PubliCE, (PubliCE) 2007

Monograph

Mediciones Fisiológicas Relativas vs. Absolutas como Parámetros de Predicción del Rendimiento de Competición en *Mountain Bike* en la Modalidad *Cross-Country*

John Gregory[1], David P Johns[2] y Justin T Walls[2]

[1]*Tasmanian Institute of Sport, Prospect, Tasmania, Australia.*
[2]*Cardio-Respiratory Research Group, School of Medicine, University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia.*

RESUMEN

Los objetivos de este estudio fueron documentar los efectos que tiene el terreno sobre las respuestas fisiológicas y las demandas de trabajo (producción de potencia) para realizar una prueba de ciclismo en un recorrido de *cross-country* típico bajo condiciones de competición. Estábamos particularmente interesados en determinar si las mediciones fisiológicas relativas a la masa predecían mejor el rendimiento de competición que las mediciones absolutas. Once competidores de *mountain bike* de *cross-country* (VO_2 máx. 67,1±3,6 ml.kg-1.min-1) realizaron 2 tests: un test de ejercicio máximo realizado en el laboratorio, y una prueba por tiempo de *montain bike* en la modalidad *cross-country* de 15,5 km (seis vueltas de 2,58 km). Hubo diferencias significativas entre la cadencia de velocidad y la producción de potencia medida en cada uno de los 8 tipos de terrenos diferentes encontrados en la prueba por tiempo cross-country. La mayor velocidad promedio fue medida en la sección de 10-15% de descenso (22,7±2,6 km/h), mientras que la mayor cadencia fue medida en las secciones llanas posteriores a las zonas técnicas (74,3±5,6 rpm) y la menor cadencia fue medida en la secciones de descenso de 15-20% (6,4±12,1 rpm). La frecuencia cardiaca (FC) promedio más alta fue obtenida durante la sección más empinada (15-20%) del recorrido (179±8 lat./min), donde también se encontró la mayor producción de potencia (419,8±39,7 W). Sin embargo, la FC permaneció elevada relativa a la producción de potencia en las secciones de descenso del recorrido. Las mediciones fisiológicas relativas a la masa total del ciclista correlacionaron más fuertemente con la velocidad promedio que las variables absolutas (potencia pico relativa a la masa $r=0.93$, $p<0.01$ vs. potencia pico $r=0.64$, $p<0.05$, VO_2 máx. relativo $r=0.80$, $p<0.05$ vs. VO_2 máx. $r=0.66$, $p<0.05$; potencia en el umbral anaeróbico relativa a la masa $r=0.78$, $p<0.05$, vs. potencia en el umbral anaeróbico $r=0.50$, $p<0.05$). Esto sugiere que los programas de entrenamiento de *mountain bike* en la modalidad *cross-country* deberían focalizarse en mejorar los valores fisiológicos relativos en vez de focalizarse en maximizar los valores absolutos para incrementar el rendimiento.

Palabras Clave: producción de potencia, frecuencia cardíaca, cadencia, ciclismo

INTRODUCCION

El tipo de eventos competitivos de ruta puede variar desde eventos por tiempo o contrarreloj cortos (algunos kilómetros) hasta competiciones de 3 semanas. La superficie del terreno en estos eventos es relativamente constante, mientras que la elevación puede variar desde un terreno predominantemente llano hasta cuestas y descensos de varios miles de metros. De manera contraria, las competiciones de *montain bike* (MTB) en la modalidad *cross-country* de nivel profesional tienen una duración predominantemente de 2-3 horas, y los competidores completan varias vueltas al mismo circuito. La superficie del terreno es altamente variable, desde secciones pavimentadas que se observan típicamente en la mayoría de las competiciones de ruta hasta caminos accidentados, barrosos y arenosos. Los recorridos de *montain bike* en la modalidad *cross-country* contienen una proporción de tanto descensos técnicos como de cuestas abruptas, las cuales ponen a prueba las habilidades de manejo técnico de la bicicleta del ciclista, así como su aptitud fisiológica.

Los datos fisiológicos de ciclistas de ruta de nivel competitivo y más recientemente de clase mundial han sido reportados en forma extensiva (12, 18). Sin embargo, hay relativamente pocos datos fisiológicos relacionados al ciclismo MTB de *cross-country*, a pesar de su inclusión en los Juegos Olímpicos del 2000 y de la formación del Campeonato del Mundo y las series de la Copa del Mundo. Séller y Novothy (7) describieron las características fisiológicas del equipo nacional checo, y Wilber et al. (19) describieron las características fisiológicas del equipo nacional de Estados Unidos. La importancia de la producción de potencia relativa a la masa como un factor determinante del rendimiento estaba poco clara en estos 2 estudios. Subsiguientemente, Lee et al. (9) compararon las características fisiológicas y antropométricas de ciclistas de ruta profesionales y de mountain bike, exitosos y concluyeron que un índice de producción de potencia/masa alto era importante para alcanzar el éxito en MTB.

Las competiciones de *mountain bike*en la modalidad *cross-country* son conducidas a través de terrenos variables, con un tiempo considerable de la competición dedicado a los ascensos y descensos (11), y de este modo se esperaría que haya grandes variaciones en la producción de potencia. Hansen et al. (6) hallaron tales variaciones en la potencia en un estudio realizado en corredores de ciclo-cross, que competían en terrenos variables en forma similar a los ciclistas de mountain bike. La producción de potencia alcanzó un pico de 800-900 W durante una cuesta empinada o cuando se esquivan obstáculos, donde se fuerza al ciclista a bajarse de la bici y luego acelerar rápido luego de volver a subirse a la bicicleta. Las altas producciones de potencia intermitentes registradas en estos ciclistas son substancialmente más altas que las reportadas para ciclistas de ruta profesionales (15, 18).

Las investigaciones de campo realizadas en ciclistas profesionales (16) en pruebas contrarreloj en recorrido llano muestran que la producción de potencia varía en solo ±7% a través de la duración de un evento y que las mediciones fisiológicas determinadas en el laboratorio relativas a la masa corporal no correlacionan tan bien con el rendimiento como las mediciones absolutas. Aunque una competición de MTB es similar al esfuerzo individual de una prueba contrarreloj individual llana (debido al efecto despreciable del *drafting* en las competiciones de mountain bike), es razonable esperar que la masa corporal tenga mayor importancia en las competiciones de MTB, debido a las altas demandas de trabajo intermitente típicas que el terreno de MTB implicaría para el ciclista. La evidencia anecdótica de entrenadores y atletas indica de todos los diferentes tipos de terreno encontrados en una competición típica de MTB de *cross-country*, el rendimiento en las secciones de subida o cuesta del recorrido es un determinante principal del éxito en el día de la competición.

Un entendimiento claro acerca de cómo los diferentes tipos de terreno normalmente encontrados en las competiciones de MTB de *cross-country* influencian las demandas de trabajo y de este modo las respuestas fisiológicas del ciclista, serían valiosos tanto para los entrenadores como para los atletas tanto durante el entrenamiento como la competición. Actualmente también está poco claro si los valores fisiológicos absolutos o relativos son más importantes determinantes del rendimiento de MTB. La información fisiológica y de rendimiento recolectada a partir de pruebas de competición simuladas junto con los datos basados en tests de laboratorio pueden ser usados para conocer la importancia de las mediciones fisiológicas relativas a la masa como parámetros de predicción del rendimiento de competición en MTB. Los objetivos de este estudio fueron de este modo documentar las respuestas fisiológicas observadas en los diferentes tipos de terreno encontrados de manera característica en un recorrido de MTB de *cross-country* a un ritmo de competición y comparar los resultados con mediciones relativas y absolutas determinadas previamente en pruebas conducidas en el laboratorio. Nuestras hipótesis fueron (a) que los diferentes tipos de terrenos encontrados por un ciclista en un recorrido de MTB típico implicarían demandas de trabajo variables sobre el ciclista, y (b) las mediciones fisiológicas relativas a la masa estarían mejor correlacionadas al rendimiento (i.e., velocidad promedio de la prueba) que las mediciones absolutas determinadas a partir de una prueba de ejercicio de ciclismo progresiva y máxima realizada en el laboratorio.

METODOS

Enfoque Experimental del Problema

Fue diseñado un recorrido de MTB que estaba compuesto de secciones discretas de todos los tipos de terreno encontrados en el recorrido de la Copa del Mundo. Las respuestas fisiológicas de los ciclistas de nivel competitivo nacional sobre los diferentes tipos de terrenos a un ritmo de competición fueron documentadas y comparadas con un test de ejercicio progresivo y máximo realizado previamente en el laboratorio.

Sujetos

Once ciclistas de MTB de modalidad *cross-country* que habían competido a nivel elite en carreras estatales y nacionales durante los 12 meses anteriores participaron en esta investigación. Antes de su participación, todos los sujetos habían estado implicados en al menos 12 semanas de entrenamiento de ciclismo continuo, y la evaluación fue realizada dentro de 1 mes de la finalización de la temporada Australiana de *cross-country* de verano. Debido a que los sujetos o estaban todavía compitiendo o justo habían completado la fase competitiva de sus programas de entrenamiento de periodización individual, no habían estado implicados en programas de entrenamiento de la fuerza a través del período de 12 meses precedente. Las características físicas de los sujetos fueron las siguientes: VO_2 máx. relativo: 67,1±3,6 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$; edad: 25,1±4,9 años; talla: 180,2±3,5 cm; masa corporal: 71,6±6,3 kg; sumatoria de 7 pliegues cutáneos (bicipital, tricipital, subescapular, supraespinal, abdomen, muslo y pantorrila): 51±14,8 mm, y porcentaje de grasa corporal medio: 9,2±2,8% (20).

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética Humana de la Universidad de Tasmania y conforme a los estándares del Colegio Americano de Medicina del Deporte (*American Collage of Sports Medicine*). Todos los procedimientos de evaluación fueron explicados a cada ciclista, su consentimiento informado fue obtenido antes de su participación.

Procedimientos

Cada sujeto realizó 2 tests separados por 3 días. El primer test fue un test de laboratorio progresivo y máximo en una bicicleta ergométrica. El segundo test fue una prueba por tiempo de 15,5 km. Se les pidió a los sujetos que se abstuvieran de entrenar intensamente durante las 48 horas anteriores a realizar el test de ejercicio progresivo y máximo y durante las 48 horas precedentes a la prueba por tiempo de *cross-country*.

Test de Ejercicio Progresivo y Máximo realizado en el Laboratorio

Los sujetos realizaron el test de ejercicio progresivo y máximo en un ergómetro Lode Excalibur frenado eléctricamente (v1.5, Groningen, Holanda), modificado con pedales automáticos y un manubrio para bicicleta de ruta o carretera. Cada sujeto ajustó la altura del asiento y la posición del manubrio del ergómetro para imitar la posición de pedaleo normal antes de que comenzara el test. Luego de una entrada en calor de 10 minutos (75 W), los sujetos comenzaron a pedalear con una carga inicial de 100 W, y luego la carga de trabajo fue incrementada en 50 W cada 5 minutos, ya sea hasta que la cadencia cayera debajo de 75 rpm o hasta el agotamiento volitivo. Durante el test, fue medido el consumo de oxígeno (VO_2) en forma continua usando un dispositivo Quinton Metabolic Cart (QMC, Seattle, WA) y también fueron registrados la frecuencia cardiaca (FC) y el índice de esfuerzo percibido (1) en los últimos 15 segundos de cada escalón del test. El lactato sanguíneo fue medido a partir de 2 muestras de 20 µl de sangre, usando tanto un analizador de lactato utilizado en el laboratorio (YSI 2300; YSI Incorporated, Yellow Springs, OH) y otro portátil (Accusport, Boehringer-Mannheim, Mannheim, Alemania).

Test de Ejercicio Progresivo y Máximo realizado en el Laboratorio: Cálculo de la Potencia Pico

A partir de estos datos, fue calculada la producción de potencia pico usando la siguiente ecuación (8): producción de potencia pico (en el VO_2 máx.) = P_P + {t_F.[(V_F – P_P)/5 minutos]}, donde P_P es la producción de potencia (W) de la etapa anterior, V_F es la producción de potencia (W) en la etapa final, y t_F es el tiempo (min) que se mantuvo la potencia final. La producción de potencia, VO_2, FC y el lactato sanguíneo en el umbral anaeróbico individual fueron determinados usando el método de la transformación log-log (2) a partir de los datos del test de ejercicio máximo y progresivo.

Test de Ejercicio Progresivo y Máximo realizado en el Laboratorio: Estandarización de los Analizadores de Lactato Portátil y de Laboratorio

Debido a que un analizador de lactato portátil (Accusport) sería usado durante la prueba por tiempo de *cross-country* (ver más abajo), su exactitud relativa a un sistema de laboratorio fue determinada comparando las mediciones obtenidas a partir de los 2 analizadores durante el estudio realizado en el laboratorio. El análisis de regresión reveló una correlación

significativa (r=0.98), pero con una desviación de 1,155 mmol.L^{-1}. Así, las mediciones subsiguientes de lactato sanguíneo obtenidas durante la prueba por tiempo de *cross-country* usando el analizador portátil fueron corregidas en 1,155.

Prueba por Tiempo de *cross-country*

Los gradientes de las cuestas y los tipos de terreno fueron elegidos para reflejar aquellos encontrados en los recorridos de competición de MTB de *cross-country*. El recorrido consistió de 6 vueltas a un recorrido de 2,58 km, con una elevación total de 104 m por vuelta (Tabla 1). El perfil de elevación para el recorrido de la prueba por tiempo de *cross-country* es presentado en la Figura 1. La extensión de las cuestas de la prueba por tiempo (> 1 minutos) fue elegida para producir una respuesta en estado estable de los ciclistas y para reducir la influencia de la duración de la subida sobre la producción de potencia. Para determinar como la técnica de pedaleo y la respuesta fisiológica varían con el tipo de terreno, el recorrido de la prueba por tiempo fue dividido en 3 cuestas, 3 descensos, y 2 secciones llanas. Las secciones de ascenso fueron definidas como (a) 15-20 % de ascenso, (b) 10-15 % de ascenso y (c) 5-10% de ascenso. Las secciones de descenso fueron definidas como (a) 5-10% de descenso, (b) 10-15 % de descenso y (c) 15-20 % de descenso. Las secciones de terreno llano fueron definidas como (a) sección llana post-ascenso, y (b) sección llana post-técnico.

La prueba por tiempo de *cross-country* fue conducida en una bicicleta de montaña con suspensión delantera de fibra de carbono de 18 pulgadas (Giant, MCM1, Taiwan) equipada con palancas de potencia (SRM) Schroberer Rad Messtechnik calibradas (Schoberer Rad Messtechnik, Welldorf, Alemania) y suspensión delantera (Rock Shox, San Jose, CA). Antes de cada prueba, las cubiertas fueron infladas a la misma presión (delantera, 40 psi, trasera, 45 psi), la longitud del asiento y el *stem* fueron ajustados para adaptarse a la altura y alcance del ciclista, y el sistema de la palanca SRM fue reiniciado. Como entrada en calor y para familiarizar al ciclista con el recorrido, cada ciclista completó una vuelta completa al recorrido de *cross-country* a un ritmo moderado. Esto fue seguido por 6 vueltas completas al recorrido a una velocidad de competición. La producción de potencia, FC, cadencia, distancia y velocidad fueron registradas en forma contínua. Se instruyó a los ciclistas para que realizaran un esfuerzo máximo (i.e., a ritmo de carrera) y fueron informados acerca del rendimiento de cada sujeto y el ranking de la prueba.

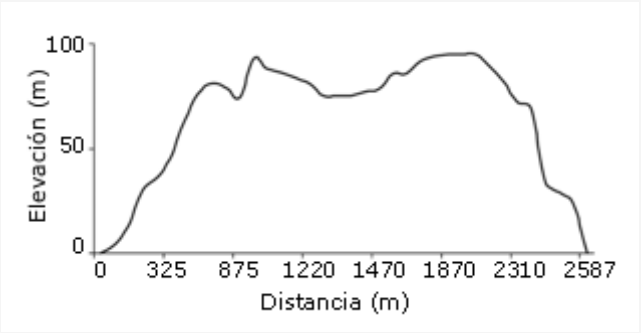

Figura 1. *Perfil del recorrido de la prueba por tiempo de cross-country y distancia de cada vuelta.*

Prueba por Tiempo de *cross-country*: Calibración SRM

El sistema SRM utiliza una palanca de ciclismo modificada que mide producción de potencia, velocidad, cadencia, distancia y FC, y luego almacena esta información en una computadora montada en el manubrio (medidor de potencia SRM). 3 días antes de la prueba por tiempo las palancas de potencia SRM fueron calibradas por comparación con un ergómetro Hays frenado por un ventilador (Adelaida, Australia). Un mes antes de la prueba de calibración del SRM, la producción de potencia del ergómetro Hays había sido evaluada usando un calibrador dinámico (South Australian Institute of Sport, Australia) (21) y fue encontrada una exactitud del 2% para las producciones de potencia de hasta 650 W. Fue determinado un factor de calibración a partir de la ecuación de regresión de la lectura de producción de potencia de la palanca SRM y el ergómetro Hays: producción de potencia del Hays: 10,546 + (1,04.producción de potencia del SRM).

Prueba por Tiempo de *cross-country*: Muestreo Sanguíneo

Veinte minutos antes de la prueba por tiempo y 20 horas después, fueron tomados 10 ml de sangre venosa y fueron analizados para lactato deshidrogenasa (LDH) y creatinquinasa total (CK) (RA 1000; Technicron, Nueva Cork, NY). Luego de completar cada vuelta, el sujeto hacía una pausa de 30 segundos de modo que pudiera ser extraída una muestra de sangre capilar de 20 µl del dedo para el análisis de lactato, usando el sistema portátil anteriormente descrito. También

fueron registrados el índice de esfuerzo percibido (4), el tiempo de cada vuelta y la temperatura ambiente y la humedad relativa.

Análisis Estadísticos

Los resultados fueron expresados como valores medios±DS. La correlación momento-producto de Pearson (versión 2.03, Sigma Stat, Richmond, CA) fue usada para determinar la relación entre los parámetros fisiológicos obtenidos durante el test de ejercicio progresivo y máximo y la prueba por tiempo de *cross-country*. Para las comparaciones fueron utilizados test t para datos apareados y análisis de varianza. Fue establecido un valor $p \leq 0.05$ como estadísticamente significativo.

RESULTADOS

Las características del recorrido de la prueba por tiempo de *cross-country* usada en este estudio y la comparación con el promedio de los 29 recorridos de la Copa del Mundo son presentadas en la Tabla 1. Aunque nuestro recorrido para la prueba por tiempo fue más corto, el gradiente promedio fue similar. Las respuestas físicas y fisiológicas obtenidas para el test de ejercicio máximo y progresivo y para la prueba por tiempo son presentadas en la Tabla 2 y 3. El VO_2 máx. obtenido durante el test de ejercicio máximo y progresivo fue de 64,8±8,2 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, lo cual es indicativo de un grupo de sujetos entrenados, pero no de elite. La cadencia promedio fue significativamente más alta durante el test de ejercicio máximo y progresivo (89,0±4,0 rpm) que durante la prueba por tiempo de *cross-country* (62,3±2,14 rpm). Los niveles de las enzimas CK y LDH obtenidos 20 horas después de la prueba por tiempo fueron significativamente más altos que los valores obtenidos antes de la misma.

	Recorrido de cross-country utilizado en este estudio	Promedio (intervalo) de la Copa del Mundo (n=29)
Distancia de la vuelta (km)	2,58	8,9 (6,2-15,7)
Duración de la competición (min:s)	61:33	140,23 (114,53-158,58)
Distancia vertical subida en cada vuelta (m)	104	353,8 (250-545)
Distancia total vertical subida (m)	624	1935,8 (1520-2416)
Distancia total de la prueba (km)	15,52	48,04 (32-56)
Gradiente promedio (%)	4,02	4,13 (3,38-5,50)
Sendero (%)	62	44,6 (27-61)
Camino abierto (%)	38,7	55,4 (39,0-73,0)
Camino post-técnico (%)	9,4	8,1 (4-15)
Descenso rápido (%)	16,2	12,4 (5-25)

Tabla 1. *Características del recorrido de la prueba por tiempo de cross-country usada en este estudio comparado con el promedio de 29 recorridos de la Copa del Mundo.*

Variable	Media	DS
Producción de potencia pico (W)	367,5	32,0
Potencia pico/masa (W/kg)	5,1	0,4
$\dot{V}O_2$ máx. (L/min)	4,5	0,5
$\dot{V}O_2$ máx. ($mL.kg^{-1}.min^{-1}$)	64,8	8,2
FC pico (lat./min)	191	7
Lactato Pico (mmol/L)	12,3	1,8
RPE pico (6-20)	19	1
Potencia/masa en el IAT (W/kg)	4,3	0,3
Potencia en el IAT (W)	309,5	27,8
FC en el IAT (mmol/L)	173	8
Lactato en el IAT (mmol/L)	3,9	1,0
RPE a una carga de trabajo correspondiente al IAT (6-20)	17	1
Cadencia (rpm)	89	4

Tabla 2. *Respuestas físicas y fisiológicas a un test de ejercicio progresivo y máximo. FC=frecuencia cardíaca; RPE: índice de esfuerzo percibido, IAT=umbral anaeróbico individual.*

Variables	Media	DS
Duración de la Prueba (min:s)	61:33	6:12
Velocidad (km/h)	15,27	1,53
Potencia de la prueba (W)	315,4 †	39,5
Tiempo de pedaleo libre (%)	17,4	3,98
Cadencia (rpm)	62,3 ‡	2,14
FC (lat./min)	174	7
Lactato (mmol/L)	8,2 ‡	2,9
CK (preprueba; mmol/L)	136,9	83,9
CK (20 h post-prueba; mol/L)	219,8 §	120,9
LDH (pre-prueba; mol/L)	161,2	45,4
LDH (20 h post-prueba; mol/L)	206,6 §	59,1
Cambio en el volumen plasmático (%)	-2,3	0,03
RPE (6-20)	17	1

Tabla 3. *Respuestas físicas y fisiológicas a una prueba por tiempo de montain bike en modalidad cross-country. * Los datos son presentados como valores medios±DS para la prueba por tiempo a menos que otra cosa sea establecida. FC=frecuencia cardíaca; CK=creatinquinasa total; LDH=lactato deshidrogenasa; RPE=índice de esfuezo percibido. † Potencia de la prueba calculada sin la parte de descenso de la vuelta; ‡ Diferencia significativa ($p<0.05$) entre la prueba por tiempo de cross-country y el test de ejercicio progresivo y máximo; § Diferencia significativa ($p<0.05$) entre los niveles de CK y LDH pre- y post-prueba por tiempo.*

Correlación Entre el Test de Ejercicio Máximo y Progresivo y la Prueba por Tiempo de *cross-country*

La Tabla 4 muestra que fueron obtenidas altas correlaciones entre la velocidad promedio de la prueba por tiempo y diferentes variables fisiológicas obtenidas a partir del test de ejercicio progresivo y máximo, particularmente cuando las variables están relacionadas a la masa (corporal, bicicleta, casco, botella de agua, SRM y zapatillas). De manera similar, fue observada una fuerte correlación entre las variables fisiológicas y el tiempo de ascenso.

	Potencia pico (W)	Potencia pico/masa (W/kg)	VO_2 máx. (L/min)	VO_2 máx. relativo (ml.kg-1.min-1)	PO en el IAT (W)	PO en el IAT/masa (W/kg)
Velocidad promedio de la prueba por tiempo	0,64 †	0,93 †	0,66 †	0,80 †	0,50	0,78 †
Tiempo de ascenso en la prueba por tiempo	-0,61	-0,87 †	-0,67 †	-0,72 †	-0,48	-0,75 †

Tabla 4. *Correlaciones entre las variables fisiológicas obtenidas para el test de ejercicio máximo y progresivo y la prueba por tiempo de cross-country. * PO=producción de potencia; VO_2 máx. relativo= VO_2 máx. dividido por la masa corporal; IAT=umbral anaeróbico individual. La masa incluye al sujeto, bicicleta, casco, zapatillas, botella de agua y palancas de potencia SRM. † Denota un nivel significativo a p<0.05.*

Sección del Terreno	Velocidad (km/h)	Producción de potencia (W)	Porcentaje de la potencia pico (%)	FC (lat./min)	% de la FC pico (%)	Cadencia (rpm)
Ascenso, 15-20%	7,6±0,91	419,8±39,7	115,1±8,2	179±8	93,8±2,6	57,7±5,6
Ascenso, 10-15%	9,9±1,2	372,6±48	102,2±9,5	173±8 †	90,6±3,4 †	61,8±7
Ascenso, 5-10%	11,6±2,2	326,8±44,8	89,2±7,6	178±7	93±2,2	67,9±6,3
Llano post-ascenso	10,9±1,1	306,6±39,8	85±7,2	178±7	93,4±2	71,8±6,9
Llano post-técnico	18,4±2	257,4±31,4	71,7±7,8	177±7	92,4±3	74,3±5,6
Descenso, 5-10%	20,7±2,3	64,7±27	18,2±13,6	168±9 †	87,8±3,6 †	49±13,6
Descenso, 10-15%	22,7±2,6	33,1±14,9	10,6±10,8	152±9 †	79,6±4,5 †	27,6±9,2
Descenso, 15-20%	19,4±2,8	19,4±2,8	17,6±22,9	150±9 †	78±4,4 †	6,4±12,1

Tabla 5. *Resultados (media±DS) obtenidos para cada una de las secciones de terreno de la prueba por tiempo de cross-country. * % de la potencia pico=potencia relativa a la potencia pico determinada a partir del test de ejercicio máximo y progresivo; % FC pico=frecuencia cardiaca relativa a la frecuencia cardíaca pico determinada a partir del test de ejercicio máximo y progresivo. Los valores en negrita significan diferencias entre todas las categorías de terreno (p<0.05). † Denota una diferencia significativa entre las categorías 15-20%, 5-10% y llano.*

Análisis de las Secciones de Terreno de la Prueba por Tiempo de *cross-country*

Hubo diferencias significativas entre las 8 secciones de terreno del recorrido de la prueba por tiempo de *cross-country* y la velocidad de competición, producción de potencia, y cadencia (Tabla 5). Tal como se esperaba, la mayor FC media fue obtenida durante la sección más empinada del recorrido (179±8 lat./min), cuando la producción de potencia alcanzó su valor más alto (419,8±39,7 W). De manera similar, la menor FC fue registrada durante la sección de descenso más empinado (150±9 lat./min), donde la producción de potencia (19,4±2,8) y la cadencia (6,4±12,1 rpm) alcanzaron su valor mínimo.

DISCUSION

Uno de los principales hallazgos de este estudio fue la fuerte correlación entre las variables fisiológicas determinadas a partir de un test de ejercicio progresivo y máximo y el rendimiento durante una prueba por tiempo de *cross-country*. La

mayor correlación fue observada entre la velocidad de la prueba y la producción de potencia pico relativa a la masa total (r=-0,93) y demuestra la importancia de la capacidad del ciclista de producir grandes esfuerzos relativos a la masa para determinar el rendimiento general en una prueba por tiempo de *cross-country*.

La fuerte correlación que reportamos entre el VO_2 máx. relativo y la velocidad de la prueba por tiempo (r=-0,80) contrasta con las débiles correlaciones reportadas en pruebas por tiempo de ruta (2, 5). Esto sugiere que el VO_2 máx. relativo puede ser una variable de predicción más sensible del rendimiento en MTB que del rendimiento en una prueba por tiempo de ruta, ya que el primero contiene de manera característica cambios muchos más frecuentes en la dirección y gradiente del recorrido. Debido a que los ciclistas son forzados a acelerar frecuentemente desde velocidades bajas y a trepar gradientes pronunciados durante una competición típica de MTB, las medidas fisiológicas relativas pueden predecir mejor el rendimiento en una competición de MTB de *cross-country* de lo que lo hacen en las pruebas contrarreloj de ruta.

Los datos de la prueba por tiempo de MTB de *cross-country* muestran grandes variaciones en la producción de potencia de hasta 42,6%, estando la producción de potencia relacionada al gradiente y a la cadencia (Tabla 5). La producción de potencia y cadencia, bajas y frecuentemente intermitentes mientras se desciende, se explican por la necesidad del ciclista de mantener el equilibrio, con los pedales en posición horizontal para utilizar efectivamente las piernas para absorber impactos. De este modo, parece que los ciclistas de *cross-country* incrementan la potencia en las secciones empinadas del terreno, mientras que en el terreno subsiguiente, la producción de potencia es reducida.

Durante la prueba por tiempo de MTB de *cross-country*, el lactato sanguíneo promedio (8,2 mmol/L) fue significativamente mayor que el calculado para el test de ejercicio progresivo y máximo en el umbral anaeróbico individual (3,9 mmol/L) e indica que la intensidad del ejercicio mantenida durante la prueba por tiempo produce una concentración de lactato arriba del umbral anaeróbico individual, pero debajo de los valores pico reportados en el test de ejercicio progresivo y máximo (12,3 mmol/L). Este hallazgo coincide con la respuesta de lactato observada durante una prueba de 60 minutos en ergómetro y a través de una competición de ruta de 20 km (5, 13). Los altos niveles de lactato reportados aquí pueden reflejar los altos niveles pico de producción de potencia medidos durante la prueba por tiempo de *cross-country* acoplados con un tiempo de recuperación mínimo. El clearence de lactato sanguíneo puede haberse perjudicado por un incremento en el nivel de contracción isométrica en las secciones técnicas y de descenso del recorrido.

Los datos de cadencia son indicativos del terreno y confirman la idea de que los ciclistas varían la cadencia de acuerdo a las demandas del recorrido. Con el objetivo de atravesar las secciones pedregosas y mantener un agarre efectivo entre las cubiertas y la superficie mientras se aplica la máxima fuerza posible, se requiere frecuentemente que el ciclista de *cross-country* se mantenga en el asiento y use una menor cadencia. De manera similar, ha sido demostrado que los ciclistas de ruta utilizan una menor cadencia durante las secciones más empinadas del recorrido. Lucia et al. (10) encontraron que los ciclistas profesionales de ruta promedian 90 rpm durante los eventos de ruta llanos de salida masiva, en comparación con los 70 rpm durante los ascensos a las montañas.

Nuestros datos muestran que la FC estuvo fuertemente correlacionada con el tipo de terreno. Sin embargo, la FC no calló debajo del 78,5% de la FC pico, aun en las secciones de descenso del recorrido. Esto puede haber sido causado por las demandas energéticas de las contracciones musculares isométricas que son extensivamente utilizadas en la absorción de impactos, manejo de la bici, y estabilización durante el descenso en la modalidad *cross-country*. Un incremento transitorio a la resistencia al flujo sanguíneo en los músculos contraídos isométricamente y un incremento en las señales sensoriales pueden también haber contribuido al aumento en la FC en las secciones de descenso del recorrido. Esto es apoyado por los datos que muestran mayores FCs cuando se pedalea en bicicletas de *mountain bike*sin suspensión (17). Otra contribución a las mayores FCs durante las secciones de descenso puede ser el requerimiento para los ciclistas de saltar o levantar la rueda delantera para esquivar obstáculos (3). De este modo, aunque las secciones de descenso del recorrido de MTB de *cross-country* resultaron en una cierta disminución en la FC, las demandas físicas de descender y esquivar obstáculos mantuvieron a la FC en niveles no explicables solamente por la producción de potencia medida en las palancas.

Fue registrada una menor velocidad promedio en las secciones más empinadas del descenso (15-20%) en comparación con las secciones menos empinadas (10-15%). Podría haber sido necesario para el ciclista reducir la velocidad mientras desciende con el objetivo de sobrepasar secciones pedregosas, empinadas o técnicas del recorrido. Así, el ciclista de *cross-country* parece estar forzado a mantener una velocidad que es proporcional a la habilidad de conducción del ciclista y a las demandas técnicas del recorrido. Estos hallazgos apoyan la observación acerca de que los ciclistas en este estudio experimentaron un patrón de carga variable que fue causado por los cambios en el terreno.

En conclusión, los diferentes tipos de terreno encontrados durante una competición de *cross-country* típica producen diferentes respuestas fisiológicas en el ciclista. La frecuencia cardiaca y la producción de potencia se incrementan con el gradiente del terreno y caen durante las secciones llanas o de descenso del recorrido. La frecuencia cardiaca permance elevada en relación a la producción de potencia en las secciones de descenso del recorrido, presumiblemente debido al efecto de las contracciones isométricas. Esto puede conducir a una recuperación limitada después de los períodos de alta

producción de potencia y es significativo para la prescripción del entrenamiento. Nosotros determinamos que la potencia relativa a la masa predecía el rendimiento general, siendo el pico de potencia relativo a la masa total la variable que mejor predice la velocidad de la prueba. Esto demuestra la importancia de la capacidad del ciclista de producir esfuerzos grandes relativos a la masa en las cuestas para determinar el rendimiento general en una prueba por tiempo de *cross-country*.

Aplicaciones Prácticas

El principal hallazgo de este estudio que indica que las mediciones fisiológicas relativas a la masa, obtenidas durante un test realizado en el laboratorio predijeron significativamente mejor el rendimiento durante una prueba en el campo que las mediciones absolutas, tiene implicancias significativas para la prescripción del entrenamiento. Anecdóticamente, los ciclistas y entrenadores sienten que las competiciones de MTB son ganadas o perdidas en las cuestas, particularmente si el diseño del recorrido impide al ciclista trasladar el momentum desde las secciones de descenso a las de ascenso. Los hallazgos de este estudio coinciden con esta observación y conducen a la idea de que los programas de entrenamiento de MTB de *cross-country* deberían centrarse en mejorar los valores fisiológicos relativos en vez de centrarse en maximizar los valores absolutos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los sujetos que formaron parte de este experimento, al Instituto de Deportes de Tasmania, y a Ms. Tammy Ebert por su apoyo para este proyecto de investigación; al entrenador de equipo Nacional Australiano de pruebas por tiempo de *cross-country*; a Mr. Damian Gruñid; y al Departamento de Fisiología del Deporte del Instituto Australiano por el uso de sus palancas SRM.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Justin Walls, J.Walls@utas.edu.au

REFERENCIAS

1. Beaver, W.L., K. Wasserman, and B.J. Whipp (1985). Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J. Appl. Physiol. 59:1936–1940*
2. Bentley, D.J., G.J. Wilson, A.J. Davie, and S. Zhou (1998). Correlations between peak power output, muscular strength and cycle time trial performance in triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness. 38:201–207*
3. Berry, M.J., M.C. Woodard, C.J. Dunn, D.G. Edwards, and C.L. Pittman (1993). The effect of a mountain bike suspension system on metabolic energy expenditure. *Cycling Sci. Spring 8–13*
4. Borg, G.A.V., and B.J. Noble (1974). Perceived exertion. *In: Exercise and Sports Science Reviews (vol. 2). J. Wilmore, ed. New York: Academic Press, pp. 131–153*
5. Coyle, E.F., M.E. Feltner, S.A. Kautz, M.T. Hamilton, S.J. Montain, A.M. Baylor, L.D. Abrahams, and G.W. Petrek (1991). Physiological and bio-mechanical determinants of elite endurance cycling performance. *Med. Sci. Sports Exerc. 23:93–107*
6. Hansen, E.A., K. Jensen, and K. Klausen (1996). The work demands in cyclo-cross racing. *Cycling Sci. Summer: 31–33*
7. Heller, J., and J. Novotny (1997). Aerobic and anaerobic capacity in elite mountain bikers. *Acta Univ. Carol. Kinanthropologica Prague. 33:61–68*
8. Kuipers, H., F.T.E. Verstappen, H.A. Keizer, and P. Guerten (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. *Int. J. Sports Med. 6:197–201*
9. Lee, H.L., D.T. Martin, J.M. Anson, D. Grundy, and A.G. Hahn (2002). Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *J. Sports Sci. 20:1001–1008*
10. Lucia, A., J. Hoyos, and J.L. Chicharro (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Med. 31:325–337*
11. Macrae, H.S-H., K.J. Hise, and P.J. Allen (2000). Effects of front and dual suspension mountain bike systems on uphill cycling performance. *Med. Sci. Sports Exerc. 32:1276–1280*
12. Mujika, I., and S. Padilla (2001). Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports Med. 31:479–487*
13. Nichols, J.F., S.L. Phares, and M.J. Buono (1997). Relationship between blood lactate response to exercise and endurance performance in competitive female master cyclists. *Int. J. Sports Med. 18:485–463*
14. Norton, K.M., N. Marfell-Jones, D. Whittinham, D. Kerr, L. Carter, K. Saddington, and C.J. Gore (2000). Anthropometric assessment protocols. *In: Physiological Tests for Elite Athletes. C.J. Gore, ed. ACT, Australia: Australian Sports Commission pp. 66–85*
15. Padilla, S., I. Mujika, G. Cuesta, and J.J. Goiriena (1999). Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Med. Sci. Sports Exerc. 31:878–885*
16. Padilla, S., I. Mujika, J. Orbananos, and F. Angulo (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Med. Sci. Sports Exerc. 32:850–856*

17. Seifert, J.G., M.J. Luetkemeier, M.K. Spencer, D. Miller, and E.R. Burke (1997). The effects of mountain bike suspension systems on energy expenditure, physical exertion, and time trial performance during mountain bicycling. *Int. J. Sports Med. 18:197200*
18. Tanaka, H., D.R. Bassett, T.C Swensen, and R.M. Sampedo (1993). Aerobic and anaerobic power characteristics of competitive cyclists in the United States cycling federation. *Int. J. Sports Med. 14:334338*
19. Wilber, R.L., K.M. Zawadzki, J.T. Kearney, M.P Shannon, and D. Disalvo (1997). Physiological profiles of elite off-road and road cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc. 29:10901094*
20. Withers, R.T., D.A. Smith, B.E. Chatteron, C.G. Scultz, and R.D. Gaffney (1992). Comparison of four methods of estimating the body composition of male endurance athletes. *Eur. J. Clin. Nutr. 46:773784*

Cita Original

Gregory John, David P. Johns and Justin T. Walls. Relative vs. Absolute Physiological Measures as Predictors of Mountain Bike Cross-Country Race Performance. J. Strength Cond. Res.; 21 (1): 17–22, 2007