

Article

Características Fisiológicas de Ciclistas Profesionales de Mountain Bike y de Ruta Exitosos

Hamilton Lee¹, David T. Martin T. Martin¹, Judith M. Anson², Damián Grundy³ y Allan G. Hahn¹¹Department of Physiology, Australian Institute of Sport, Belconnen, ACT²Gadi Research Centre, University of Canberra, ACT³Australian National Mountain Bike Cycling Program, Mt Eliza, Victoria, Australia

RESUMEN

Los objetivos de este estudio fueron comparar las características fisiológicas y antropométricas de ciclistas de mountain bike y de ruta profesionales exitosos y revisar las características de potencia en relación al peso de ciclistas de mountain bike de competición internacional. Los ciclistas de competición internacional (siete ciclistas de montaña y siete ciclistas de ruta) realizaron las siguientes pruebas: mediciones antropométricas, test incremental en bicicleta ergométrica y una prueba contrarreloj de 30 min en el laboratorio. Los ciclistas de montaña tenían un peso menor ($65,3 \pm 6,5$ vs $74,7 \pm 3,8$ kg, $P=0,01$; media \pm s) y eran más magros que los ciclistas de ruta (suma de siete pliegues cutáneos: $33,9 \pm 5,7$ vs $44,5 \pm 10,8$ mm, $P=0,04$). Los ciclistas de montaña alcanzaron mayores producciones de potencia en relación a la masa corporal en el ejercicio máximo ($6,3 \pm 0,5$ contra $5,8 \pm 0,3$ W kg⁻¹, $P=0,03$), en el umbral de lactato ($5,2 \pm 0,6$ contra $4,7 \pm 0,3$ W kg⁻¹, $P=0,048$) y durante la prueba contrarreloj de 30 min ($5,5 \pm 0,5$ contra $4,9 \pm 0,3$ W kg⁻¹, $P=0,02$). De manera similar, el consumo de oxígeno máximo relativo a la masa corporal fue más alto en los ciclistas de mountain bike ($78,3 \pm 4,4$ contra $73,0 \pm 3,4$ ml kg⁻¹min⁻¹, $P=0,03$). Los resultados indican que las características potencia-peso altas son importantes para alcanzar el éxito en el mountainbike. Los ciclistas de montaña tenían características antropométricas y fisiológicas similares a las estudiadas previamente en ciclistas de ruta escaladores.

Palabras Clave: umbral del lactato, consumo de oxígeno máximo, producción de potencia relativa, ciclismo en cuesta

INTRODUCCION

Durante más de 20 años, los científicos han estudiado las características de los atletas exitosos (Saltin y Åstrand, 1967). Es frecuente observar información sobre ciclistas de ruta de sexo masculino de competición (Burke et al., 1977; Coyle et al, 1991; Tanaka et al, 1993), pero sólo recientemente se han publicado datos fisiológicos detallados de los ciclistas de ruta de sexo masculino de clase mundial (Lucía et al, 1998, 1999a, 2001; Padilla et al, 1999; Jeukendrup et al, 2000; Mujika y Padilla, 2001). Estos datos son importantes, porque establecen los requisitos previos para lograr el éxito en las categorías más altas de competición.

En el ciclismo de ruta, las carreras pueden tener diferente formato e ir desde eventos de un solo día (como *criteriums*, pruebas contrarreloj, carreras punto a punto y circuitos con múltiples vueltas) hasta carreras en etapas de 3 semanas. El terreno puede variar de predominantemente llano a sumamente montañoso. En contraste, las carreras de mountainbike de

modalidad cross country son realizadas principalmente en un solo día y los competidores realizan varias vueltas en un circuito en diversos terrenos fuera de pistas que consisten en caminos de tierra y de arena gruesa, sendas estrechas y desiertas y campos abiertos. Las carreras de mountain bike típicamente incluyen descensos técnicos y una proporción significativa de ascensos de pendientes. Las prestigiosas series de la Copa del Mundo de mountain bike incluyen secciones de ascensos que representan aproximadamente 40% de la distancia de la carrera (calculado a partir de 14 World Cup en 1997-98; información proporcionada por los organizadores de la carrera).

Recientemente, Padilla et al. (1999) y Lucía et al. (2000a) han revelado que los ciclistas de ruta escaladores son más livianos (típicamente 60-65 kg) y tienen un consumo de oxígeno máximo más alto (VO_{2max}) en relación a la masa corporal ($\sim 80 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) que otros ciclistas de ruta. Además, se observó que estos escaladores alcanzaban algunas de las producciones de potencia relativas más altas documentadas durante ejercicio aeróbico máximo (promedios de 6,5 y 7,5 W kg^{-1} , respectivamente). Estos resultados no son sorprendentes, porque se sabe que una elevada relación potencia-peso contribuye con el rendimiento de ascenso (Swain, 1994).

A pesar de la popularidad cada vez mayor del mountain bike de modalidad cross country, que se evidencia por su inclusión en los Juegos Olímpicos y por el establecimiento de competencias como el Campeonato Mundial y la Copa del Mundo reconocidos por la Unión Ciclista internacional (*Union Cycliste Internationale* (UCI)), pocos investigadores han analizado las características fisiológicas de los ciclistas de montaña que compiten internacionalmente. En un estudio relevante, Heller y Novotny (1997) describieron las características fisiológicas del equipo nacional de ciclistas de montaña de la República Checa y concluyeron que su VO_{2max} ($74 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) era comparable al de los ciclistas de ruta de élite. Podría inferirse que dado que los ciclistas de montaña corren en terrenos que contienen muchas subidas, tendrían características antropométricas y fisiológicas similares a los ciclistas de ruta escaladores. Sin embargo, los datos del Centro de Entrenamiento Olímpico de Estados Unidos indican que, a diferencia de los escaladores, los ciclistas de montaña no tienen valores más altos de VO_{2max} relativo y de producción de potencia que los ciclistas de ruta en general. Wilber et al. (1997) compararon el equipo nacional masculino de ciclistas de montaña y de ciclistas de ruta de EE.UU y observaron que los dos grupos tenían una masa corporal similar ($-72,0 \text{ kg}$). Notablemente, los ciclistas de ruta produjeron más potencia (expresada tanto en W como W kg^{-1}) que los ciclistas de montaña tanto en el umbral de lactato como en el VO_{2max} . Las observaciones realizadas durante 4 años de los campeones mundiales masculinos de mountain bike (1997-2000) revelaron una masa corporal media de aproximadamente 60 kg (publicada en el momento en que se realizaron las Olimpiadas de Sydney 2000) (SOCOG, 2000). Esto es mucho más liviano que el promedio informado por Wilber et al. (1997), pero concuerda con lo informado previamente para el equipo nacional de ciclistas de montaña de República Checa (Heller y Novotny, 1997) y está cerca de los valores informados para los ciclistas de ruta escaladores (Padilla et al., 1999; Lucía et al., 2000a). A la luz de la diferencia en la información disponible, nosotros intentaremos aclarar las características de los ciclistas de montaña. Más específicamente, creemos que es interesante revisar el aspecto relacionado a la relación potencia-peso de los ciclistas de montaña que compiten internacionalmente, utilizando las adecuadas pruebas de rendimiento en laboratorio.

El objetivo principal de este estudio fue probar la hipótesis que los ciclistas de montaña de competición poseen mejores aspectos de aptitud potencia-peso que los ciclistas de ruta. Además, deseamos ampliar la investigación previa que describe las características antropométricas y fisiológicas de ciclistas de ruta y de montaña de competición.

METODOS

Participantes

Los participantes eran ciclistas varones australianos, que participaban en competencias nacionales e internacionales de mountain bike de modalidad cross country y de ruta, que participaron en los campamentos de entrenamiento nacional llevados a cabo en el Instituto Australiano de Deporte (AIS) durante un período de 26 meses. Durante este período en el cual se evaluaron 18 varones ciclistas de montaña y 30 varones ciclistas de ruta senior, seleccionamos los siete ciclistas más competitivos en cada categoría; mountainbike y ruta. Doce de los 14 ciclistas completaron toda la batería de pruebas en varias ocasiones a lo largo de la estación competitiva. Sólo se consideró para cada ciclista la mejor prueba, definida como la producción de potencia máxima más alta alcanzada en un test progresivo máximo, y estos resultados fueron incluidos en el conjunto de datos. Todos los ciclistas habían representado a Australia a las competencias de los Campeonatos Mundiales y habían sido considerados por sus entrenadores nacionales representantes potenciales de Australia para los Juegos Olímpicos. Entre los siete ciclistas de montaña había campeones nacionales actuales y anteriores, representantes de los Juegos Olímpicos y finalistas de la Copa del Mundo. Uno de los ciclistas había ganado varias medallas en el Campeonato Mundial, había ganado en la Copa del Mundo y, durante el transcurso de este estudio, ganó las series

completas de la Copa del Mundo; lo que le permitió alcanzar el Número 1 en el ranking mundial de puntos UCI durante ese año. Los siete ciclistas de ruta eran profesionales con sponsors que corrían internacionalmente para los equipos de sus marcas comerciales respectivas. Tres de ellos eran representantes olímpicos y habían competido por lo menos una vez y hasta seis veces en una de las 3 "Vueltas Grandes Vueltas" del ciclismo de ruta (es decir Tour de Francia, Giro d'Italia y la Vuelta a España).

Procedimientos Experimentales

Las pruebas se realizaron en un laboratorio con aire acondicionado en el cual las condiciones ambientales fueron: temperatura 19-23°C, humedad relativa 31-63% y presión 695-710 mmHg. Todos los ciclistas realizaron los tests en 2 días, separados por 1-10 días. Se les solicitó que evitaran realizar entrenamiento de alta intensidad en las 24 h previas a cada día de evaluación. Todos los ciclistas habían sido evaluados previamente en el laboratorio de AIS y estaban familiarizados con los protocolos de evaluación. Los procedimientos usados en este estudio fueron aceptados por el Comité de Ética para la Investigación Humana de la Universidad Canbera y por el Comité de Ética de AIS. Antes de realizar los tests los participantes firmaron un consentimiento informado.

Antropometría

En la mañana del primer día de evaluaciones, un antropometrista acreditado por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cinantropometría (ISAK) realizó la medición de la talla con un nivel de apreciación de un milímetro (*estadiómetro de Harpenden, Holtain S.A., REINO UNIDO*), de la masa corporal con un nivel de apreciación de ± 50 g (Balanza de pesodigital DS-410, *Teraoka Seiko Cía., S.A., Japón*) y de siete pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, supraespinal, abdominal, muslo frontal y pantorrilla media; con calibres de pliegues cutáneos Harpenden, British indicators. UK). A partir de la suma de los siete pliegues cutáneos, se calculó el porcentaje de grasa corporal estimado mediante una ecuación de regresión (Norton, 1996) modificada del trabajo original de Withers et al. (1987).

Test Progresivo Máximo

Después de una entrada en calor seleccionada por los participantes, los ciclistas realizaron un test incremental continuo, progresivo hasta el agotamiento en una bicicleta ergométrica con freno electrónico (*Lode Excalibur, Groningen, Países Bajos*) equipada con un sillín, y manillar de ruta y cada ciclista contó con su propio sistema de pedales. La bicicleta ergométrica fue revisada regularmente en cuanto a su exactitud y confiabilidad con un equipo de calibración dinámico (Woods et al., 1994) y se observó que se encontraba $\pm 1,8\%$ de la producción de potencia real de 100 a 800 W en cadencias de pedaleo entre 60 y 140 revmin^{-1} . Para el test progresivo, la bicicleta ergométrica fue ajustada para reproducir las dimensiones de la propia bicicleta de carrera de cada ciclista y fue operada en modo 'hiperbólico', en el cual la producción de potencia es constante independientemente de la cadencia de pedaleo.

El test comenzó a 100 W, y la producción de potencia se incrementó 50 W cada 5 min hasta el agotamiento volitivo o hasta que el participante no pudiera mantener una cadencia de pedaleo $> 70 \text{ revmin}^{-1}$. Los gases expirados fueron recolectados durante los 3 min finales de cada carga de trabajo submáxima de 5 min y luego de manera continua a lo largo de la etapa máxima. El sistema de calorimetría indirecta de primeros principios basado en dos gasómetros Tissot y analizadores de oxígeno y dióxido de carbono Ametek (Pittsburgh, PA) ha sido descrito previamente (Pierce et al., 1999). Antes de cada test, los analizadores de gases fueron calibrados usando tres gases de precisión (BOC Gases, Australia) de concentraciones conocidas de oxígeno ($\pm 0,02\%$) y dióxido de carbono ($\pm 0,02\%$) que abarcaban el intervalo fisiológico. El software realizado a pedido (AIS, Canberra, Australia) fue usado para calcular el VO_2 , la producción de dióxido de carbono, la ventilación por minuto (VE) y la tasa de intercambio respiratorio (RER) cada 30 s sobre la base de ecuaciones estándar. El $\text{VO}_{2\text{pico}}$ se definió como la suma de las dos lecturas consecutivas más altas de VO_2 en los períodos de 30 seg. En este estudio, nosotros adoptamos el $\text{VO}_{2\text{pico}}$ porque ni los ciclistas de montaña ni los ciclistas de ruta presentaron un *plateau* claro en el consumo de oxígeno durante el test progresivo. Sin embargo, al revisar la literatura, utilizamos el término $\text{VO}_{2\text{max}}$ por si los investigadores anteriores normalmente adoptaban esta terminología de uso muy común. En todos los tests progresivos, se colocó un ventilador delante de los ciclistas dirigido hacia la cara y la parte superior del cuerpo para proporcionar una velocidad de viento de 15-20 km h^{-1} .

La producción de potencia máxima (W_{max}) del test progresivo se determinó por medio de la siguiente fórmula (Kuipers et al., 1985):

$$W_{\text{max}} = W_{\text{com}} + (t/300) \times 50$$

Donde W_{com} es la producción de potencia de la última carga de trabajo completada, t es el tiempo en segundos en el que se mantuvo la última carga de trabajo no completada, 300 es el número deseado en segundos en cada carga de trabajo y 50 es el incremento de carga de trabajo en watts.

La frecuencia cardíaca fue monitoreada a lo largo del test (Polar VantageNV, Electro Polar, Kempele, Finlandia) y se analizaron los datos de los últimos 30 segundos de cada carga de trabajo. Al finalizar cada etapa se extrajeron 100 µl de sangre capilar de la yema de los dedos y fueron colocados en un tubo de vidrio con heparina (*Clinitubes, Radiometer, Copenhagen, Dinamarca*) para su posterior análisis. Las muestras de sangre se analizaron inmediatamente para determinar la acidez (pH) y concentración de lactato en un analizador automático de sangre y gases (*ABL 725, Radiometer Medical, Copenhagen, Dinamarca*) que fue calibrado diariamente siguiendo las indicaciones fabricante.

Umbral D-max_{mod}

Empleando los datos del test progresivo, se realizó un gráfico de la relación entre el lactato sanguíneo y la producción de potencia mediante un software personalizado (*ADAPT versión 3,3, AIS in house software, Canberra, Australia*), que también permitió calcular un umbral D-max modificado ($D\text{-max}_{\text{mod}}$). Brevemente, es el punto de la curva de regresión polinómica que representa la mayor distancia perpendicular con respecto a una línea recta que conecta la carga de trabajo que precede al aumento de $0,4 \text{ mmol l}^{-1}$ en el lactato sanguíneo por encima de la línea de base hasta la última carga de trabajo (Bourdon, 2000).

Economía

La relación producción de potencia-coste de oxígeno se determinó para cada ciclista por medio de regresión lineal y los datos recolectados se iniciaron en 100 W hasta la penúltima carga de trabajo. Luego los coeficientes de regresión fueron promediados para establecer una ecuación de regresión para los ciclistas de montaña y ciclistas de ruta, respectivamente. Finalmente, se calculó la economía de ciclismo, definida como la producción de potencia en watts por litro de oxígeno consumido por minuto (Coyle, 1995), con la siguiente fórmula:

Economía = Cambio en la carga de trabajo (W) / cambio en el VO_2 ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$)

Prueba Contrarreloj de 30 min en Laboratorio

Dentro de los 10 días de haber realizado el test progresivo, los ciclistas regresaron al laboratorio para realizar una prueba contrarreloj de máxima intensidad de 30 min con ritmo seleccionado por los mismos participantes en la bicicleta ergométrica descrita previamente. Para la prueba contrarreloj de 30 min, la bicicleta ergométrica se fijó en modo 'lineal' en el cual la producción de potencia aumentaba en proporción a la cadencia de pedaleo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$W = LF \cdot (\text{RPM})^2$$

Donde W es la producción de potencia, LF es un factor lineal constante y RPM es la cadencia de pedaleo. El factor lineal usado para cada participante fue programado inicialmente de modo que su producción de potencia $D\text{-max}_{\text{mod}}$ se generara en una cadencia de pedaleo de $100 \text{ rev}\cdot\text{min}^{-1}$. Después de realizar una entrada en calor de una duración y producción de potencia establecidas por ellos mismos, los ciclistas fueron familiarizados brevemente (prueba de 20 seg) con el factor lineal seleccionado e inmediatamente antes de la prueba contrarreloj de 30 min, se les permitió ajustar este factor si era necesario.

El trabajo acumulado y la frecuencia cardíaca se registraron al final de cada minuto. La producción de potencia media sostenida durante la prueba contrarreloj de 30 min se calculó a partir del trabajo acumulado total. La cadencia se registró cada 5 min a lo largo de la prueba contrarreloj y las muestras de sangre capilar fueron recolectadas siguiendo el mismo cronograma utilizando las técnicas previamente descritas para el test progresivo. Con la excepción de uno de los ciclistas de ruta, los gases expirados fueron recolectados y analizados a los 0-5, 10-15 y 20-25 min. Se permitió que los participantes bebieran agua ad libitum entre los intervalos de recolección de gases y fueron refrescados durante prueba mediante un ventilador que operaba a una velocidad del viento constante de 20 km h^{-1} .

Análisis Estadísticos

Las variables dependientes fueron analizadas mediante estadísticos descriptivos y se presentan en forma de media \pm desviación estándar (s) y rango. Los ciclistas de montaña y los ciclistas de ruta fueron comparados por medio de test t de muestras independientes y luego las diferencias medias entre los grupos se convirtieron a porcentajes para una mejor presentación. Para evitar cometer error de tipo II (Curran-Everett et al., 1998), analizamos adicionalmente los datos utilizando los tamaños de efectos (d) para asegurar que las diferencias importantes pero no significativas entre los grupos no fueran pasadas por alto. Los tamaños de efecto se categorizaron como pequeño, medio y grande para $d = 0,2, 0,5$ y $0,8$, respectivamente (Cohen, 1988). Todos los análisis fueron realizados con el software Statistica para Windows (versión 5,5, StatSoft, Tulsa, OK). La significancia estadística se fijó en $P < 0,05$.

RESULTADOS

Antropometría

Los ciclistas de montaña y de ruta no presentaron diferencias en la edad o talla, pero los primeros eran significativamente más livianos y magros (diferencias absolutas de 9,4 kg para la masa corporal, $P=0,01$; 10,6 mm para la suma de los siete pliegues cutáneos, $P=0,04$; y 1,8% para la grasa corporal estimada, $P=0,04$) (Tabla 1).

| | Ciclistas de montaña | | Ciclistas de ruta | | Diferencia absoluta (%) | d |
|--|----------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------------|------|
| Edad (años) | 24,4±3,4 | (21,0-30,2) | 24,2±4,9 | (20,5-34,4) | 1 | 0,04 |
| Talla (m) | 1,78±0,07 | (1,66-1,87) | 1,84±0,03 | (1,81-1,89) | 3 | 0,99 |
| Masa corporal (kg) | 65,3±6,5 | (53,6-74,9) | 74,7±3,8 | (68,0-79,3) | 14* | 1,32 |
| Suma de los siete pliegues cutáneos (mm) | 33,9±5,7 | (26,2-43,2) | 44,5±10,8 | (32,5-64,2) | 31* | 1,06 |
| Adiposidad corporal estimada (%) | 6,1±1,0 | (4,8-6,7) | 7,9±1,8 | (5,9-11,3) | 29* | 1,06 |

Tabla 1. Características antropométricas de ciclistas de montaña y ciclistas de ruta (media±s; rango entre paréntesis) Nota: La suma de los siete pliegues cutáneos abarca los siguientes sitios: tríceps, subscapular, bíceps, supraespal, abdominal, muslo frontal y pantorrilla media. d = tamaño del efecto. * Se observaron diferencias significativas entre ciclistas de montaña y ciclistas de ruta ($P < 0,05$).

Test Máximo Progresivo y Umbral D-max_{mod}

Tanto la producción de potencia máxima (W_{max}) como el VO_{2pico} fueron más altos (9% y 7%, respectivamente; ambos $P=0,03$) en los ciclistas de montaña que en los ciclistas de ruta cuando fueron expresados en relación a la masa corporal, pero no en las condiciones absolutas (Tabla 2). La ventilación máxima por minuto (VE) y la frecuencia cardíaca no fueron diferentes entre los dos grupos, y tampoco se observaron diferencias en el lactato máximo y pH mínimo (Tabla 2). Los ciclistas de montaña produjeron una mayor potencia en relación a la masa corporal (11%, $P=0,048$) que los ciclistas de ruta en el umbral D-max_{mod} (Tabla 3). Sin embargo no se observaron diferencias, entre los dos grupos en el umbral D-max_{mod} para la producción de potencia absoluta, % W_{max} , % VO_{2pico} , concentración de lactato ni frecuencia cardíaca.

| | Ciclistas de montaña | | Ciclistas de ruta | | Diferencia absoluta % | d |
|--|----------------------|-------------|-------------------|-------------|-----------------------|------|
| W_{max} (W) | 413±36 | (355-455) | 431±12 | (410-450) | 4 | 0,66 |
| W_{max} (W kg ⁻¹) | 6,3±0,5 | (6,0-7,3) | 5,8±0,3 | (5,4-6,3) | 9* | 1,15 |
| VO_{2pico} (l·min ⁻¹) | 5,1±0,5 | (4,3-5,6) | 5,4±0,1 | (5,2-5,6) | 7 | 0,92 |
| VO_{2pico} (ml kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 78,3±4,4 | (74,5-87,0) | 73,0±3,4 | (69,6-78,4) | 7* | 1,14 |
| V_E (l min ⁻¹) | 139±24,0 | (106-179) | 149±12,9 | (129-160) | 7 | 0,52 |
| Economía (W l ⁻¹) | 91±6 | (80-97) | 86±4 | (82-92) | 6 | 0,94 |
| Frecuencia cardíaca (lat.min ⁻¹) | 189±5 | (181-194) | 191±9 | (171-198) | 1 | 0,16 |
| Lactato (mmol l ⁻¹) | 10,1±2,6 | (7,6-14,5) | 10,6±1,4 | (8,5-12,6) | 5 | 0,22 |
| pH | 7,21±0,03 | (7,27-7,15) | 7,25±0,04 | (7,29-7,19) | 1 | 0,82 |

Tabla 2. Respuestas frente al ejercicio máximo de ciclistas de montaña y ruta (media±s; rango entre paréntesis). Nota: W_{max} = producción de potencia máxima, VO_{2peak} = consumo de oxígeno pico, VE = ventilación máxima, d = tamaño del efecto. * Se observaron diferencias significativas entre los ciclistas de montaña y de ruta ($P < 0,05$).

| | Ciclistas de montaña | | Ciclistas de ruta | | Diferencia absoluta % | d |
|---|----------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|------|
| D-max _{mod} (W) | 339±31 | (306-384) | 348±16 | (320-371) | 3 | 0,37 |
| D-max _{mod} (W·kg ⁻¹) | 5,2±0,6 | (4,7-6,1) | 4,7±0,3 | (4,2-5,2) | 11* | 1,15 |
| %W _{max} | 82±4 | (78-87) | 81±3 | (78-86) | 2 | 0,43 |
| %VO _{2pico} | 86±6 | (78-93) | 88±4 | (83-94) | 2 | 0,39 |
| Lactato (mmol·l ⁻¹) | 3,3±0,7 | (2,5-4,4) | 3,1±0,8 | (2,4-4,7) | 8 | 0,34 |
| Frecuencia cardíaca (latmin ⁻¹) | 172±11 | (149-182) | 170±11 | (153-183) | 1 | 0,15 |

Tabla 3. Respuestas frente al ejercicio en el umbral D-máximo modificado (D-max_{mod}) en ciclistas de montaña y ciclistas de ruta (media±s; rango entre paréntesis). Nota: W_{max} = producción de potencia máxima, VO_{2pico} = consumo de oxígeno pico, d = tamaño del efecto. * Se observaron diferencias significativas entre los ciclistas de montaña y ciclistas de ruta (P <0,05).

Economía

La relación entre la producción de potencia y el costo de oxígeno fue lineal para los ciclistas de mountain bike y de ruta. Las ecuaciones de regresión fueron las siguientes:

$$VO_2 \text{ (l·min}^{-1}\text{)} = 0,0110 W + 0,5626 \text{ (ciclistas de mountain bike)}$$

$$VO_2 \text{ (l min}^{-1}\text{)} = 0,0116 W + 0,4662 \text{ (ciclistas de ruta)}$$

Aunque la producción de potencia calculada por litro de oxígeno para los ciclistas de mountain bike fue 6% superior a la de los ciclistas de ruta, esta diferencia no fue estadísticamente significativa (91±6 contra 86 ± 4 W l⁻¹min⁻¹, P=0,08). Sin embargo, el tamaño del efecto era grande (d = 0,94).

Prueba Contrarreloj de 30 min en el Laboratorio

Los ciclistas de montaña presentaron una mayor producción de potencia sostenida relativa al peso corporal (11%, P=0,02) que los ciclistas de ruta (Tabla 4). No se observaron diferencias entre los dos grupos de ciclistas en la producción de potencia absoluta sostenida, % W_{max}, VO₂ (L·min⁻¹), % VO_{2pico}, frecuencia cardíaca máxima porcentual o concentración de lactato.

| | Ciclistas de montaña | | Ciclistas de ruta | | Diferencia absoluta % | d |
|--|----------------------|------------|-------------------|-----------|-----------------------|------|
| Potencia media (W) | 358±34 | (307-402) | 370±11 | (351-388) | 3 | 0,47 |
| Potencia media (W kg ⁻¹) | 5,5±0,5 | (5,0-6,5) | 4,9±0,3 | (4,5-5,5) | 11* | 1,17 |
| %W _{max} | 87±2 | (83-90) | 86±4 | (82-95) | 1 | 0,23 |
| VO ₂ medio (l min ⁻¹) | 4,5±0,5 | (3,8-5,1) | 4,8±0,2 | (4,5-5,1) | 7 | 0,77 |
| %VO _{2pico} | 88±4 | (84-95) | 88±5 | (80-95) | 1 | 0,08 |
| % Frecuencia cardíaca máxima | 93±2 | (92-96) | 92±3 | (89-98) | 2 | 0,69 |
| Lactato medio (mmol·l ⁻¹) | 6,4±2,2 | (4,2-10,2) | 6,1±1,5 | (4,1-8,3) | 4 | 0,13 |

Tabla 4. Parámetros fisiológicos analizados en la prueba contrarreloj de 30 min realizada en laboratorio por ciclistas de montaña y ciclistas de ruta. Los datos se expresan en forma de media±s (rango entre paréntesis)

Nota: W_{max} = producción de potencia máxima, VO_{2pico} = consumo de oxígeno máximo, d = tamaño del efecto. * Se observaron diferencias significativas entre los ciclistas de montaña y los ciclistas de ruta (P <0,05).

DISCUSION

Este estudio aporta información adicional sobre las características fisiológicas y antropométricas de los ciclistas de montaña de élite y, por primera vez, presenta datos recolectados de ciclistas de montaña de élite que realizaron un test de

rendimiento sostenido (prueba contrarreloj de 30 min). El hallazgo más llamativo fue que la producción de potencia relativa a la masa corporal fue mayor para los ciclistas de montaña que para los ciclistas de ruta no sólo en el ejercicio máximo si no que también en el umbral $D\text{-max}_{\text{mod}}$ y durante una prueba contrarreloj de 30 min. De manera similar, el $\text{VO}_{2\text{pico}}$ fue mayor cuando se expresó en relación a la masa corporal ($\text{ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$). La observación de que los ciclistas de montaña eran más livianos y magros que sus colegas de ciclismo de ruta probablemente contribuyó con este resultado.

Antropometría

Los ciclistas de montaña fueron significativamente más livianos y, aunque no alcanzó la significancia estadística, presentaron una tendencia a ser más bajos ($d=0,99$); así presentaron un perfil morfológico similar al de los ciclistas escaladores descritos previamente en la literatura (Padilla et al., 1999; Lucía et al., 2000a). La talla de los ciclistas de ruta en este estudio era comparable con la de los ciclistas de ruta del equipo nacional americano (Wilber et al., 1997). Su talla también fue comparable con la de especialistas de “todo-terreno”, “pruebas contrarreloj” y de “terrenos llanos”, pero eran más altos y más pesados que los escaladores entre los profesionales de ciclismo de ruta (Padilla et al., 1999; Lucía et al., 2000a). Esto no es sorprendente, porque en este estudio ninguno de los ciclistas de ruta fue considerado escalador. De hecho, en las carreras de ciclismo de ruta que involucran terrenos montañosos, los ciclistas más pequeños (por ejemplo Heras, Pantani y Virenque) tienden a tener ventaja. Dado que las carreras de mountain bike de la Copa Mundial ponen un énfasis sustancial en las escaladas, es lógico que los ciclistas pequeños y livianos tengan una ventaja de rendimiento. El ciclista de montaña más competitivo en este estudio tuvo una masa corporal similar al promedio obtenido en los cinco principales ciclistas de montaña de sexo masculino ($63,6\pm 7,9$ kg) que compitieron en las Olimpiadas de Sídney 2000 (SOCOG, 2000).

Una comparación del porcentaje de grasa corporal entre los estudios de atletas de élite puede no aportar conclusiones porque los investigadores normalmente usan diferentes técnicas, instrumentos y formulas para determinar sus resultados. No obstante, se ha demostrado previamente que la grasa corporal de los ciclistas de mountain bike y ciclistas de ruta profesionales tienen valores de 5,8 a 6,4 y de 4,7 a 8,9%, respectivamente (Heller y Novotny, 1997; EWilber et al, 1997; Padilla et al, 1999; Lucía et al, 2000a). Los resultados del estudio actual son comparables con estos rangos; además, los ciclistas de montaña eran significativamente más magros que los ciclistas de ruta. Es posible que los ciclistas de montaña se preocuparan más por mantener un menor porcentaje de grasa corporal debido a la vinculación percibida entre la masa corporal baja y el rendimiento al competir en terrenos montañosos. De hecho, se ha sugerido que la producción de potencia máxima relativa a la masa corporal es adecuada para predecir la capacidad de subir montañas (Nevill et al, 1992; Padilla et al, 1999), sobre todo en terreno empinado. Esto concuerda con lo observado en estudios recientes en los cuales los ciclistas de ruta escaladores tenían la mayor producción de potencia máxima relativa a la masa corporal de todos los ciclistas de ruta (Padilla et al, 1999; Lucía et al, 2000a). En contraste, los ciclistas de ruta podrían prestar menos atención a la composición corporal, porque la masa corporal no tendría un efecto sustancial en el rendimiento durante las carreras en terrenos más llanos.

Producción de Potencia Relativa y $\text{VO}_{2\text{pico}}$

En este estudio las producciones de potencia máximas de los ciclistas de mountain bike y de los ciclistas de ruta son comparables con las informadas previamente para ciclistas de ruta profesionales de nivel mundial que están entre los valores más altos informados en la literatura (Lucía et al, 1998, 2000a; Padilla et al, 1999). Sin embargo, estos datos deben ser interpretados en relación al protocolo de la prueba, porque las producciones de potencia más altas ocurren típicamente cuando las pruebas son de duración más corta (por ejemplo incrementos de 1 min) (Lucía et al, 2001). La producción de potencia máxima informada en un estudio que utilizó etapas incrementales de 4 min para ciclistas de ruta profesionales varió de 5,58 a 6,82 W kg^{-1} (Padilla et al, 1999), lo que es similar a los resultados obtenidos en los ciclistas de montaña (6,3 W kg^{-1}) y ciclistas de ruta (5,8 W kg^{-1}) en este estudio utilizando etapas de 5 min. Se han informado producciones de potencia máximas aun más altas para ciclistas de ruta profesionales (7,3 W kg^{-1}) (Chicharro et al, 2000; Lucía et al, 2000a,b), pero estos estudios usaron un protocolo incremental de 1 min. Un protocolo similar se usó en los estudios con los equipos nacionales de ciclistas de montaña de EE.UU. y República Checa quienes registraron producciones de potencia máxima de 5,9 y 6,34 W kg^{-1} , respectivamente (Heller y Novotny, 1997; Wilber et al, 1997). Los ciclistas de montaña en nuestro estudio alcanzaron una producción de potencia relativa similar a estas, a pesar de que se utilizó un protocolo de prueba incremental de 5 min, lo que sugiere que eran de nivel superior. De hecho, las producciones de potencia máximas relativas de 6,0-7,3 W kg^{-1} del grupo actual de ciclistas de montaña se comparan favorablemente con la de ciclistas estudiados previamente (Lucía et al, 1998, 2000a; Padilla et al, 1999, 2000).

En este estudio los valores de $\text{VO}_{2\text{pico}}$ de los ciclistas de montaña y de ruta son similares a los mayores valores medios informados para los ciclistas de ruta (5,0-5,5 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ o 70-80 $\text{ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$) (Wilber et al, 1997; Lucía et al, 1998, 1999b, 2000a; Padilla et al, 1999). Como era de esperar, el $\text{VO}_{2\text{pico}}$ siguió un patrón similar a la producción de potencia máxima. Aunque se observó una tendencia hacia un menor $\text{VO}_{2\text{pico}}$ absoluto en los ciclistas de montaña ($d=0,92$), al expresarlo en relación a la masa corporal fue significativamente más alto en los ciclistas de montaña que en los ciclistas de ruta y fue

similar a los valores informados previamente para ciclistas de ruta escaladores ($\sim 80 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) (Padilla et al, 1999; Lucía et al, 2000a). Se ha demostrado que entre los ciclistas de ruta profesionales, estos últimos ciclistas poseen los valores más altos de $\text{VO}_{2\text{max}}$ relativo. Además, el $\text{VO}_{2\text{pico}}$ relativo de los ciclistas de montaña en este estudio fue más alto que los valores medios informados previamente para los ciclistas de montaña de equipos de EE.UU y República Checa (Heller y Novotny, 1997; Wilber et al, 1997).

Umbrales

Normalmente se usan los umbrales de lactato sanguíneo y ventilatorio como indicadores de capacidad de resistencia. Los estudios previos han demostrado que parámetros fisiológicos como el umbral de lactato es mejor estimador de rendimiento de resistencia que el $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Coyle et al, 1988, 1991). Además, estos parámetros pueden diferenciar entre ciclistas de diferentes niveles. Lucía et al. (1998) observaron que el umbral ventilatorio se alcanzaba en un porcentaje más alto de $\text{VO}_{2\text{max}}$ en ciclistas de ruta profesionales que en ciclistas de ruta de élite a pesar de que ambos grupos tenían valores de $\text{VO}_{2\text{max}}$ similares.

Las diferencias en los protocolos y métodos la evaluación utilizados para determinar los umbrales de lactato y ventilatorio dificultan la comparación entre los estudios. No obstante, el umbral $\text{D-max}_{\text{mod}}$ expresado como un porcentaje de $\text{VO}_{2\text{pico}}$ en este estudio ($\sim 87\%$) es similar al umbral ventilatorio informado previamente para los ciclistas de ruta profesionales (Lucía et al, 1998, 2000a).

Según nuestros conocimientos, pocos estudios han informado los umbrales de lactato o ventilatorio para ciclistas de montaña (Heller y Novotny, 1997; Wilber et al, 1997). Por otra parte, el umbral ventilatorio para los ciclistas de montaña del equipo nacional Checo (Heller y Novotny, 1997) fue menor que el umbral $\text{D-max}_{\text{mod}}$ del estudio actual (77,1 contra 88,0 % $\text{VO}_{2\text{pico}}$) y menor que los valores mencionados previamente de los ciclistas de ruta profesionales (Lucía et al, 1998, 2000a). Aunque estas diferencias pueden ser atribuidas en parte a la variación en el nivel de los ciclistas entre los estudios, probablemente también reflejan las diferentes técnicas utilizadas para identificar la intensidad del umbral.

Economía

La economía fisiológica, expresada como el cambio en la producción de potencia por litro de cambio en el VO_2 , fue similar en este estudio a los valores informados previamente para los varones y mujeres que integran el equipo nacional americano de ciclistas de montaña y de ruta (Wilber et al, 1997). Al igual que Wilber et al. (1997), nosotros no observamos ninguna diferencia en la economía entre los ciclistas de montaña y los ciclistas de ruta. En conjunto, estos resultados indican que la economía del ciclismo es similar entre los ciclistas altamente competitivos de ambos de sexos y entre los ciclistas de montaña y ciclistas de ruta. Adicionalmente, nuestros coeficientes de regresión para la relación entre la producción de potencia y el costo de oxígeno fueron similares a los determinados por Hawley y Noakes (1992), quienes describieron la relación entre la producción de potencia pico y el consumo de oxígeno máximo en ciclistas entrenados en una amplia gama de niveles.

Prueba Contrarreloj de 30 min

Una nueva característica de este estudio fue la inclusión de una prueba contrarreloj de 30 min realizada en laboratorio para comparar el rendimiento de ciclistas de montaña y ciclistas de ruta en un ambiente controlado. Como grupo combinado, los ciclistas pudieron mantener el 88% de $\text{VO}_{2\text{pico}}$ o 86% de la producción de potencia máxima, con una concentración de lactato media de $\sim 6,0 \text{ mmol l}^{-1}$. Estos resultados son comparables a los informados por Coyle et al. (1991) para ciclistas de ruta de equipo nacional de EE.UU, que realizaron un test de rendimiento de una hora en laboratorio. Sin embargo, los ciclistas en el estudio presente pudieron generar producciones de potencia absolutas y relativas superiores a las de los ciclistas estudiados por Coyle et al. (1991) (358 W y $5,5 \text{ W kg}^{-1}$ para los ciclistas de montaña y 370 W y $4,9 \text{ W kg}^{-1}$ para los ciclistas de ruta contra 346 W y $4,75 \text{ W kg}^{-1}$, respectivamente), lo que probablemente se deba al mayor nivel de los ciclistas que participaron en este estudio. Aunque la producción de potencia media expresada en condiciones absolutas fue similar en ciclistas de montaña y ciclistas de ruta, en la prueba contrarreloj de 30 min, el hecho de que los ciclistas de montaña eran más livianos, dio como resultado una producción de potencia relativa a la masa del cuerpo un 10,9% mayor. Aunque actualmente no se conoce con certeza cual exponente de masa es mejor para estimar la capacidad de realizar ciclismo en ascenso, se ha sugerido que un exponente de masa igual a 1 (es decir la masa corporal total) es muy apropiado (Nevill et al, 1992; Padilla et al, 1999).

Nosotros no medimos la capacidad de realizar ascensos en el campo. Por lo tanto, no podemos establecer si el W kg^{-1} en la prueba contrarreloj de 30 min estima con precisión la capacidad de subir montañas durante una carrera. Notablemente, nuestros resultados no concuerdan con lo observado por Wilber et al. (1997), quienes compararon ciclistas de montaña y de ruta del equipo nacional americano y observaron que los ciclistas de ruta tenían mayores producciones de potencia absolutas y relativas en el umbral del lactato y durante el ejercicio máximo. Esta diferencia puede ser explicada por el

mayor nivel competitivo de los ciclistas de montaña en nuestro estudio que incluyó a campeones nacionales actuales y anteriores y, durante el estudio, el No. 1 del ranking de ciclistas de montaña en el mundo. Aunque Wilber et al. (1997) estudiaron a ciclistas muy comprometidos algunos podrían no haber sido evaluados en el punto máximo de sus carreras.

En resumen, nuestros resultados sugieren que la característica más distintiva de los ciclistas de montaña cuando se comparan con ciclistas de ruta que no son especialistas en ascensos, es una mayor producción de potencia relativa a la masa corporal. No se observaron diferencias significativas entre los ciclistas de montaña altamente competitivos y ciclistas de ruta en la producción de potencia máxima, $\dot{V}O_2$ pico y umbral D-max_{mod} en términos absolutos, pero cuando estos parámetros se expresaron en relación a la masa corporal, los ciclistas de montaña sobresalieron. Adicionalmente, los ciclistas de montaña tenían una mayor masa magra que los ciclistas de ruta. Estos resultados indican la excepcional aptitud física para la resistencia que poseía el grupo actual de ciclistas de montaña y sugieren que la modalidad cross country es un deporte de resistencia exigente que requiere una aptitud física sumamente alta en el nivel internacional.

Agradecimientos

Deseamos agradecer a los programas de ciclismo AIS y Mountain bike por su cooperación y apoyo durante esta investigación. Especialmente deseamos agradecer a Christopher J. Gore por su valiosa contribución y a los muchos científicos y técnicos del Departamento de Fisiología del Instituto Australiano de Deporte que colaboraron con la recolección de los datos.

REFERENCIAS

1. Bourdon, P. (2000). Blood lactate transition thresholds: concepts and controversies. *In Physiological Tests for Elite Athletes*
2. Burke, E.R, Cerny, R, Fink, W. and Costill, D. (1977). Characteristics of skeletal muscle in competitive cyclists. *Medicine and Science in Sports, 9, 109-112.*
3. Chicharro, J.L., Hoyos, J. and Lucia, A. (2000). Effects of endurance training on the isocapnic buffering and hypo-capnic hyperventilation phases in professional cyclists. *British Journal of Sports Medicine, 34, 450-455.*
4. Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. *Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.*
5. Coyle, E.F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise and Sport Sciences Reviews, 23, 25-63.*
6. Coyle, E.F., Coggan, A.R., Hooper, M.K. and Walters, T.J. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *Journal of Applied Physiology, 64, 2622-2630.*
7. Coyle, E.F, Feltner, M.E. and Kautz, S.A. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 23, 93-107.*
8. Curran-Everett, D, Taylor, S. and Kafadar, K. (1998). Fundamental concepts in statistics: elucidation and illustration. *Journal of Applied Physiology, 85, 775-786.*
9. Hawley, J.A. and Noakes, T.D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology, 65, 79-83.*
10. Heller, J. and Novotny, J. (1997). Aerobic and anaerobic capacity in elite mountain bikers. *Acta Universitatis Carolinae, Kinanthropologica, Prague, 33, 61-68.*
11. Jeukendrup, A.E., Craig, N.P and Hawley, J.A. (2000). The bioenergetics of world class cycling. *Journal of Science and Medicine in Sport, 3, 414-433.*
12. Kuipers, H., Verstappen, F.T.J., Keizer, H.A., Geurten, P. and van Kranenburg, G (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *International Journal of Sports Medicine, 6, 197-201.*
13. Lucia, A., Pardo, J., Duran, A., Hoyos, J. and Chicharro, J.L. (1998). Physiological differences between professional and elite road cyclists. *International Journal of Sports Medicine, 19, 342-348.*
14. Lucia, A., Carvajal, A., Calderón, F.J., Alfonso, A. and Chicharro, J.L. (1999). Breathing pattern in highly competitive cyclists during incremental exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 79, 512-521.*
15. Lucia, A., Hoyos, J., Carvajal, A. and Chicharro, J.L. (1999). Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *International Journal of Sports Medicine, 20, 167-172.*
16. Lucia, A., Hoyos, J. and Chicharro, J.L. (2000). Physiological response to professional road cycling: climbers vs time trialists. *International Journal of Sports Medicine, 21, 505-512.*
17. Lucia, A., Hoyos, J. and Chicharro, J.L. (2000). The slow component of $\dot{V}O_2$ in professional cyclists. *British Journal of Sports Medicine, 34, 367-374.*
18. Lucia, A., Hoyos, J. and Chicharro, J.L. (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Medicine, 31, 325-337.*
19. Mujika, I. and Padilla, S. (2001). Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports Medicine, 31, 479-487.*
20. Nevill, A.M., Ramsbottom, R and Williams, C. (1992). Scaling physiological measurements for individuals of different body size. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 65, 110-117.*
21. Norton, K. (1996). Anthropometric estimation of body fat. *In Anthropometria*

22. Padilla, S., Mujika, I., Cuesta, G and Goiriena, J.J. (1999). Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 878-885.
23. Padilla, S., Mujika, I., Orbananos, J. and Ángulo, F. (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 850-856.
24. Pierce, S.J., Hahn, A.G, Davie, A. and Lawton, E.W (1999). Prolonged incremental tests do not necessarily compromise V02tnaxin well-trained athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2, 356-363.
25. Saltin, B. and Åstrand, P.O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23, 353-358.
26. SOCOG (Sydney Organizing Committee for the Olympic Games) (2000). The Games of the XXXVIIth Olympiad -Mountain Bike Official Results Book. *Lausanne: International Olympic Committee*.
27. Swain, D.P. (1994). The influence of body mass in endurance bicycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 58-63.
28. Tanaka, H., Bassett, D.R., Swensen, T.C. and Sampedro, R.M. (1993). Aerobic and anaerobic power characteristics of competitive cyclists in the United States Cycling Federation. *International Journal of Sports Medicine*, 14, 334-338.
29. Wilber, R.L., Zawadzki, K.M., Kearney, J.T., Shannon, M.P and Disalvo, D. (1997). Physiological profiles of elite off-road and road cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29, 115-121.
30. Withers, R.T., Craig, N.P, Bourdon, PC. and Norton, K.I. (1987). Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56, 191-200.
31. Woods, G.F., Day, L., Withers, R.T., Ilesley, A.H. and Maxwell, B.F. (1994). The dynamic calibration of cycle ergometers. *International Journal of Sports Medicine*, 15, 168-171.