas, ya habían pedaleado entre aproximadamente 5000 y 9000 km durante los entrenamientos. Pedaleaban 350-660 km/sem (entre 11 y 21 horas/sem) y entre 18000-26000 km en una temporada, sumando las distancias de entrenamiento y competencias.

Los sujetos fueron cuidadosamente informados sobre los procedimientos del estudio y sobre los posibles riesgos y beneficios de participar en el proyecto que había sido aceptado por el Comité de Revisión Institucional del Instituto Navarro de Deporte y Juventud (Navarra, España), y cumplía con lo establecido en la Declaración de Helsinki. Los sujetos no estaban tomando ninguna medicación que pudiera afectar su rendimiento físico. Tampoco habían consumido esteroides anabólicos androgénicos exógenos, otras drogas o sustancias que pudieran afectar el rendimiento físico o el equilibrio hormonal, durante varios meses antes o durante este estudio ni consumían alguna medicación que pudiera afectar los resultados del estudio.

### Diseño experimental

Este estudio transversal fue dividido en sesiones de evaluación: una sesión de laboratorio y dos sesiones de ruta en el campo. El primer y segundo día los sujetos arribaron al laboratorio en donde se les realizaron las mediciones de las variables antropométricas, fuerza muscular y de potencia, las determinaciones del área transversal muscular; se les extrajeron muestras de sangre y realizaron un test de ciclismo en el laboratorio. El día 6, los sujetos realizaron las pruebas contrarreloj máximas en rutas en ascenso. El día 8, realizaron las pruebas contrarreloj máximas en rutas llanas. En la primera sesión de evaluación los sujetos llegaron al laboratorio después de un ayuno de 12-horas, se les extrajo una muestra de sangre en reposo para ser analizada y se les realizó la medición del área transversal del cuádriceps femoral. Además, realizaron una prueba de fuerza y el test de ciclismo en el laboratorio. Se les solicitó que no participaran en

entrenamiento vigoroso o en competencias durante los 2 días previos a la llegada al laboratorio y que ingirieran una dieta normal pero rica en carbohidratos. Todos los sujetos realizaron la segunda sesión de evaluación en el mismo día dentro de los 4-5 días después de la realización de la primera sesión de evaluación. El propósito de la segunda sesión de evaluación fue realizar una prueba contrarreloj de 6,7-km en ascenso. La tercera sesión de prueba se realizó dos días después de la pruebas de circuito en ascenso y después de un día de entrenamiento físico mínimo. El propósito de la tercera sesión fue completar una prueba contrarreloj en el llano de 14-km. Todos los sujetos realizaron la prueba en el llano el mismo día. Todas las pruebas se realizaron siempre por la mañana. Durante la semana de evaluación del rendimiento la dieta y el entrenamiento de los sujetos fueron estandarizados. Los sujetos estaban familiarizados con todos los protocolos de evaluación de las pruebas contrarreloj que se realizaron en el laboratorio y en el campo porque habían sido evaluados previamente en el laboratorio con los mismos procedimientos y habían competido en algunas pruebas contrarreloj en rutas llanas y rutas de ascenso en los años anteriores. No se pudieron realizar repeticiones de los tests porque el estudio se realizó durante la única etapa de equipo de 7 días de la temporada. Sin embargo, se ha demostrado que la prueba contrarreloj en atletas de élite es altamente confiable, porque representa una buena simulación de los eventos competitivos [11].

### **Variables Antropométricas**

El área de superficie corporal (BSA, en m<sup>2</sup>) se estimó en función de la siguiente fórmula de Du Bois y Du Bois [4]:

$$BSA = 0,007184 BM^{0,425} H^{0,725}$$

en donde BM es la masa corporal (en kg) y H es la talla del ciclista (en centímetros). Asumiendo que el área frontal (FA) puede ser considerada proporcional a BSA, y en base a los valores previamente medidos [24], se consideró que el valor de FA era 18,5% de BSA. El porcentaje de tejido adiposo en el cuerpo se estimó por medio del grosor de siete pliegues cutáneos [14].

### **Evaluaciones de fuerza máxima y potencia muscular**

Días antes de las mediciones los sujetos fueron familiarizados cuidadosamente con el procedimiento de evaluación de producción de fuerza voluntaria durante varias acciones sub máximas y máximas. Además también realizaron varias acciones de tipo explosivas para familiarizarse con la acción necesaria para mover diferentes cargas rápidamente. Por otra parte, se registraron varias acciones musculares de entrada en calor antes de realizar las acciones máximas reales.

La fuerza máxima de los músculos de las extremidades inferiores se evaluó mediante un ejercicio de una repetición máxima concéntrica (1RM) en media sentadilla. En la media sentadilla (1 RMHS), los hombros estuvieron en contacto con la barra y el ángulo inicial de la rodilla era de 90°. Al recibir la orden, el sujeto debía realizar una extensión concéntrica de la pierna (tan rápido como pudiera) empezando desde la posición de flexión hasta alcanzar la extensión completa de 180° contra una resistencia determinada por discos de peso agregados a ambos extremos de la barra. El tronco debía mantenerse tan recto como fuera posible. Los sujetos utilizaron un cinturón de peso para entrenamiento. Todas las pruebas se realizaron en una máquina para sentadillas en la cual la barra de pesas estaba sujeta en ambos extremos, con desplazamientos lineal en dos barras lo que permitía sólo movimientos verticales. La entrada en calor consistió en una serie de 5 repeticiones con cargas de 40-60% del máximo estimado. Después de esto, se realizaron cuatro a cinco esfuerzos únicos separados hasta que el participante fuera incapaz de extender las piernas hasta la posición requerida. La última extensión aceptable con la carga más alta posible fue considerada como 1RM. El período de descanso entre las acciones siempre fue de 2 minutos.

La relación potencia-carga de los extensores de piernas también se evaluó mediante una posición de media sentadilla con cargas relativas de 15%, 30%, 45%, 60%, 70%, 80% y 100% de 1RM, respectivamente. En este caso, los participantes debían mover la carga tan rápido como pudieran. Se registraron dos acciones de evaluación y para los análisis posteriores se consideró la mejor lectura (con la mayor velocidad). El período de descanso entre cada prueba y serie siempre fue de 1,5 minutos.

Durante el test se registró el desplazamiento de la barra, la velocidad media (m s<sup>-1</sup>) y la potencia media (W) por medio de un codificador rotatorio acoplado al final de la barra. El codificador rotatorio registró la posición y dirección de la barra con una exactitud de 0,0002 m. Para calcular la producción de potencia en cada repetición de media sentadilla realizada a lo largo del rango completo de movimiento se utilizó un software realizado a pedido (*JLML I+D, Madrid, España*). Se determinó la producción de potencia media para cada repetición de media sentadilla. La potencia media se calculó a lo largo del rango completo de movimientos necesarios para realizar una repetición completa. Los índices medios de potencia muscular se calcularon como el promedio de los valores de potencia obtenidos en todas las condiciones experimentales del rendimiento en media sentadilla. La reproducibilidad de las mediciones de fuerza máxima y producción de potencia muscular se evaluó en un estudio modelo a través de 2 pruebas separadas por 7 días con once levantadores de pesos. No se observaron diferencias significativas entre las medidas de los 2-días. El coeficiente de correlación intraclase (ICC) entre

los tests varió de 0,65 a 0,95, el coeficiente de variación (CV) entre 4,7% y 7,9% y r tomó valores de 0,57 a 0,98, respectivamente [12].

En todas las pruebas de rendimiento neuromuscular, se dio estímulo verbal fuerte a los sujetos con el fin de motivarlos para que realizaran cada ejercicio de la prueba al máximo y tan rápidamente como fuera posible. Los períodos de descanso entre cada prueba y serie fueron siempre 1,5 y 3 minutos, respectivamente.

### Área transversal (CSA) de los músculos.

El área transversal (CSA) del grupo muscular cuádriceps femoral (QF) (recto femoral, vasto lateral, vasto medial y vasto intermedio; CSAQF) se midió con un escáner ultrasónico compuesto (*Toshiba SSA-250, Tokio, Japón*) y un transductor convexo de 5 MHz. El CSA se determinó en la tercera porción mas baja entre el trocánter mayor y la línea lateral de la articulación de la rodilla. Se tomaron dos medidas consecutivas del muslo derecho y luego fueron promediadas para realizar los análisis adicionales. A continuación se calculó el CSA de la imagen mediante el software del equipo. El CSA muscular presentó coeficientes de confiabilidad de 0,85. El coeficiente de variación tomó valores de 1,4% a 4,3% para el perímetro y área transversal medidos en el grupo muscular cuádriceps femoral (CSAQF) respectivamente.

### Test de ciclismo realizado en laboratorio

Cada sujeto realizó una prueba de ciclismo incremental máxima discontinua con muchas etapas en una bicicleta ergométrica electromagnética (*Orion, S.T.E., Toulouse, Francia*) adaptada con un sillín de competencias, manillar de carreras y pedales con punteras, con una cadencia de pedaleo constante de 85 rpm. La bicicleta ergométrica electromagnética es un ergómetro específico para ciclistas altamente entrenados, que puede ser adaptada individualmente para crear la misma posición que se utiliza en las competencias. La utilidad de esta bicicleta ergométrica se ha descrito en otros trabajos [12]. Los sujetos empezaron con una carga de trabajo de 1 W/kg de masa corporal durante 3 minutos, y la carga fue incrementada 1 W/kg de masa corporal cada 3 minutos hasta el agotamiento volitivo. Después de cada carga de trabajo, la prueba se interrumpió durante 60 segundos antes de comenzar la siguiente carga de trabajo. Se consideró agotamiento cuando el sujeto no podía mantener la cadencia de pedaleo establecida. La frecuencia cardíaca fue monitoreada continuamente con un monitor de frecuencia cardíaca (*Vantage NV Polar, Kempele, Finlandia*) y fue determinada durante los últimos 60 segundos de cada fase. Los sujetos fueron animados verbalmente durante la prueba.

Para determinar la concentración sanguínea de lactato se obtuvieron muestras de sangre capilar del lóbulo de la oreja antes del ejercicio e inmediatamente después de cada etapa del ejercicio. Las muestras para la determinación del lactato sanguíneo (100 ul) fueron sometidas a eliminación de proteínas y fueron guardadas a 4°C, y analizadas dentro de los 5 días de haber finalizado la prueba. El analizador de lactato sanguíneo (*YSI1500, Yellow Spring, Ohio, EE.UU.*) fue calibrado cada 5 muestras de sangre con tres controles conocidos (5, 15 y 30 mmol l-1). Los datos individuales de los valores de lactato sanguíneo durante el ejercicio fueron graficados a modo de función continua en relación al tiempo. La curva de lactato durante el ejercicio fue ajustada con una función polinómica de segundo grado. El rango del coeficiente de correlación individual con el uso de la función matemática descrita anteriormente fue  $r = 0,98-0,99$  ( $p < 0,001$ ). Las cargas de trabajo asociadas con una concentración de lactato sanguíneo de 1,5mmol l-1 por encima de la línea de base (W+1,5), 2mmol l-1 (W2), y 4mmol l-1 (W4) fueron extrapoladas de la ecuación que describe la curva de lactato sanguíneo durante el ejercicio. Se ha observado que W2 y W4 son determinantes importantes de capacidad de rendimiento de resistencia [29]. La carga de trabajo máxima alcanzada en la prueba por cada ciclista (Wmax) se calculó utilizando la siguiente fórmula:

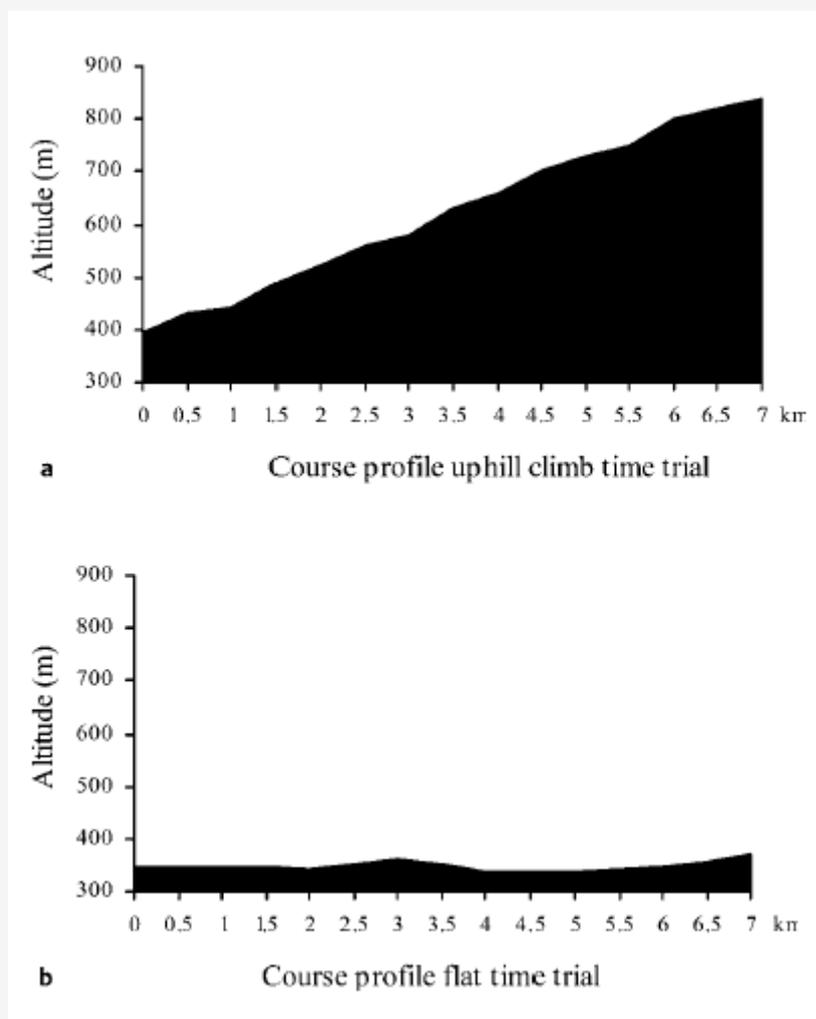
$$W_{max} = W_{com} + ([t \cdot 180 - 1] \cdot \Delta W)$$

donde Wcom es la última carga de trabajo completada, t es el número de segundos en la etapa final e incompleta y ΔW es el incremento de carga final [16].

### Pruebas contrarreloj en ruta

Cada sujeto realizó una prueba contrarreloj en una ruta de ascenso de 6,7 km (6,7 km UTT) y una prueba contrarreloj en el llano de 14 km (14 km FTT) en dos caminos al aire libre en dos días separados. La Figura 1 muestra el perfil de los circuitos utilizados pruebas contrarreloj en ascenso y en el llano en cuanto a la altura en función de la distancia recorrida. El primer día de la prueba contrarreloj, los participantes debieron pedalear 6,7 km UTT (Figura 1a) (pendiente media de 6%). El día de la prueba de UTT, la temperatura ambiente media era 10°C y llovía ligeramente.

Dos días después de la prueba de ascenso de 6,7-km (UTT), los participantes realizaron la prueba en el llano de 14 km (FTT) en un circuito de ruta recta, libre de tráfico de 7 km, con una pendiente media de 0,2% (Figura 1b). Los sujetos realizaron dos recorridos de este circuito (un total de 14 km). Los tiempos de giro fueron contemplados y generalmente fueron inferiores a los 30 s. El día en que se realizó la prueba, la temperatura media era 14 °C y había poco o nada de viento. El tiempo necesario para completar el recorrido se registró con un nivel de apreciación de segundos. Tres ciclistas no pudieron realizar el FTT debido a que se enfermaron o sufrieron una lesión.



**Figura 1.** Perfil de la altitud de los recorridos en función a la distancia recorrida para la prueba contrarreloj en ascenso (Figura 1a: 6,7 km y pendiente promedio de 6%) y la prueba contrarreloj en el llano (Figura 1b: 14 km y pendiente promedio de 0,2%). Altitude= Alltura (m); Course profile uphill climb time trial= Perfil del recorrido de la prueba contrarreloj en ascenso. Course profile flat time trial= Perfil del recorrido de la prueba contrarreloj en el llano.

Inmediatamente después de cada prueba contrarreloj y 3 minutos después del ejercicio se extrajeron muestras de sangre capilar del lóbulo de la oreja para la determinación de las concentraciones de lactato. La frecuencia cardíaca fue continuamente registrada con un monitor de frecuencia cardíaca (*Vantage NV Polar, Kempele, Finlandia*). Los ciclistas comenzaron las dos pruebas contrarreloj individuales desde una salida detenida en intervalos de 2 minutos. En ambas pruebas, los sujetos pudieron escoger el ritmo y pedalearon con una cadencia elegida por ellos mismos en el tiempo lo mas corto posible realizando un esfuerzo máximo. Los participantes completaron las pruebas sin referencia al tiempo. Todos los sujetos tenían bicicletas estándar, modernas, livianas y adecuadamente mantenidas. Durante la prueba contrarreloj no se permitió el uso de ruedas de disco, barras aerodinámicas y tampoco se permitió ir a rueda (*drafting*).

#### **Determinación de la concentración de hormonas en sangre**

Muestras de sangre venosa se obtuvieron en reposo de la vena antecubital entre las 8 y 9 a. m. para determinar las concentraciones séricas de testosterona total, testosterona libre y cortisol. Las muestras fueron centrifugadas y se extrajo el suero que fue posteriormente congelado a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el análisis posterior. Las determinaciones de cortisol y testosterona en suero fueron realizadas por radioinmunoanálisis. Las concentraciones séricas de testosterona total (T), testosterona libre (FT) y cortisol (C) fueron establecidas mediante kits de diagnóstico comerciales de *Diagnostic Product Corporation* y *INCSTAR Corporation* (*Coat A Counttotal/free testosterone TKTTT11CS, Los Angeles, CA, EE.UU.* y *GammaCoat cortisol radioimmunoassay kit, Los Angeles, CA, EE.UU.*). La sensibilidad de los métodos de detección de testosterona total y testosterona libre fue igual a 0,14 nmol/l y 0,15 pg/ml, respectivamente. La sensibilidad de la prueba de determinación de cortisol fue 0,21  $\mu\text{g/dl}$ . Los coeficientes de variación intra-determinación fueron 5,1% y 4,2% para

testosterona total y libre, respectivamente. El valor respectivo para la prueba de cortisol fue 6,6%. Todas las muestras fueron analizadas en el mismo momento siguiendo las recomendaciones del fabricante.

## Métodos estadísticos

Se usaron los métodos estadísticos estándares para el cálculo de las medias y desviaciones estándar y de los coeficientes de variación. Se realizó el cálculo de coeficiente de correlación momento producto de Pearson (r), error estándar de la estimación (SEE) y de los límites de confianza de 95% (95% CL) para cada coeficiente de correlación de Pearson para determinar la asociación entre las variables fisiológicas y las pruebas contrarreloj. Además, se aplicó un análisis de regresión lineal múltiple por pasos para comparar las pruebas 6,7-km UTT y 14-km FTT. Las variables independientes (FT, Wmax, W+1,5 y área frontal) que presentaron la mayor correlación significativa con las pruebas 6,7-km UTT y 14 km FTT fueron ingresadas en el procedimiento por pasos. El análisis estadístico se realizó mediante un ANOVA de una vía con mediciones repetidas (condición factor "intra sujetos"). En los casos en que se observara un valor de F significativo, para establecer las diferencias entre las medias se utilizó el test post hoc para comparaciones múltiples de Scheffé. Para analizar las diferencias entre los sub grupos se utilizó el test *t* de Student. La significancia estadística se fijó en  $p < 0,05$ . Todos los datos se expresan en forma de Media $\pm$ SD.

## RESULTADOS

### Variables antropométricas y concentraciones séricas de hormonas.

Los valores medios ( $\pm$  SD) de la masa corporal, porcentaje de grasa corporal y área frontal fueron 71,1 $\pm$ 6,2 kg, 5,8 $\pm$ 1,0% y 0,35 $\pm$ 0,02 m<sup>2</sup>, respectivamente. Las concentraciones séricas de testosterona total, testosterona libre y cortisol se presentan en la Tabla 1. Las concentraciones séricas de las hormonas estaban dentro de los niveles clínicos normales (entre 10,4 y 38,2 nmol l<sup>-1</sup> para la testosterona total, entre 31 y 153 pmol l<sup>-1</sup> para la testosterona libre y entre 193 y 690 nmol l<sup>-1</sup> para el cortisol), excepto en dos sujetos donde se observaron valores de testosterona total de 7,0 y 7,6 nmol l<sup>-1</sup>, un sujeto cuyo nivel de testosterona libre fue de 30,2 pmol l<sup>-1</sup>, y tres sujetos cuyas concentraciones de cortisol fueron 709, 739 y 831 nmol l<sup>-1</sup>.

Variable	Media $\pm$ SD
Talla (cm)	181,3 $\pm$ 16,1
Masa corporal (kg)	71,1 $\pm$ 6,2
Adipocidad corporal (%)	5,8 $\pm$ 1,0
Superficie de área corporal (m <sup>2</sup> )	1,9 $\pm$ 0,12
Area frontal (m <sup>2</sup> )	0,35 $\pm$ 0,02
Testosterona (nmol l <sup>-1</sup> )	18,1 $\pm$ 5,4
Testosterona Libre (pmol l <sup>-1</sup> )	75,1 $\pm$ 26,1
Cortisol (nmol l <sup>-1</sup> )	544,6 $\pm$ 132,5
Relación Testosterona/cortisol	0,04 $\pm$ 0,01
Relación Testosterona libre/cortisol	0,15 $\pm$ 0,07

**Tabla 1.** Variables antropométricas y concentraciones séricas de hormonas determinadas en los ciclistas. Los valores se expresan en forma de Media $\pm$ SD

### CSA muscular, fuerza muscular y producción de potencia muscular.

El valor medio ( $\pm$  SD) del CSA del QF fue 52,1 $\pm$ 3,2 cm<sup>2</sup>. Los resultados de 1 RMHS bilateral concéntrica máxima expresados en términos absolutos relativos a los kilogramos de masa corporal (kg kg<sup>-1</sup>) y a CSAQF (kg cm<sup>2</sup>), fueron 134 $\pm$ 18kg, 1,89 $\pm$ 0,28 kg kg<sup>-1</sup> y 2,57 $\pm$ 0,37 kg cm<sup>2</sup>, respectivamente. En todas las cargas absolutas analizadas, el índice de producción de potencia de las extremidades inferiores fue 397 $\pm$ 99W y la producción de potencia máxima de las extremidades inferiores fue producida con la carga de 45% de 1RMHS (498 $\pm$ 110W).

### Ejercicio de ciclismo realizado en laboratorio y pruebas contrarreloj en ruta.

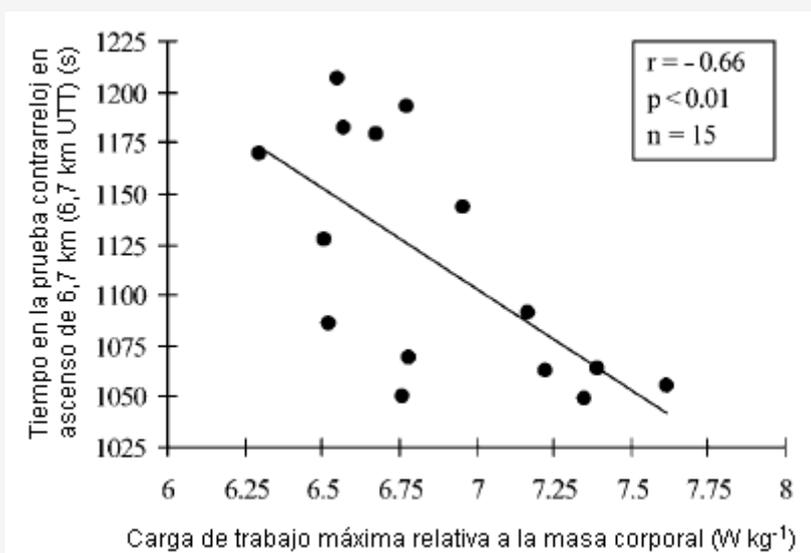
Durante la prueba de laboratorio de ciclismo, la carga de trabajo máxima promedio (Wmax) fue 490 $\pm$ 56W y el valor de la carga de trabajo máxima en relación a la masa corporal (Wmax kg<sup>-1</sup>) fue 6,9 $\pm$ 0,4 W kg<sup>-1</sup>, mientras que el tiempo

transcurrido en las pruebas contrarreloj en ascenso de 6,7 km (UTT) y en el llano de 14 km (FTT) fue  $1115 \pm 59$  s ( $18,6 \pm 1,0$  min;  $21,6 \pm 1,2$  km h<sup>-1</sup>) y  $1185 \pm 35$  s ( $19,8 \pm 0,6$  min;  $42,5 \pm 1,3$  km h<sup>-1</sup>), respectivamente. Los coeficientes de variación (SD x 100/promedio) para Wmax, Wmax kg<sup>-1</sup>, tiempo en la prueba UTT y tiempo en la prueba FTT fueron 11,4%, 5,8%, 5,2% y 2,9%, respectivamente. Durante la prueba de ciclismo realizada en el laboratorio, las cargas de trabajo sub máximas asociadas con las concentraciones sanguíneas de lactato 1,5 mmol l<sup>-1</sup> (W+1,5), 2 mmol l<sup>-1</sup> (W2) y 4 mmol l<sup>-1</sup> (W4) por encima de los valores iniciales fueron  $335 \pm 38$ W,  $326 \pm 39$ W y  $389 \pm 42$  W respectivamente.

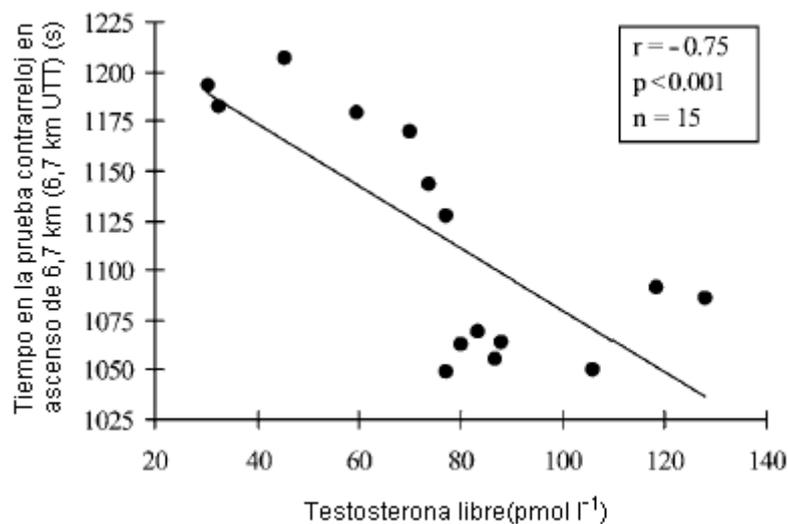
La concentración máxima de lactato en sangre de  $11,7 \pm 1,6$  mmol l<sup>-1</sup>, registrada después de la prueba de ciclismo de laboratorio, fue significativamente más alta ( $p < 0,01$ ) que la registrada después de las pruebas UTT ( $9,4 \pm 2,3$  mmol l<sup>-1</sup>) y FTT ( $8,7 \pm 2,2$  mmol l<sup>-1</sup>). La frecuencia cardíaca máxima de  $190 \pm 7$  lat/min registrada después de UTT fue significativamente menor ( $p < 0,01$ ) que la registrada después de la prueba de laboratorio ( $194 \pm 8$  lat/min) y de la prueba FTT ( $193 \pm 8$  lat/min).

### Estimación de la prueba contrarreloj en ascenso de 6,7-km (UTT) a partir de variables de laboratorio y de ruta.

Los valores individuales del tiempo en la prueba UTT de 6,7 km se correlacionaron negativamente ( $r = -0,66$ ;  $p < 0,01$ ; SEE de 46 s; 95% CL -0,88 y -0,22) con los valores individuales de la carga de trabajo máxima relativa a la masa corporal (Wmax kg<sup>-1</sup>) (Figura 2), y con los valores individuales de W+1,5, W4, y W5 relativos a la masa corporal (W+1,5 kg<sup>-1</sup>, W4 kg<sup>-1</sup>, W5 kg<sup>-1</sup>) (de  $r = -0,55$  a  $-0,60$ ;  $p < 0,05$ ) alcanzados durante la prueba de ciclismo realizada en el laboratorio. Cuando la producción de potencia máxima o sub máxima obtenidas en condiciones de laboratorio fueron normalizadas por la masa corporal elevada a la potencia 0,79-0,89 o al peso de la bicicleta sumado a la masa corporal, los coeficientes de correlación del rendimiento de ciclismo en ascenso dejaron de ser importantes. Los valores individuales del tiempo en la prueba UTT de 6,7-km se correlacionaron negativamente ( $r = -0,75$ ;  $p < 0,001$ ; SEE de 41s; 95% CL -0,91 y -0,39) con los valores individuales de concentración de testosterona libre sérica basal (Figura 3), así como con los valores individuales de testosterona total sérica y la relación entre testosterona libre /cortisol en el suero ( $r = -0,57$  a  $-0,61$ ;  $p < 0,05$ ). Notablemente, en comparación con el sub grupo de ciclistas con el rendimiento de ciclismo en ascenso más rápido ( $n = 8$ ), los ciclistas con el rendimiento de ciclismo en ascenso más lento ( $n = 7$ ) presentaron un valor 43% inferior de concentración de testosterona libre sérica basal ( $55,3 \pm 20$  pmol-l<sup>-1</sup> vs.  $95,9 \pm 19$  pmol-l<sup>-1</sup>;  $p < 0,01$ ) y de relación testosterona libre /cortisol ( $0,105 \pm 0,04$  vs.  $0,186 \pm 0,07$ ;  $p < 0,05$ ). El análisis de regresión lineal múltiple por pasos con el tiempo de prueba contrarreloj en ascenso de 6,7-km (UTT) como variable dependiente y los valores individuales de concentración sérica de testosterona libre, Wmax y W+1,5 relativos a la masa corporal como variables independientes, demostró que la concentración de testosterona libre y Wmax relativa a la masa corporal como un estimador combinado de dos factores explicó el 78% de la varianza del rendimiento.



**Figura 2.** Relación entre los valores del tiempo de la prueba contrarreloj en ascenso de 6,7-km (6,7km UTT) y la carga de trabajo máxima relativa a la masa corporal alcanzada durante la prueba de ciclismo realizada en el laboratorio.

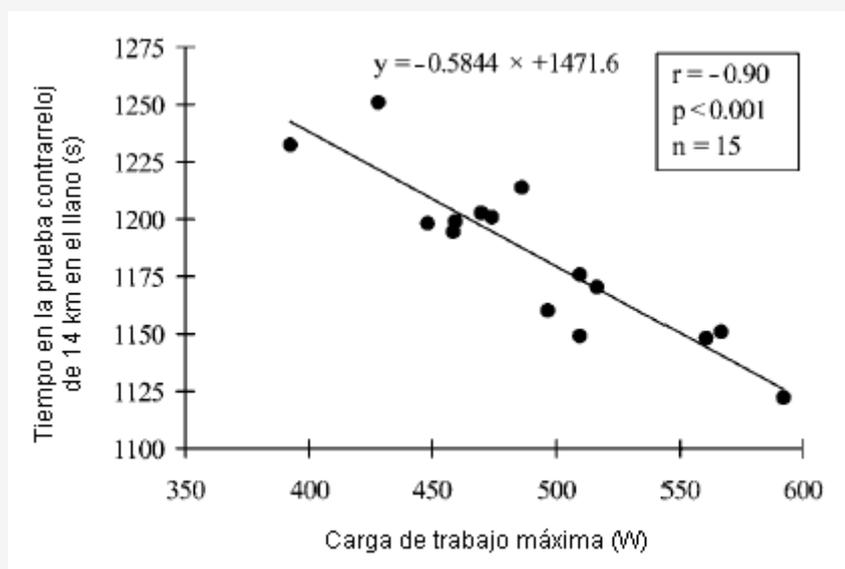


**Figura 3.** La relación entre el tiempo de la prueba contrarreloj en ascenso de 6,7-km (6,7-km UTT) y los valores individuales basales de la concentración de la testosterona libre sérica obtenida durante la prueba de ciclismo realizada en el laboratorio.

#### Predicción de la prueba contrarreloj en el llano de 14 km (FTT) a partir de variables de laboratorio y de ruta.

Los valores individuales del tiempo en la prueba contrarreloj de 14 km en el llano (FTT) se correlacionaron negativamente con los valores individuales absolutos de carga de trabajo máxima ( $W_{max}$ ) ( $r = -0,90$ ;  $p < 0,001$ ; SEE de 16 s; 95% CL  $-0,97$  y  $-0,72$ ; Figura 4) y con la carga de trabajo máxima relativa al índice de área frontal ( $r = 0,78$ ;  $p < 0,05$ ),  $W+1,5$  ( $r = -0,80$ ;  $p < 0,001$ ), y  $W4$  ( $r = -0,85$ ;  $p < 0,001$ ) alcanzados durante la prueba de ciclismo de laboratorio. Cuando las producciones de potencia máxima o sub máxima obtenidas, durante las condiciones de laboratorio, se normalizaron en relación a la masa corporal elevada a la potencia de 0,32, los coeficientes de correlación de rendimiento de ciclismo en el llano no fueron más fuertes. Además, los valores individuales de la prueba contrarreloj de 14 km en el llano (FTT) se correlacionaron positivamente con los valores individuales del área frontal relativa al peso corporal ( $r = 0,61$ ;  $p < 0,05$ ) y negativamente con los valores individuales del área frontal ( $r = -0,73$ ;  $p < 0,01$ ) y la masa corporal ( $r = -0,74$ ;  $p < 0,01$ ).

No se observó ninguna correlación significativa entre los valores individuales de ninguna de las pruebas contrarreloj en ruta y los valores individuales de fuerza máxima o potencia muscular.



**Figura 4.** Relación entre el tiempo de la prueba contrarreloj de 14 km en el llano (14 km FTT) y los valores de la carga de trabajo

## DISCUSION

Los resultados destacados del presente estudio son los siguientes: primero, en el rendimiento de prueba contrarreloj de corta distancia en el llano, la carga de trabajo máxima absoluta durante una prueba de ciclismo de laboratorio y las variables antropométricas se relacionaron con el rendimiento en este tipo de evento; segundo, en el rendimiento en la prueba contrarreloj en ascenso de corta distancia, la concentración sérica de testosterona libre y  $W_{max}$  relativa a la masa corporal como estimador de dos factores combinados explicaron el 78% de la varianza del rendimiento. El estudio presente es el primero en sugerir que las disminuciones en las concentraciones séricas de testosterona relacionadas al ciclismo de élite afectan el rendimiento.

El valor promedio de  $W_{max}$  relativo registrado en el estudio presente (6,9 W kg<sup>-1</sup>) se considera un requisito previo para los ciclistas competitivos de máximo nivel (>5,5 W kg<sup>-1</sup>) [21, 25]. Aunque la limitación ampliamente reconocida asociada con los diferentes procedimientos de ciclismo usados en éste y otros estudios anteriores dificulta la comparación, los ciclistas del estudio presente presentaron valores promedio similares de producción de potencia máxima relativa (6,9 W kg<sup>-1</sup> contra 6,0-7,3 W kg<sup>-1</sup>, respectivamente) [10, 21, 25] y de concentración de lactato sanguíneo máxima (6,9-13,7 mmol l<sup>-1</sup>) [25] en comparación con los valores obtenidos en ciclistas de ruta profesionales. Por otro lado, las cargas de trabajo sub máximas (expresadas en forma de porcentaje de  $W_{max}$ ) que produjeron la concentración de lactato sanguíneo de 4 mmol l<sup>-1</sup> registrada en los ciclistas de este estudio fueron ligeramente menores que en los ciclistas de ruta profesionales de nivel internacional (79% versus 84-90% de  $W_{max}$ , respectivamente) [10, 25]. Además, los ciclistas del presente estudio presentaron una gran homogeneidad con respecto al tiempo de rendimiento en el llano (CV: 2,9%) y en ascenso (CV: 5,2%). En conjunto, los resultados presentes indican que nuestros sujetos pueden ser considerados como ciclistas de ruta competitivos amateur de élite altamente homogéneos [21].

Un resultado importante del estudio presente fue la fuerte correlación negativa que se observó entre el tiempo de la prueba contrarreloj de 14 km realizada en el llano y la carga de trabajo máxima alcanzada durante la prueba de ciclismo en el laboratorio ( $W_{max}$ ) ( $r = -0,90$ ;  $p < 0,001$ ) que es un estimador preciso del consumo de oxígeno máximo [8]. Nuestro resultado coincide con lo observado en estudios previos de pruebas contrarreloj de ciclismo en el llano que iban de 15 a 40 km pero que fueron realizados ( $r = -0,84$  a  $-0,91$ ) [8,17] con grupos más heterogéneos (CV: 6,4-11%) [8, 17, 24] de ciclistas de niveles inferiores [8, 18], lo que demuestra que  $W_{max}$  absoluto es mejor estimador del rendimiento que otras variables fisiológicas [8]. En el estudio presente, nosotros ampliamos nuestra investigación determinando la relación entre  $W_{max}$  y el rendimiento en el llano en ciclistas de ruta aficionados de élite altamente entrenados. De hecho, la asociación fuerte entre  $W_{max}$  y el tiempo de la prueba contrarreloj en el llano se produjo en un rango pequeño de habilidades ciclismo (CV: 2,9%). Esto sugiere que  $W_{max}$  absoluto es un parámetro fisiológico bueno para el rendimiento de ciclismo en el llano de corta duración (-20 minutos) en una población de ciclistas aficionados de élite muy homogénea y podría establecer diferencias entre los corredores de rutas llanas.

Se ha documentado que los mejores profesionales especialistas en pruebas contrarreloj en el llano tienen una tendencia a ser más grandes y más pesados que los especialistas en cuestas [21, 25]. En nuestros ciclistas aficionados de élite altamente homogéneos, se observó una correlación negativa entre la masa corporal y el tiempo de la prueba contrarreloj de 14 km realizada en el llano. Adicionalmente, el rendimiento en el llano se correlacionó negativamente con el área frontal relativa a la masa corporal. En conjunto, estos datos son consistentes con la noción que la ventaja de los ciclistas más grandes en las pruebas contrarreloj realizadas en circuitos llanos, se debe principalmente a disminuciones en el gasto de energía relativo a la masa corporal [27] y a la menor relación entre el área frontal y la masa corporal, lo que les permite disminuir la resistencia aérea más eficientemente [25, 27].

En el estudio presente se observaron correlaciones negativas significativas entre el tiempo individual en la prueba contrarreloj en ascenso de 6,7 km y la carga de trabajo máxima individual ( $W_{max}$ ) relativa a la masa corporal, así como también con la concentración sérica basal de testosterona libre individual. También se han informado correlaciones negativas significativas entre el tiempo de ascenso y  $W_{max}$  relativa a la masa corporal en los ciclistas en distancias similares [3, 9] o mayores [9] en circuitos al aire libre [9] o pruebas realizadas en cinta rodante donde se simuló el ascenso a una cuesta [3]. Las mayores correlaciones negativas encontradas en estos estudios ( $r = -0,71$  a  $-0,97$ ) en comparación con las que encontramos nosotros pueden explicarse por el hecho que los estudios anteriores fueron realizados con ciclistas con un menor nivel de ciclismo ( $W_{max}$  -BM-1 <5,5 W kg<sup>-1</sup>) y una mayor variedad de capacidades ciclísticas (CV: 7-10%) que en el estudio presente. Así, los resultados presentes coinciden con resultados anteriores observados en ciclistas profesionales de mayor nivel, lo que sugiere que un elevado índice producción de potencia:masa corporal, es un

requisito previo necesario para competir con éxito en los eventos de ciclismo de ascenso [3, 21, 25].

Debido al diseño transversal del estudio, debemos ser cuidadosos en la interpretación sobre los resultados de las hormonas séricas. Sin embargo los resultados del análisis de regresión demostraron, que la concentración sérica de testosterona libre y la Wmax relativa a la masa corporal, como un estimador combinado de dos factores, explicó el 78% de la varianza del rendimiento en la prueba contrarreloj en ascenso de 6,7 km. Con las limitaciones asociadas con el uso de las concentraciones hormonales en reposo, los resultados presentes sugieren que la combinación de ambos factores, Wmax relativa a la masa corporal y testosterona libre basal, son buenos estimadores del rendimiento en ciclismo de ascenso en ciclistas de élite.

En concordancia con lo observado en estudios previos con corredores de resistencia de élite [7, 30] y ciclistas profesionales [10, 19], nosotros recientemente informamos de una menor concentración basal de testosterona total y testosterona libre en los ciclistas aficionados de élite en comparación con lo observado en controles sedentarios de edad similar [12]. Aunque los mecanismos fisiológicos responsables de la menor concentración de testosterona basal en los sujetos entrenados en resistencia no están claros, se ha sugerido que estarían relacionados con la hipervolemia, la pérdida de masa corporal, y/o la reducción en la grasa dietética que normalmente se observa en ciclistas [5, 28, 30]. Por otra parte, varios estudios han informado que las menores concentraciones basales de hormonas en varones entrenados en resistencia, se deben por lo menos en parte, a alteraciones del eje hipotalámico-pituitario-testicular mediadas por una alteración en la estimulación central de las gónadas [7] y a la supresión de la capacidad testicular de producir testosterona [2, 7, 10, 19]. En tal sentido, Hackney et al. [7] informaron recientemente una producción suprimida de testosterona basal luego de la infusión con GnRH en varones entrenados en resistencia que tenían niveles de testosterona sérica basal mas bajos que los de los controles sedentarios. Según nuestros conocimientos, ningún estudio previo ha investigado cómo la supresión en la función testicular puede afectar el rendimiento en ciclistas aficionados de élite. Un hallazgo sobresaliente en el estudio presente fue que el subgrupo de 7 ciclistas con el rendimiento en la prueba de ascenso mas lento (n = 7) presentó concentraciones basales de testosterona libre y relación testosterona libre/cortisol 43% mas bajas en comparación con el subgrupo de 8 ciclistas con el rendimiento en ciclismo de ascenso más rápido. Esto indica que las concentraciones séricas basales bajas de testosterona libre consideradas dentro de los niveles clínicos normales se asocian con una disminución en el rendimiento de ciclismo. Si la disminución en el rendimiento de ciclismo en ascenso se debe a una condición transitoria limitada a este grupo particular de sujetos o se debe a una menor síntesis de glucógeno, proteínas, o fosfato de creatina en el musculo [5, 6, 26], y/o a un aumento en la producción de cortisol [2], asociados con una baja producción de testosterona, esto no puede ser esclarecido a través del presente estudio. Los resultados presentes no apoyan la especulación que niveles reducidos de testosterona sérica en varones entrenados en resistencia podrían ser una adaptación de entrenamiento beneficiosa [2].

Pocos estudios han medido los valores de la fuerza máxima y de potencia en las extremidades inferiores en ciclistas de ruta aficionados de élite. En un estudio personal previo [13], los valores de fuerza máxima absoluta y producción de potencia muscular obtenidos con una carga de 30% de 1RM en media sentadilla fueron significativamente mayores en los ciclistas presentes que en corredores de medio fondo y en varones sedentarios de edad similar que actuaron como grupo control. Se ha sugerido [13] que una explicación creíble de esta adaptación específica del entrenamiento podría estar relacionada a los tiempos medios similares de aplicación de la fuerza durante las acciones concéntricas (por ejemplo, para una carga de 30% de 1RM en media sentadilla fue de 560 ms) y durante la fase de empuje del ciclo de pedaleo en las velocidades de pedaleo preferidas por los ciclistas (90 rpm). En base a esto, se postuló que las diferencias en la fuerza o en la potencia muscular durante ejercicios de medias sentadillas afectarían parcialmente el rendimiento en ciclismo. Sin embargo, ninguna de las variables de fuerza muscular o de potencia muscular seleccionadas estimó el rendimiento en ascenso o en el llano confiablemente. Los resultados presentes sugieren que la fuerza máxima y la potencia muscular en las extremidades inferiores durante los ejercicios de media sentadilla no representan una limitación para el rendimiento de corta duración subsiguiente en ciclistas aficionados de élite homogéneos. Sin embargo, este hallazgo debe interpretarse con cautela porque: 1) es posible que para un desempeño en ruta exitoso sea necesario alcanzar un nivel mínimo de fuerza máxima o potencia muscular en las extremidades inferiores y 2) una medición de potencia mas específica durante un esprint de ciclismo breve podría predecir las diferencias en el rendimiento de ciclismo de corta duración.

En resumen, nuestro estudio buscó caracterizar las demandas fisiológicas que son importantes para el rendimiento en cuesta y en el llano en ciclistas de ruta competitivos aficionados de élite. Los resultados actuales indican que la carga de trabajo máxima absoluta durante una prueba de ciclismo de laboratorio y las variables antropométricas, son los mejores estimadores, por lo menos en parte, del rendimiento de ciclismo en el llano de corta duración (-20 minutos). Además, el rendimiento en condiciones de ascenso está asociado con la carga de trabajo máxima relativa a la masa corporal, así como también con un elevado nivel de hormonas anabólicas. Finalmente, las implicaciones clínicas asociadas con la disminución en la actividad anabólica-androgénica observada en nuestros ciclistas de ruta aficionados de élite deben ser investigadas con mayor detalle.

## REFERENCIAS

1. Balmer J. , Davison R. C. , Bird S. R. (2000). Peak power predicts performance power during an outdoor 16. 1-km cycling time trial. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 1485 -1490
2. Daly. W. , Seegers C. A. , Rubin D. A. , Dobridge J. D. , Hackney A. C. (2005). Relationship between stress hormones and testosterone with prolonged endurance exercise. *Eur J Appl Physiol*; 93: 375 - 380
3. Davison R. C. , Swan D. , Coleman D. , Bird S. (2000). Correlates of simulated hill climb cycling performance. *J. Sports Sci.* 18: 105 -110
4. Du Bois D. , Du Bois E. F. (1916). Clinical calorimeter: a formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch. Inter. Med.* 17: 863-871
5. Fellmann N. (1992). Hormonal and plasma volume alterations following endurance exercise. *Sports Med.* 13: 37-49
6. Guillespie C A, Edgerton V R. (1970). The role of testosterone in exercise-induced glycogen supercompensation. *Horm. Metab. Res.* 2: 364-366
7. Hackney A. C. , Szczepanowska E. , Viru A. ,M. (2003). Basal testicular testosterone production in endurance-trained men is suppressed. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89: 198-201
8. Hawley J. A. , Noakes T. , D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 65: 79-83
9. Heil D. P. , Murphy O. F. , Mattingly A. R. , Higginson B. ,K. (2001). Prediction of uphill time-trial bicycling performance in humans with a scaling-derived protocol. *Eur. J. Appl. Physiol.* 85: 374-382
10. Hoogeveen A. R. , Zonderland M. L. (1996). Relationships between testosterone, cortisol and performance in professional cyclists. *Int. J. Sports Med.* ; 17:423-428
11. Hopkins W. G. , Schabert E. J. , Hawley J. A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med.* 31: 211 -234
12. Izquierdo M. , Ibáñez J. , Hákkinen K. , Kraemer W. J. , Ruesta M. , Gorostiaga E. M. (2004). Maximal strength and power, muscle mass, endurance and serum hormones in weightlifters and road-cyclists. *J. Sports Sci.* 22:465-478
13. Izquierdo M. , Hákkinen K. , González-Badillo J. J. , Ibáñez J. , Gorostiaga E. M. (2002). Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87: 264-271
14. Jackson A. G. , Pollock M. L. (1977). Prediction accuracy of bone density, lean body weight and total volume equations. *Med. Sci. Sports Exerc.* 9: 197-201
15. Jeukendrup A. E. , Craig N. P. , Hawley J. A. (2000). The bionergetics of world class cycling. *J. Sci. Med. Sport*; 4: 414-443
16. Kuipers H. , Verstappen F. T. J. , Keizer H. A. , Guerten P. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. *Int. J. Sports Med.* 6: 197 - 201
17. Lindsay F. H. , Hawley J. A. , Myburgh K. H. , Schomer H. H. , Noakes T. D. , Dennis S. C. (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: 1427 -1434
18. Lucía A. , Hoyos J. , Perez M. , Santalla E. , Earnest C. P. , Chicharro J. L. (2004). Which laboratory variable is related with time trial performance in the Tour of France? *Br. J. Sports Med.* 38: 636-640
19. Lucía A. , Díaz B. , Hoyos J. , Fernández C. , Villa G. , Bandrés F. , Chicharro J. L. (2001). Hormone levels of world class cyclists during the Tour of Spain stage race. *Br. J. Sports Med.* 35: 424-430
20. Lucía A. , Hoyos J. , Chicharro J. L. (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Med*; 31: 325 - 337
21. Lucía A. , Hoyos H. , Chicharro J. L. (2000). Physiological response to professional road cycling: climbers vs. *time trialists*. *Int. J. Sports Med.* 21: 505-512
22. Lucía A. , Hoyos J. , Perez M. . , Chicharro J.L. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 1777-1782
23. Miller F. R. , Manfredi T. G. (1987). Physiological and anthropometrical predictors of 15-kilometer time trial cycling performance time. *Res. Q. Sport Exerc.* 58: 250-254
24. Olds T. S. , Norton K. I. , Lowe E. L. A. Olive S. , Reay F. , Ly S. (1995). Modeling road-cycling performance. *J. Appl. Physiol.* ; 78: 1596-1611
25. Padilla S. , Mujika I. , Cuesta G. , Goiriena J. J. (1999). Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31: 878-885
26. Sutton J. R. , Coleman M. J. , Casey J. , Lazarus L. (1973). Androgen responses during physical exercise. *Br. Med. J.* ; 1: 520-522
27. Swain D. P. , Coast J. R. , Clifford P. S. , Milliken M. C. , Stray-Gundersen J. (1987). Influence of body size on oxygen consumption during bicycling. *J. Appl. Physiol.* 62: 668-672
28. Volek J. S. , Kraemer W. J. , Bush J. A. , Incledon T. , Boetes M. (1997). Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *J. Appl. Physiol.* 82: 49-54
29. Wetlman A. (1995). The Blood Lactate Response to Exercise. *Champaign, IL: Human Kinetics: 1-115*
30. Wheeler G. D. , Singh M. , Pierce W. D. , Epling W. F. , Cumming D. C. (1991). Endurance training decreases serum testosterone level in men without change in luteinizing hormone pulsatile release. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 72:422-425

### Cita Original

M. M. Antón, M Izquierdo, J. Ibáñez, X. Asiain, J. Mendiguchia, E. M. Gorostiaga. Flat and Uphill Climb Time Trial Performance Prediction in Elite Amateur Cyclists. *Int J Sports Med.* (2006). DOI 10.1055/s-2006-924356 Published online.