

Article

Producción de Potencia en las Competencias por Etapas de Ciclismo de Ruta Profesional

Stefan Vogt, Lothar Heinrich, Yorck Olaf Schumacher, Andreas Blum, Kai Roecker, Hans-Hermann Dickhuth y Andreas Schmid

University of Freiburg, Center for Internal Medicine, Department of Prevention, Rehabilitation and Sports Medicine, Freiburg, Alemania.

RESUMEN

Objetivo: El objetivo del estudio fue evaluar la producción de potencia durante una competencia de ruta profesional con varias etapas por medio de mediciones de potencia directas y comparar estos resultados con las mediciones de rendimiento utilizando los registros de frecuencia cardíaca obtenidos durante la competencia. **Métodos:** Seis ciclistas de ruta profesionales realizaron un test de ciclismo incremental durante el cual se midieron la producción de potencia máxima, producción de potencia, y frecuencia cardíaca en el umbral del lactato (LT) y en un valor de lactato 1 mM por encima del LT (LT +1). Durante una carrera de ruta con seis etapas, se midió la producción de potencia directamente (potenciómetro para bielas SRM). Para analizar el tiempo destinado en las diferentes intensidades durante la competencia, se calculó el tiempo de competencia que transcurrió por debajo del LT (zona 1), entre el LT y LT +1 (zona 2) y por encima del LT +1 (zona 3) durante los test de laboratorio en función de la producción de potencia y de la frecuencia cardíaca. **Resultados:** Durante las cinco etapas de salida en masa se determinó una producción de potencia media de 220 ± 22 W ($3,1 \pm 0,2$ W kg^{-1}) con una frecuencia cardíaca media de 142 ± 5 lpm. La producción de potencia media durante la prueba contrarreloj en ascenso (cronoescalada) fue 392 ± 60 W ($5,5 \pm 0,4$ W kg^{-1}) con una frecuencia cardíaca media de 169 ± 3 lpm. Durante las etapas de salida en masa la distribución promedio de los tiempos de ejercicio transcurridos en las diferentes intensidades calculadas por la producción de potencia y la frecuencia cardíaca fue 58 contra 38% para la zona 1, 14 versus 38%, para la zona 2, y 28 versus 24% para la zona 3. **Conclusión:** La mayoría del tiempo de competencia durante las etapas de salida en masa transcurrió en intensidades cerca del umbral de lactato (LT). En comparación con la producción de potencia la medición de la frecuencia cardíaca subestimó el tiempo transcurrido en las zonas de intensidad 1 y 3, y sobrestimó el tiempo transcurrido en la zona 2.

Palabras Clave: Rendimiento, SRM, frecuencia cardíaca, ciclismo profesional

INTRODUCCION

Las demandas en el ciclismo profesional son diversas, desde las gélidas clásicas de primavera en las rutas accidentadas en Flandes hasta las etapas montañosas en los veranos calurosos de los Pirineos durante el Tour de Francia. Durante la competencia, los ciclistas recorren distancias diarias de 1 a 300 km durante un período de 1 a 21 días y tienen un volumen de entrenamiento anual de 35000 km. Por consiguiente, el entrenamiento tiene que ser tan específico como sea posible para poder cumplir con los requisitos fisiológicos de estas competencias.

Hasta el presente, las demandas de entrenamiento durante las competencias profesionales se estimaban indirectamente principalmente a través de la frecuencia cardíaca (2, 4, 14, 15, 18, 19, 22, 23). Este método no tiene en cuenta las influencias sobre la frecuencia cardíaca de factores como el "drift cardiovascular" o la posición en la bicicleta (9, 10, 20).

La variable central para determinar las demandas durante el ciclismo es la producción de potencia mecánica que produce el ciclista para propulsar la bicicleta (3). Esta variable puede ser medida directamente y más precisamente en la bicicleta por medio de un dinamómetro móvil que se coloca en las bielas (6, 12).

El propósito de este estudio fue determinar la producción de potencia durante una competencia profesional en ruta utilizando las medidas de potencia directas y comparar estos resultados con las mediciones obtenidas con el método tradicional de frecuencia cardíaca. Estos datos podrían ayudar a mejorar el desarrollo de programas de entrenamiento adaptados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sujetos

Se estudiaron los datos de seis ciclistas de ruta profesionales. En la Tabla 1 se presentan sus datos antropométricos y sus características fisiológicas.

La cantidad de carga entrenamiento total realizada durante un año por estos ciclistas está entre 30000 y 35000 km. Todos los ciclistas eran miembros del mismo equipo de ciclismo profesional y habían competido en por lo menos una de los tres vueltas mas importantes (Tour de Francia, Giro d'Italia, o Vuelta a España). Todos los atletas dieron su consentimiento informado por escrito para participar en el estudio que fue aceptado por el comité científico de nuestro departamento.

Estudios de Laboratorio

El día antes de la competencia cada ciclista realizó un test de ciclismo incremental en una bicicleta ergométrica con freno electrónico (*SRM Ergometer, SRM Trainingsystems, Schoberer Rad Messtechnik, Jülich, Alemania*). Se ajustó la posición del manubrio, la altura del asiento y la longitud de las bielas a las medidas usadas por los atletas en sus propias bicicletas de carrera.

La prueba comenzó con una resistencia inicial de 100 W, y luego se aplicaron incrementos de 20 W cada 3 min. Se registró la frecuencia cardíaca por medio de telemetría durante toda la prueba (*Polar S725, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia*). Se realizó la extracción de sangre capilar (20 µl) a partir del lóbulo de la oreja para realizar el análisis de lactato (*EBIO Plus, Eppendorf, Hamburgo, Alemania*) durante los últimos 30 segundos de cada etapa.

Como marcadores de esfuerzo, se realizó la determinación de la frecuencia cardíaca y la producción de potencia en el umbral del lactato (LT) y a 1 mM por encima del umbral del lactato (LT +1). El LT se tomó siguiendo la definición original de Wasserman et al. (30) en la carga de trabajo que corresponde con el comienzo del aumento en la concentración de lactato sanguíneo.

Como marcadores de un mayor nivel de esfuerzo, se han usado diferentes concentraciones de lactato por encima del LT, a veces llamadas "umbral anaeróbico individual" (IAT) (24, 25). Aquí, utilizaremos con ese fin un incremento de 1 mM por encima del LT y lo llamaremos LT+1. Los atletas no realizaron ejercicio hasta el agotamiento completo durante el test. La prueba se realizó 24 h antes de la primera etapa de la competencia; para permitir la recuperación máxima para la competencia, por lo tanto no fue posible utilizar el esfuerzo hasta el agotamiento. Sin embargo, el esfuerzo fue suficiente para la determinación de variables sub-máximas como el LT y LT +1.

La carga de trabajo máxima (Pmax) se determinó como la mayor carga de trabajo que un ciclista logró mantener durante un período de 3 min completo. Cuando la ultima carga de trabajo no podía ser mantenida durante los 3 minutos, la Pmax se calculo por medio de la siguiente fórmula (13):

$$P_{max} = W_f + [(t/180) \times 20] \quad [1]$$

donde W_f es el valor de la ultima carga de trabajo completa (W), t es el tiempo en que se logró mantener la ultima carga de trabajo incompleta (s), y 20 es la diferencia de producción de potencia (W) entre las últimas dos cargas de trabajo.

Determinaciones Realizadas en el Campo

Durante las seis etapas de la carrera en ruta, se monitoreó continuamente la carga de trabajo mediante el sistema SRM-Trainingsystem (SRM Trainingsystems, Schoberer Rad Messtechnik, Jülich, Alemania). El sistema SRM permite medir continuamente y confiablemente la producción de potencia, frecuencia cardíaca, cadencia, velocidad y distancia (6, 12).

El sistema SRM es un dispositivo que se coloca en las bielas y mide la producción de potencia mecánica en la bicicleta a través de la multiplicación del torque aplicado en las bielas por la velocidad a las que las mismas dan vueltas. Los platos y las bielas experimentan una pequeña deformación cuando se aplica el torque. El sistema SRM mide esta deformación utilizando medidores de tensión acoplados a los componentes dentro de las bielas. El sistema pesa 300 g, algo que es comparable con una biela de bicicleta convencional y por lo tanto no influye en el rendimiento.

Los valores de torque y cadencia medidos se digitalizan dentro de las bielas y se transforman en una señal eléctrica de alta frecuencia modulada por ancho de pulso. Los datos se transmiten a una microcomputadora colocada en el manubrio en donde se obtiene un promedio del torque en cada revolución de pedal completa y se multiplica por la cadencia para finalmente calcular la lectura de potencia por medio de la siguiente ecuación:

Producción de potencia = $([\text{frecuencia medida} - \text{frecuencia de desplazamiento cero}] \text{ cadencia} \times 2\pi) / (\text{pendiente} \times 60)$. [2]

La pendiente para cada dinamómetro SRM está calculada dinámicamente en la fábrica de SRM. Antes de cada prueba el investigador ajusta la frecuencia de desplazamiento cero. El gasto total de energía mecánica se calcula integrando las medidas de potencia durante toda la sesión de entrenamiento. Los datos pueden ser transmitidos desde la microcomputadora colocada en el manubrio hacia cualquier computadora comercial para su procesamiento.

El gasto de energía que muestra el SRM representa la producción de trabajo mecánico (J) que el ciclista aplica a la bicicleta. Para calcular el gasto de energía total a partir de los datos del SRM, estos datos deben ser corregidos por la eficiencia de ciclismo. Aunque existen diferencias individuales, los estudios fisiológicos (1, 21) han estimado que la eficiencia mecánica promedio de un cuerpo humano en una bicicleta se sitúa alrededor del 25%. Por consiguiente, el gasto de energía obtenido por el Sistema de SRM se multiplicó por cuatro para estimar el gasto de energía total en joules.

Para analizar el tiempo transcurrido en las diferentes producciones de potencia durante la competencia, se realizó el cálculo del tiempo de competencia (en porcentaje del tiempo de carrera) transcurrido por debajo de LT (zona 1), entre LT y LT +1 (zona 2), y por encima de LT +1 (zona 3) del test de laboratorio a partir de las producciones de potencia y la frecuencia cardíaca

Características de la Carrera

El estudio se realizó durante el Tour Internacional Regio, una carrera de categoría internacional para ciclistas de élite (Clasificación 2,3 por UCI). Esta prueba por etapas de 5 días recorre 758 km en cinco etapas con salidas en masa y una prueba contrarreloj en ascenso (cronoescalada). El ganador recorrió esta distancia en 18 h 23 min con una velocidad media de 41,1 km h⁻¹.

Análisis Estadísticos

Los datos registrados por el Sistema SRM durante la competencia fueron transmitidos a una PC convencional y fueron procesados con el software proporcionado por el Sistema SRM. Se utilizaron los estadísticos descriptivos, y todos los datos fueron expresados en forma de Media ± desviación estándar (SD).

RESULTADOS

Tests Realizados en el Laboratorio

En la Tabla 1 se presentan las características antropométricas y fisiológicas de los atletas y los resultados del test incremental en bicicleta ergométrica.

Edad (años)	27,3±2,1
Talla (cm)	183,7±7,1
Peso (kg)	71,3±6,5
Pmax (W)	390±28
Pmax/ kg (W kg ⁻¹)	5,5±0,3
P _{LT} (W)	248±32
P _{LT/kg} (W kg ⁻¹)	3,5±0,2
P _{LT+1} (W)	326±38
P _{LT+1/kg} (W kg ⁻¹)	4,6±0,3
HR _{LT} (lpm)	137±13
HR _{LT+1} (lpm)	163±10

Tabla 1. Características de los participantes ($W = 6$) y resultados del test realizado en bicicleta ergométrica.

Los valores se presentan en forma de Media±SD. Pmax = Producción de potencia máxima; Pmax/kg= Producción de potencia máxima por kilogramo de peso corporal; PLT= Producción de potencia en el umbral de lactato; PLT/kg= Producción de potencia por kilogramo de corporal en el umbral de lactato; PLT+1=Producción de potencia en un valor de 1mM por encima del LT; PLT+1/kg= Producción de potencia por kilogramo de corporal en un valor de 1mM por encima del LT; HRLT= Frecuencia cardíaca en el umbral del lactato; HRLT+1= Frecuencia cardíaca en un valor 1mM por encima del LT.

Características de la Prueba

La producción de potencia media, producción de potencia por kilogramo, frecuencia cardíaca, gasto de energía, longitud de la etapa y el desnivel acumulado (ganancia de la altitud acumulada obtenida en datos oficiales de la carrera) por etapas se presentan en la Tabla 2.

	Frecuencia cardíaca (lpm)	Producción de potencia (W)	Producción de potencia por kilogramo (Wkg ⁻¹)	Gasto de energía (MJ)	Distancia (km)	Desnivel acumulado (m)
Etapa						
1	141±7	190±9	2,7±0,3	11,5±0,8	167	650
2	140±10	205±32	2,9±0,2	13,4±2,1	164	1500
3	147±4	271±34	3,8±0,3	7,4±1,0	84	700
4	169±7	392±55	5,5±0,6	2,6± 0,4	13	450
5	140±7	227±32	3,2±0,2	13,1±2,0	170	400
6	144 ±4	235±8	3,4±0,2	14,1±0,5	160	200

Tabla 2. Resultados obtenidos durante la competencia.

La etapa 4 de la Tabla 2 consistió en una prueba contrarreloj en ascenso, las otras cinco etapas fueron etapas con salida en masa.

Potencia y Frecuencia Cardíaca durante la Competencia

Durante las cinco etapas de salida en masa, se determinó una producción de potencia media de 220±22 W (3,1±0,2 W kg⁻¹). La intensidad del ejercicio se situó 28 W por encima del LT y 107 W por debajo del LT +1. Durante estas cinco etapas se midió un gasto de energía promedio de 11,9 MJ. La frecuencia cardíaca media fue 142±5 lpm, 5 lpm por encima del LT y 21 lpm por debajo del LT +1.

Cronoescalada

La etapa 4 consistió en una prueba contrarreloj en ascenso con producción de potencia y frecuencia cardíaca más altas que

las observadas durante las etapas de salida en masa. La producción de potencia media fue 392 ± 60 W, lo que corresponde a $5,5 \pm 0,4$ W kg^{-1} . La frecuencia cardíaca promedio fue de 169 ± 3 lpm durante esta etapa.

Comparación entre las Pruebas de Laboratorio y la Competencia

En las etapas de salida en masa la distribución promedio del tiempo de ejercicio transcurrido en las diferentes intensidades calculada mediante la producción de potencia fue 58% en zona 1, 14% en zona 2 y 28% en zona 3. El cálculo en función de la frecuencia cardíaca indicó que los ciclistas transcurrieron 38% en la zona 1, 38% en la zona 2 y 24% en la zona 3 (Figura 1).

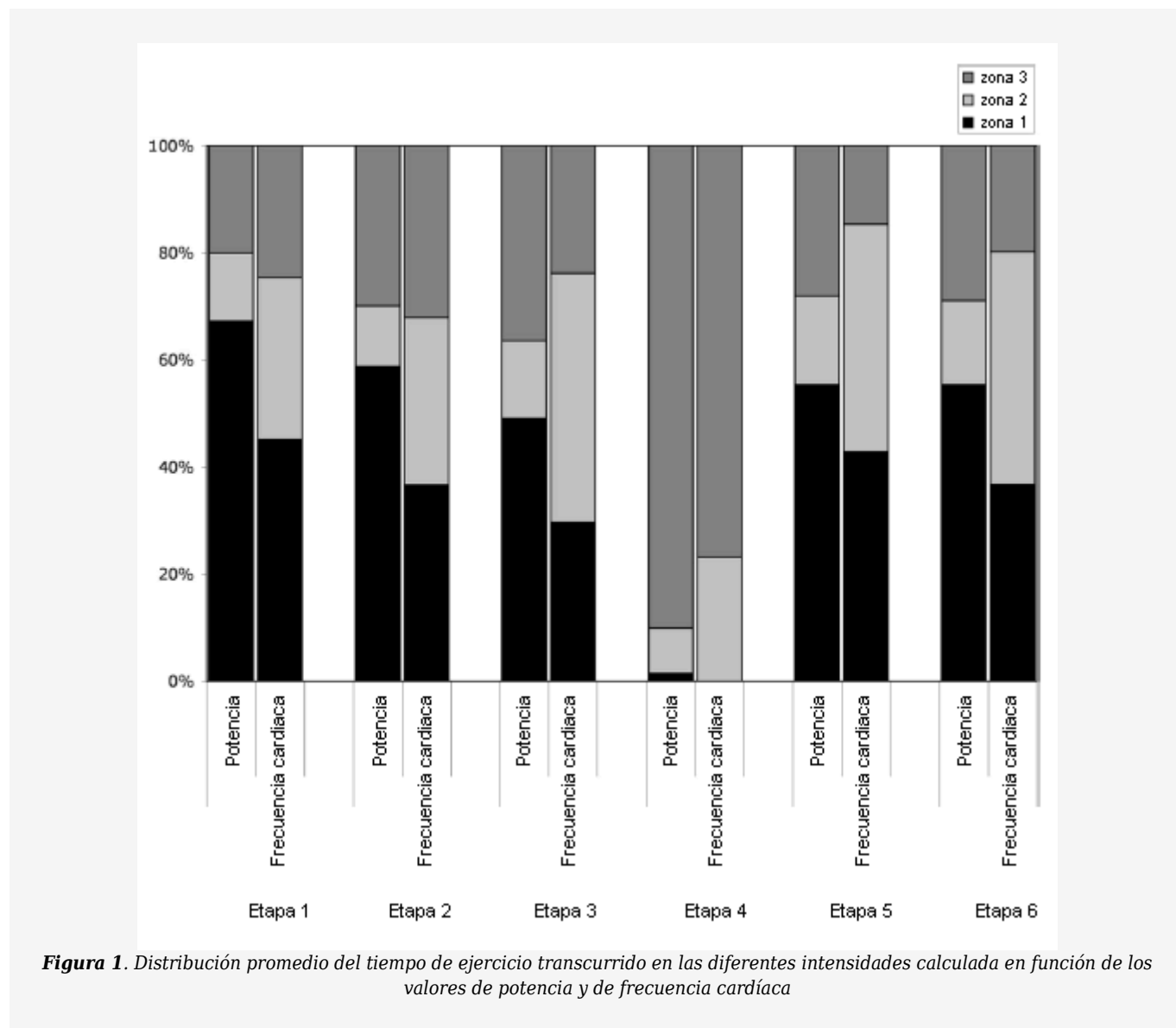


Figura 1. Distribución promedio del tiempo de ejercicio transcurrido en las diferentes intensidades calculada en función de los valores de potencia y de frecuencia cardíaca

DISCUSIÓN

El propósito de este estudio fue determinar la producción de potencia directa y de esta manera estimar las demandas de trabajo durante una prueba de ciclismo de ruta profesional con varias etapas. La producción de potencia directa describe muy precisamente el rendimiento en ciclismo (3). Existen muy pocas investigaciones sobre la producción de potencia directa durante el ciclismo. Un estudio analizó la producción de potencia directa durante una prueba contrarreloj realizada por aficionados (26), otro durante una competencia de ciclocrós (8), y una tercera investigación durante competencias de ciclismo de montaña (27).

Nuestro estudio es el primero en evaluar la carga de trabajo mantenida por ciclistas profesionales de ruta de élite durante una prueba por etapas utilizando mediciones de potencia directas. Hasta la fecha, la intensidad de las competencias de ciclismo se describía principalmente a través de los perfiles de frecuencia cardíaca (4, 15, 17, 18, 22, 23). Sin embargo, este método indirecto para describir la intensidad de ejercicio es algo impreciso y problemático; la frecuencia cardíaca podría ser influenciada significativamente por el “drift cardiovascular” provocado por la deshidratación y por la hipotermia (9, 20).

Los participantes del presente estudio se caracterizan por una capacidad aeróbica muy alta, tal como se observó a través de la producción de potencia en LT y LT +1 (Tabla 1). Estas características se han observado en ciclistas profesionales en una gran cantidad de investigaciones (4, 5, 11, 14, 16, 18, 19, 22, 23). En comparación con los estudios mencionados previamente, la Pmax de los participantes en el estudio presente fue menor porque el test de ciclismo incremental no se realizó hasta el agotamiento. Tal como lo demostraron Urhausen et al. (28), la determinación del LT y LT +1 no depende del agotamiento. Además, las pequeñas diferencias en los datos de producción de potencia podrían deberse a los diferentes protocolos de evaluación entre este estudio y los estudios mencionados previamente.

Producción de Potencia y Frecuencia Cardíaca durante la Competencia

Etapas de Salida en Masa

La producción de potencia media medida durante todas las etapas, incluyendo la prueba contrarreloj en ascenso fue 245 ± 33 W ($3,4 \pm 0,3$ W kg^{-1}). Para las cinco etapas de salida en masa, se midió una producción de potencia media de 220 ± 22 W ($3,1 \pm 0,2$ W kg^{-1}). Hansen et al. (8) observaron lecturas de potencia más altas en tres ciclistas de ciclocrós durante una competencia de esta disciplina. La producción de potencia media de estos tres ciclistas fue 374, 316, y 309 W ($4,7$, $4,1$ y $4,9$ W kg^{-1}). La diferencia con los datos obtenidos en el estudio presente podría ser explicada por el hecho que las carreras de ciclocrós son más cortas que las carreras de ruta. La carrera de ciclocrós estudiada tenía una duración de 60 min contra una duración media 215 min de las etapas de la presente investigación.

Un estudio de Smith et al. (26) determinó la producción de potencia directa de ocho ciclistas aficionados durante una prueba contrarreloj de 40 km. La producción de potencia media durante aproximadamente 60 min fue 312 ± 23 W. Stapelfeldt et al. (27) determinaron la producción de potencia directa en 15 competencias de ciclismo de montaña de 11 ciclistas de élite (9 varones, 2 mujeres). La producción de potencia media durante las pruebas fue 246 ± 12 W ($3,5 \pm 0,2$ W kg^{-1}) en los ciclistas varones y 193 ± 1 W ($3,1 \pm 0,2$ W kg^{-1}) en las mujeres, para una duración promedio de 128 min (varones) y 108 min (mujeres).

Una producción de potencia media de 240 W medida con el sistema de entrenamiento SRM durante una etapa de 6 horas del Tour de Francia en un ciclista era ligeramente más alta que lo observado en nuestros resultados (10). Sin embargo, la producción de potencia en ese estudio se obtuvo en una etapa de montaña y en una etapa mas agotadora que la que enfrentaron nuestros participantes. Fernández-García et al. (4) demostraron que los ciclistas competitivos destinaron períodos de tiempo más largos a las intensidades más altas en etapas de montaña en comparación con las etapas en el llano.

Con mediciones indirectas, Padilla et al. (23) utilizando la relación frecuencia cardíaca-producción de potencia estimaron intensidades de 246 ± 44 W en las etapas de montaña de las vueltas de 3 semanas (Giro d'Italia, Tour de Francia, Vuelta a España), de 234 ± 43 W en etapas semi montañosas y de 192 ± 45 W en las etapas realizadas en el llano. Por lo tanto nuestros datos medidos de manera directa confirman las estimaciones indirectas previas de producción de potencia media durante las carreras de ciclismo de salida en masa.

Cronoescalada

Padilla et al. (22) analizaron la intensidad del ejercicio en diferentes competencias de contrarreloj profesionales a través de la relación entre frecuencia cardíaca y producción de potencia. Los autores describieron producciones de potencia medias de 380 ± 62 W durante pruebas contrarreloj en etapa prologo (<10 km), de 362 ± 59 W durante pruebas contrarreloj cortas (<40 km) y de 347 ± 46 W durante pruebas contrarreloj largas (>40 km). En pruebas contrarreloj en ascenso de $40,6 \pm 4,8$ km y con una duración promedio de la carrera de $75 \pm 8,4$ min, se calculó una producción de potencia media de 342 ± 32 W.

En este estudio la prueba contrarreloj en ascenso tenía una longitud de 13 km, un desnivel acumulado de 450 m, y una duración media de 23 min. La producción de potencia media durante esta etapa fue 391 ± 60 W ($5,5 \pm 0,4$ W kg^{-1}). Comparada con el estudio de Padilla et al. (22), la producción de potencia fue mayor; sin embargo, esto podría deberse a la diferencia en la duración de la carrera y a variaciones en el perfil de la etapa, o a las condiciones medioambientales.

Las producciones de potencia estimadas de Lance Armstrong y Jan Ullrich en la cronoescalada en Alpe d'Huez durante el Tour de Francia 2004 fueron 445 y 440 W ($6,3$ y $6,0$ W kg^{-1}). El poseedor del record de esta subida de 13,8 km con un

desnivel acumulado de 1110 m es Marco Pantani, quien tenía una producción de potencia estimada de 388 W lo que equivale a $6,9 \text{ W kg}^{-1}$ (14). Estas producciones de potencia fueron estimadas a través de la longitud de la subida, tiempo de carrera, peso del ciclista y de la bicicleta, y desnivel acumulado.

En esta investigación durante la cronoescalada, la producción de potencia media determinada fue 66 W por encima de LT +1. El gasto de energía medio en esta etapa fue $2,6 \pm 0,4 \text{ MJ}$. La frecuencia cardíaca media en esta etapa fue 169 lpm y fue aproximadamente 30 lpm más alta que durante las etapas de salida en masa. Estos datos indican que la cronoescalada es la etapa con la mayor intensidad media de ejercicio en el ciclismo de ruta de competición.

Comparación entre las Evaluaciones Realizadas durante la Competencia y en el Laboratorio

Hasta la fecha, para describir la intensidad del ejercicio durante la competencia se utilizaba principalmente la frecuencia cardíaca (4, 15, 17, 18, 22, 23). Pero, como observamos previamente, la frecuencia cardíaca está influenciada por varios factores fisiológicos y psicológicos. La producción de potencia medida directamente en la bicicleta con un sistema provisto de un dinamómetro portátil para bielas (dinamómetro de bielas SRM) parece estar menos influenciada por factores internos y externos y representa una descripción más precisa del rendimiento alcanzado por el atleta (6, 12).

Para comparar la intensidad del ejercicio establecida a través de la medición tradicional de frecuencia cardíaca con la intensidad del ejercicio establecida a través de la medición directa de producción de potencia, la intensidad del ejercicio se dividió en tres zonas (zonas 1-3) en base a la frecuencia cardíaca y potencia, y a las mediciones de lactato realizadas en el laboratorio.

La Figura 1 muestra la distribución de producción de potencia y frecuencia cardíaca en las tres zonas durante las seis etapas. Parecería que la descripción de intensidad del ejercicio a través de la frecuencia cardíaca tiende a subestimar el tiempo transcurrido en las zonas 1 y 3 y a sobreestimar el tiempo transcurrido en la zona 2 (Figura 1).

Una razón para esto podría ser que la regulación del sistema cardiovascular se adapta más lentamente a los cambios rápidos en la producción de potencia alta y baja en las situaciones decisivas de la carrera. Durante los descensos, por ejemplo, la frecuencia cardíaca puede estar en la zona 2 mientras que la producción de potencia ya está en la zona 1. O, durante los esprints intermitentes, la producción de potencia puede estar en la zona 3 mientras que la frecuencia cardíaca todavía está en la zona 2. En la rutina de entrenamiento diario, este hallazgo podría indicar que debido a la demora en la respuesta de la frecuencia cardíaca frente a los cambios rápidos en la carga de trabajo, las prescripciones de carga de trabajo en watts podrían ser más convenientes para monitorear el ritmo en los intervalos más cortos o en las sesiones con cambios de ritmo frecuentes.

El *drift* cardiovascular puede ser otra explicación para la subestimación de la zona 1 cuando se utilizan las mediciones de frecuencia cardíaca: la frecuencia cardíaca tiende a aumentar con el ejercicio continuado debido a la hipertermia y a la deshidratación. Este aumento puede alcanzar 20 lpm en comparación con los valores correspondientes al estado de euhydratación y de temperatura regular (9, 20). Además, el ejercicio de larga duración puede provocar una disminución de la frecuencia cardíaca máxima, tal como ha sido demostrado en muchas investigaciones sobre overreaching y de sobreentrenamiento (7, 29).

Conclusión

En el estudio presente, el rendimiento se midió directamente con un dinamómetro de biela móvil (dinamómetro para bielas SRM) durante una competencia de ciclismo de ruta profesional con varias etapas. La mayoría del tiempo de la competencia durante las etapas de salida en masa transcurrió en intensidades por debajo del LT +1. La producción de potencia media se ubicó cerca del LT. En comparación con la producción de potencia, las mediciones de frecuencia cardíaca subestimaron el tiempo transcurrido en zonas de intensidad situadas por debajo del LT y por encima del LT + 1 (zonas 1 y 3), y sobreestimaron el tiempo transcurrido en la zona de intensidad moderada situada entre LT y LT +1 (zona 2). Los beneficios de medir la carga de trabajo a través de la producción de potencia incluyen una mejor cuantificación de la intensidad en comparación con las mediciones de frecuencia cardíaca. Por lo tanto es posible mejorar la especificidad del entrenamiento a través de un monitoreo optimizado del rendimiento.

Los autores agradecen el Equipo del ciclismo profesional *Telekom* por su ayuda y cooperación para llevar a cabo este estudio.

REFERENCIAS

1. Bijker, K. E., G. De Groot, and A. P. Hollander. (2001). Delta efficiencies of running and cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:1546-1551.
2. Brouns, F., W. H. Saris, J. Stroecken, et al. (1989). Eating, drinking, and cycling. A controlled Tour de France simulation study, part I. *Int. J. Sports Med.* 10 Suppl:S32-S40.
3. Coyle, E. F., M. E. Feltner, S. A. Kautz, et al. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:93-107.
4. Fernandez-García, B., J. Perez-Landaluce, M. Rodriguez-Alonso, and N. Terrados. (2000). Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1002-1006.
5. Garcia-Roves, P. M., N. Terrados, S. Fernandez, and A. M. Patterson. (2000). Comparison of dietary intake and eating behavior of professional road cyclists during training and competition. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 10:82-98.
6. Gardner, A. S., S. Stephens, D. T Martin, E. Lawton, H. Lee, and D. Jenkins. (2004). Accuracy of SRM and power tap power monitoring systems for bicycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:1252-1258.
7. Halson, S. L., M. W. Bridge, R. Meeusen, et al. (2002). Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J. Appl. Physiol.* 93:947-956.
8. Hansen, E. A., K. Jensen, and K. Klausen. (1999). The workload demands in cyclo-cross. *Cycle Coaching.* 2:23-24.
9. Heaps, C. L., J. Gonzalez-Alonso, and E. F. Coyle. (1994). Hypohydration causes cardiovascular drift without reducing blood volume. *Int. J. Sports Med.* 15:74-79.
10. Jeukendrup, A., and A. Van Diemen. (1998). Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *J. Sports Sci.* 16:91-99.
11. Jeukendrup, A. E., N. P. Craig, and J. A. Hawley. (2000). The bioenergetics of World Class Cycling. *J. Sci. Med. Sport.* 3:414-433.
12. Jones S. M., and L. Passfield. (1998). The dynamic calibration of bicycle power measuring cranks. In: *The Engineering of Sport.* H. S. J. (Ed.). Oxford, pp. 265-274.
13. Kuipers, H, F. T. Verstappen, H. A. Keizer, P. Geurten, and G van Kranenburg. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int. J. Sports Med.* 6:197-201.
14. Lucia, A., C. Earnest, and C. Arribas. (2003). The Tour de France: a physiological review. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 13:275-283.
15. Lucia, A., J. Hoyos, A. Carvajal, and J. L. Chicharro. (1999). Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *Int. J. Sports Med.* 20:167-172.
16. Lucia, A., J. Hoyos, and J. L. Chicharro. (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Med.* 31:325-337.
17. Lucia, A., J. Hoyos, M. Perez, and J. L. Chicharro. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1777-1782.
18. Lucia, A., J. Hoyos, A. Santana, C. Earnest, and J. L. Chicharro. (2003). Tour de France versus Vuelta a España: which is harder? *Med. Sci. Sports Exerc.* 35:872-878.
19. Lucia, A., J. Hoyos, A. Santana, C. P. Earnest, and J. L. Chicharro. (2003). Giro, Tour, and Vuelta in the same season. *Br. J. Sports Med.* 37:457-459.
20. Montain, S. J., and E. F. Coyle. (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J. Appl. Physiol.* 73:1340-1350.
21. Moseley, L., and A. E. Jeukendrup. (2001). The reliability of cycling efficiency. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:621-627.
22. Padilla, S., I. Mujika, J. Orbananos, and F. Ángulo. (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:850-856.
23. Padilla, S., I. Mujika, J. Orbananos, J. Santisteban, F. Ángulo, and J. Jose Goirienea. (2001). Exercise intensity and load during mass-start stage races in professional road cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:796-802.
24. Roecker, K., O. Schotte, A. M. Niess, T Horstmann, and H. H. Dickhuth. (1998). Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:1552-1557.
25. Roecker, K., H. Striegel, and H. H. Dickhuth. (2003). Heart-rate recommendations: transfer between running and cycling exercise? *Int. J. Sports Med.* 24:173-178.
26. Smith, M. F., R. C. Davison, J. Balmer, and S. R. Bird. (2001). Reliability of mean power recorded during indoor and outdoor self-paced 40 km cycling time-trials. *Int. J. Sports Med.* 22:270-274.
27. Stapelfeldt, B., A. Schwirtz, Y. O. Schumacher, and M. Hillebrecht. (2004). Workload demands in mountain bike racing. *Int. J. Sports Med.* 25:294-300.
28. Urhausen, A., B. Coen, B. Weiler, and W. Kindermann. (1993). Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *Int. J. Sports Med.* 14:134-139.
29. Urhausen, A., H. H. Gabriel, and W. Kindermann. (1998). Impaired pituitary hormonal response to exhaustive exercise in overtrained endurance athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:407-414.
30. Wasserman, K., J. E. Hansen, D. Y. Sue, R. Casaburi, and B. J. Whipp. (1999). Principles of Exercise Testing and Interpretation. *Third Edition.* Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

Cita Original

Vogt, S., L. Heinrich, Y. O. Schumacher, A. Blum, K. Roecker, H-H. Dickhuth, and A. Schmid. Power Output during Stage Racing in Professional Road Cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* (2006). Vol. 38, No. 1, pp. 147-151.