

Monograph

Correlaciones Fisiológicas con el Rendimiento de Ciclismo de Ascenso de 10 km en Ciclistas de Competición

Carl D Paton⁴, Jorge R Perrout De Lima³, Vitor Pereira Costa^{1,2}, Dihogo Gama De Matos³, Leonardo Coelho Pertence² y Jonas Almeida Neves Martins³

¹Higher Education Center of South Region, Santa Catarina State University - UDESC, Laguna, Brasil.

²Physical Effort Laboratory/CDS/Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

³Eastern Institute of Technology - EIT, Napier, Nueva Zelanda.

⁴Motor Evaluation Laboratory, Federal University of Juiz de Fora - UFJF, Juiz de Fora, Brasil.

RESUMEN

El propósito de este estudio fue verificar la relación entre diferentes variables fisiológicas y el rendimiento durante una prueba contrarreloj de ciclismo de ruta en ascenso simulado en el campo en ciclistas competitivos. Quince ciclistas ($35,1 \pm 7,0$ años; $68,4 \pm 7,7$ kg; $1,73 \pm 0,1$ centímetros; $8,5 \pm 1,0\%$ de grasa corporal; $57,9 \pm 8,2$ mL.kg⁻¹.min⁻¹) realizaron un test de ejercicio incremental y una prueba contrarreloj de ciclismo de ascenso de 10-km, utilizando un dispositivo de medición de potencia acoplado a la bicicleta del ciclista. Se obtuvieron relaciones altamente significativas entre la producción de potencia media durante la prueba contrarreloj de 10-km de ciclismo normalizada según la masa corporal y el tiempo en los 10-km de ciclismo (-0,85; -0,80; P <0,01). También se observó una asociación significativa entre el VO_{2max}.kg⁻¹ y el tiempo de ciclismo de 10-km (-0,69, P <0,05). Nosotros concluimos que en los ciclistas de competición, la producción de potencia media durante la prueba contrarreloj de ciclismo de 10-km y el VO_{2max}, ambos normalizados en función de la masa corporal, están fuertemente asociados con el rendimiento valorado a través del tiempo de pedaleo durante una prueba contrarreloj de ciclismo de ascenso de 10-km simulada en el campo.

Palabras Clave: ciclismo, rendimiento, producción de potencia

INTRODUCCION

Durante los últimos años el ganador de los eventos de ciclismo de ruta más importantes (i.e *Tour de France*) realizó la carrera a ritmo muy constante durante etapas duras de montaña y eventos de pruebas contrarreloj. Por consiguiente, con el fin de explicar cómo los ciclistas pueden desempeñarse muy bien en diferentes terrenos, algunos autores han analizado el rendimiento de ciclismo en estos eventos que incluyen etapas en montaña y en el llano.

Diferentes estudios investigaron las correlaciones entre las variables antropométricas, aeróbicas y anaeróbicas y el rendimiento en la prueba contrarreloj (2-8). En las pruebas contrarreloj largas (mas de 50 km de distancia), el rendimiento

en ciclismo se relaciona parcialmente con la producción de potencia que permite alcanzar el umbral ventilatorio (12). De hecho, la relación entre la producción de potencia en el umbral del lactato y la producción de potencia máxima (W_{max}) puede cambiar dependiendo de la longitud de la prueba contrarreloj realizada (5). Por otra parte, la pendiente puede afectar dramáticamente el rendimiento en la prueba contrarreloj del ciclista. De esta manera, la resistencia al rodamiento, resistencia aérea y la fuerza de gravedad pueden explicar, en parte, por qué los ciclistas de mayor tamaño son mejores en terrenos llanos y los de menor tamaño son mejores en terrenos en subida (13).

Algunos estudios han descrito la estimación del rendimiento de una prueba contrarreloj de ascenso. (3, 7, 9, 13). Davison et al. (7) observaron que el mejor estimador individual de tiempo de rendimiento de 1-km y 6-km era el tiempo de ascenso correspondiente a la otra distancia. Además, la potencia promedio de Wingate por unidad de masa corporal era el estimador simple más fuerte del rendimiento de ciclismo de escalada de montaña simulada. Después, Heil et al. (9) investigaron la estimación del rendimiento de pruebas contrarreloj de escalada de montaña adaptando un protocolo derivado. Los autores sugirieron que un protocolo en bicicleta ergométrica derivado de la normalización sería útil y se correlacionaría con el rendimiento en una prueba contrarreloj de ciclismo de ascenso.

Recientemente, Antón et al. (3) informaron que el rendimiento en pruebas contrarreloj en terrenos llanos se correlaciona principalmente con los valores absolutos y variables antropométricas mientras que el rendimiento en pruebas contrarreloj de escalada se asocia con la producción de potencia máxima (W_{max}) normalizada según la masa corporal. Los estudios previos sobre rendimiento en pruebas contrarreloj en ascenso analizaron los parámetros fisiológicos aeróbicos y anaeróbicos en el laboratorio. Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue verificar en el campo, la relación entre las variables aeróbicas y el rendimiento en pruebas contrarreloj en ciclistas de competición.

MÉTODOS

Sujetos

En este estudio participaron voluntariamente quince ciclistas de competición experimentados. Cada sujeto dio su consentimiento informado por escrito de acuerdo con las políticas de ética de la Universidad Federal de Juiz de Fora (Juiz de Fora, Brasil). Las características físicas de los sujetos eran: edad $35,1 \pm 7,0$ años, masa corporal $68,4 \pm 7,7$ y grasa corporal $8,5 \pm 1,0\%$. Los atletas estaban en el medio de la fase inicial de su temporada. En el momento de realizar la prueba, ellos pedaleaban entre 12 a 18 hrs por semana.

Procedimientos

Todos los sujetos asistieron al laboratorio para que se les realizara la medición de las variables antropométricas y para realizar una prueba de ciclismo incremental en una bicicleta ergométrica con freno electromagnético (*Ergo Fit 167, Pirmansens, Alemania*). La bicicleta ergométrica fue modificada con pedales automáticos y un sillín de competición. El sillín y el manubrio de la bicicleta ergométrica fueron adaptados de modo de lograr una posición similar a la de la bicicleta de cada sujeto. Cada sujeto realizó una entrada en calor de 5-min a 70 W seguida por 2-min de recuperación pasiva. La prueba comenzó a 100 W y luego la intensidad aumentaba 15 W cada 30 seg hasta el agotamiento volitivo o hasta que el sujeto no pudiera mantener una cadencia superior a 60 rpm. El aire expirado fue recolectado continuamente mediante un analizador metabólico calibrado previamente (VO_{2000} , *Medical Graphics Inc., Minnesota, EE.UU.*).

El VO_{2max} fue registrado como la mayor lectura de consumo de oxígeno (VO_2) promediada a lo largo de 30 seg. Durante el test, la frecuencia cardíaca (HR) fue continuamente registrada con un monitor de HR (*S725X Polar, Electro OY Polar, Finlandia*). Un minuto después del final del test, se tomaron muestras de sangre capilar del lóbulo de la oreja derecha de cada sujeto y las mismas fueron inmediatamente analizadas mediante una técnica electromagnética (*YSI® 1500 Sport, Yellow Springs Instruments, Ohio, USA*). El analizador fue calibrado siguiendo los procedimientos recomendados por el fabricante. Todos los sujetos (es decir, ciclistas) realizaron una prueba contrarreloj en ascenso de 10 km en ruta con una variación en la pendiente de entre 2 y 6%. Los sujetos realizaron el test en el campo utilizando su propia bicicleta equipada con una rueda de medición de potencia (*Power tap SL 2,4 Saris, Madison, EEUU*). Antes del test los sujetos realizaron una entrada en calor de 30-min a un ritmo seleccionado por ellos mismos y a una intensidad que correspondía a aprox. 65 a 70% de W_{max} . Todas las pruebas contrarreloj fueron realizadas en el mismo momento del día bajo condiciones medioambientales similares (aprox. 25 °C, humedad relativa = 50%).

Análisis Estadísticos

Para todas las variables medidas en el laboratorio y en el campo, se calcularon las estadísticas descriptivas utilizando el

software SPSS 16,0. Para asegurar una distribución Gaussiana de los datos se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov. Las comparaciones entre las variables fisiológicas durante el test de ejercicio incremental y el rendimiento en la prueba contrarreloj de 10-km de ciclismo, fueron realizadas mediante un test-t-de muestras apareadas. Para establecer la relación entre las variables medidas se utilizaron las correlaciones momento-producto y de Spearman Rank. Para todos los análisis, el nivel de significancia estadística se fijó en un nivel de alfa de $p < 0,05$.

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra las respuestas fisiológicas submáximas y máximas durante el test de ejercicio incremental y las variables de rendimiento de la prueba contrarreloj. Se observaron correlaciones significativas cuando se midió el rendimiento en función del tiempo (Tabla 2). La producción de potencia promedio normalizada según exponentes de masa 1,0 y 0,79 se asoció fuertemente con el rendimiento en la prueba contrarreloj en ascenso (-0,80 y -0,85, respectivamente, $P < 0,01$) mientras que el VO_{2max} se correlacionó significativamente con el tiempo de rendimiento (-0,69; $P < 0,05$).

Variables Fisiológicas	Media \pm DS
Wmax (W)	376,0 \pm 23,0
Wmax \cdot kg ⁻¹ (W \cdot kg ⁻¹)	5,5 \pm 0,8
VT ₁ (W)	199,0 \pm 26,0
VT ₂ (W)	287,0 \pm 24,0
VO ₂ max (ml \cdot kg ⁻¹ \cdot min ⁻¹)	58,2 \pm 7,5
HR max (latidos/ \cdot min)	188 \pm 8
HRVT ₁ (latidos/ \cdot min)	149 \pm 12
HRVT ₂ (latidos/ \cdot min)	171 \pm 10
[La] max (mmol \cdot l ⁻¹)	10,1 \pm 1,1
Variables de Rendimiento	Media \pm DS
Tiempo (s)	1375 \pm 85
Velocidad (km \cdot h ⁻¹)	26,3 \pm 1,6
HRpico (latidos/ \cdot min)	186 \pm 6
HR media (latidos/ \cdot min)	177 \pm 6
Cadencia (rpm)	83 \pm 5
Wmedia (W)	276,0 \pm 25,6

Tabla 1. Variables medidas en los tests de laboratorio y de rendimiento. W_{max} = producción de potencia máxima; W_{max} \cdot kg⁻¹ = producción de potencia máxima relativa a la masa corporal; VT₁ = primer umbral ventilatorio; VT₂ = segundo umbral ventilatorio; VO₂max = consumo de oxígeno máximo; HR max = frecuencia cardíaca máxima; [La]max = Concentración máxima de lactato sanguíneo; HRpico = frecuencia cardíaca pico; HRmedia = frecuencia cardíaca media; Wmedia = producción de potencia media.

	Tiempo (s)	Wmedia	Wmedia\cdotkg⁻¹	Wmedia\cdotkg^{-0,79}
Tiempo (s)	1	-0,61*	-0,80**	-0,85**
Wmax	-0,51	0,89**	0,41	0,55*
Wmax \cdot kg ⁻¹	-0,59*	0,04	0,91**	0,83**
Wmax \cdot kg ^{-0,79}	-0,64*	0,16	0,93**	0,88**
VO ₂ max \cdot kg ⁻¹	-0,69**	0,43	0,80**	0,81**
VO ₂ max	-0,46	0,81**	0,25	0,39
VT ₂	-0,51	0,49	0,17	0,25
VT ₂ \cdot kg ⁻¹	-0,56*	-0,11	0,68**	0,59*
VT ₂ \cdot kg ^{-0,79}	-0,59*	-0,02	0,64**	0,58*

Tabla 2. Correlaciones observadas para las variables fisiológicas y de rendimiento seleccionadas. W_{max} = Producción de potencia máxima; kg⁻¹ = relativo a una masa elevada al exponente 1; kg^{-0,79} = relativo a una masa elevada al exponente 0,79; VO₂ max =

DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue determinar la relación entre las mediciones de rendimiento obtenidas en el laboratorio y el rendimiento, tiempo y potencia de una prueba contrarreloj de ciclismo en ascenso en ciclistas de competición. Los resultados principales revelaron la existencia de relaciones significativas entre el rendimiento en ascenso y diferentes mediciones de rendimiento determinadas en el laboratorio. Las mayores correlaciones entre las mediciones del laboratorio y el tiempo de rendimiento de la prueba por tiempo se observaron en el VO_{2max} y W_{max} ambos normalizados en función de la masa corporal. Se observaron fuertes correlaciones entre la potencia de rendimiento y los valores absolutos de VO_{2max} y W_{max} . La correlación aumentó significativamente cuando, tanto la potencia de rendimiento como las variables medidas en el laboratorio, fueron normalizados en función de la masa corporal. También se observaron correlaciones menores pero significativas, entre el rendimiento de ascenso y la producción de potencia incremental en el segundo umbral ventilatorio (VT_2) normalizado según la masa corporal.

Otros autores anteriores observaron que las mediciones absolutas de las pruebas de laboratorio eran buenos estimadores de rendimiento de pruebas contrarreloj, cuando las carreras se desarrollaban en terrenos llanos. Hawley y Noakes (8) informaron que W_{max} era un buen estimador del tiempo de pedaleo a lo largo de 20 km en un grupo heterogéneo de ciclistas ($r = -0,91$). De manera similar, Antón et al. (3) observaron una correlación fuerte ($r = -0,90$) entre el tiempo de una prueba contrarreloj de carrera de 14-km y W_{max} determinada en una prueba en el laboratorio. También se ha informado que los valores de VO_{2max} absoluto en los ciclistas se correlacionan fuertemente con el rendimiento durante las pruebas contrarreloj de 20 min y 60 min realizadas en el laboratorio (5, 6, 8). Sin embargo, estos resultados no coinciden con los nuestros, ya que no observamos ninguna correlación significativa entre W_{max} absoluta o VO_{2max} medidos en el laboratorio y el rendimiento en una prueba contrarreloj de ascenso.

Una razón probable para las correlaciones no significativas entre rendimiento y los valores absolutos obtenidos en el laboratorio se debería a la naturaleza de ascenso del recorrido. En recorridos llanos el mayor factor de demora se relaciona con superar la resistencia aerodinámica. Sin embargo, en las velocidades más lentas del ciclismo de ascenso, se vuelve más importante el hecho de superar las fuerzas gravitatorias debidas a la masa corporal. En concordancia con nuestro estudio, Heil et al. (9) informaron que la correlación entre el VO_{2max} y el rendimiento en una prueba contrarreloj de ascenso de 12,5 km se incrementó de 0,54 a 0,89, cuando los valores de rendimiento fueron normalizados según la masa corporal. De manera similar, la correlación entre tiempo de rendimiento y la W_{max} de laboratorio aumentó de 0,71 a 0,97 cuando la potencia fue normalizada para tener en cuenta la masa corporal del sujeto. En el estudio actual, las mediciones de laboratorio normalizadas en relación a la masa corporal, aumentaron significativamente la fuerza de la correlación con el rendimiento en la prueba contrarreloj.

Según nuestros conocimientos, sólo tres estudios (3, 9, 14) han analizado la relación entre las mediciones de laboratorio y el ciclismo de ascenso al aire libre. Sólo un estudio midió la producción de potencia real durante la prueba de escalada de montaña. Los valores absolutos de W_{max} y VO_{2max} se correlacionaron fuertemente con la velocidad media que los atletas podían mantener durante la prueba contrarreloj ($r > 0,8$). La correlación aumentó ligeramente cuando tanto los parámetros obtenidos en el laboratorio como los obtenidos en la escalada fueron normalizados en función de la masa corporal. Los datos informados en el presente estudio demuestran que la producción de potencia media proporcionó una valoración más válida que el tiempo, durante la prueba contrarreloj de ciclismo en ascenso.

La observación de que la potencia máxima se correlacionó mejor con la potencia de rendimiento que con el tiempo, no es sorprendente cuando se consideran los efectos de la aerodinámica individual y las condiciones medioambientales variables (4). De hecho, la relación entre la producción de potencia y la velocidad al aire libre, depende de factores como la velocidad y dirección del viento, variación en la pendiente del terreno, temperatura ambiente y presión atmosférica, así como del tamaño corporal, posición en la competición y diseño de la bicicleta. Sin embargo, un estudio previo informó una relación fuerte, significativa ($r = -0,99$) entre tiempo de rendimiento y producción de potencia media, durante una prueba contrarreloj de ciclismo en el llano de 40-km (10). En el estudio actual, la relación entre tiempo de rendimiento y producción de potencia media durante la escalada aumentó de -0,61 a -0,85 cuando la producción de potencia media fue ajustada según la masa corporal del sujeto.

Las fuertes correlaciones entre W_{max} y la potencia de rendimiento, ambos normalizados en función de la masa corporal

sugieren que un cambio en la potencia máxima o en el peso corporal tiene un efecto en el rendimiento de la prueba contrarreloj de ascenso de 10-km. Sin embargo, Lindsay et al. (11) observaron que ciclistas bien entrenados que completaron un programa de entrenamiento intervalado de alta intensidad de 4 semanas, obtuvieron un aumento ~5% en W_{max} ; los autores no observaron una mejora en pruebas contrarreloj de ciclismo de 40-km. Westgard-Taylor et al. (15) informaron que el entrenamiento de alta intensidad aumentaba la W_{max} , sin embargo, no observaron ninguna correlación significativa entre la potencia máxima y el rendimiento en la prueba contrarreloj de 40-km. Debemos destacar que la valoración de la potencia máxima en estos dos estudios anteriores involucraron protocolos diferentes de test de ejercicio incremental. Amann et al. (1) informaron que la valoración de la potencia máxima puede ser afectada por el método de evaluación. Se necesitan investigaciones adicionales para establecer si un cambio en la potencia máxima debido a los efectos del entrenamiento/desentrenamiento produce un cambio en el rendimiento en las pruebas contrarreloj

El umbral ventilatorio es un método no-invasivo basado en la presunción de que existe una relación causal entre la producción de lactato y la mayor ventilación. Varios estudios han utilizado la carga de trabajo en el umbral ventilatorio para correlacionarla con el rendimiento en pruebas contrarreloj largas y en terrenos llanos durante el ciclismo (1, 10, 12). La correlación significativa entre las variables del umbral ventilatorio y el rendimiento real en pruebas contrarreloj de ciclismo, en estos estudios varió de 0,73 a 0,92. Hopkins y McKenzie (10) observaron que la potencia absoluta en el umbral ventilatorio se correlacionó con el tiempo de rendimiento de 40 km y la producción de potencia estimada ($r = -0,81$ y $r = 0,81$; respectivamente). De manera similar, Amann et al. (1) observaron que valores absolutos de producción de potencia submáxima con diferentes métodos de umbrales ventilatorios se asociaron significativamente con la potencia de rendimiento de 40 km (0,73 a 0,81). Sin embargo estos resultados no coinciden con los obtenidos en el presente estudio que no encontró ninguna correlación significativa entre VT_2 absoluto y el rendimiento en la prueba contrarreloj de ascenso. Cuando los valores de potencia de rendimiento y valores de laboratorio fueron normalizados en función de la masa corporal, aumentó la significancia de las correlaciones. Esto probablemente se debió a la naturaleza en ascenso del recorrido. De acuerdo con nuestro estudio, Heil et al. (9) informaron que las correlaciones entre los umbrales ventilatorio y el rendimiento en prueba contrarreloj de ascenso de 6,2 km y 12,5 km aumentaron de 0,75 a 0,97 cuando los valores obtenidos en laboratorio fueron normalizados según la masa corporal. Por consiguiente, estos resultados pueden representar condiciones que pueden ayudar en el rendimiento de ciclismo de ascenso porque los parámetros fisiológicos frecuentemente se normalizan según una escala alométrica (13).

Una amplia variedad de estudios han reportado la relación entre VT y el rendimiento en pruebas contrarreloj. Generalmente, la mayoría de las investigaciones sólo informa el coeficiente de correlación y no compara la producción de potencia real en el umbral de lactato (VT) con la potencia de rendimiento de la prueba contrarreloj. Sin embargo, la correlación sólo mide la fuerza de una relación entre dos variables, no la coincidencia absoluta entre ellas (1). Por lo tanto, en nuestro estudio, el criterio para que un cierto método de valoración de VT fuera considerado como estimador válido del rendimiento en la prueba contrarreloj de ascenso fue no sólo una correlación significativa si no que también una comparación no significativa contra la producción de potencia media durante la prueba contrarreloj. En las subidas, los corredores mantienen ~73% de su producción de potencia máxima obtenida en laboratorio, este valor es similar a la producción de potencia que los atletas alcanzan en el VT (~76%). De hecho, los resultados demostraron que no había ninguna diferencia significativa entre la potencia de la prueba contrarreloj y la producción de potencia en VT_2 . Parecería que el VT_2 puede predecir la potencia que un atleta puede mantener en pruebas contrarreloj de escalada de aprox. 25 min de duración.

Conclusiones

En síntesis, es razonable concluir que en los ciclistas de competición, la producción de potencia media durante una prueba contrarreloj de 10-km de ciclismo y el VO_{2max} , ambos normalizados en función de la masa corporal, presentan una fuerte asociación con tiempo de rendimiento de ciclismo durante una prueba contrarreloj de 10-km simulada en el campo.

Agradecimientos

Deseamos agradecer a todos los ciclistas que participaron voluntariamente en este estudio.

REFERENCIAS

1. Amann M, Subudhi AW, Foster C (2004). Influence of testing protocol on ventilatory thresholds and cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:613-622

2. Amann M, Subudhi AW, Foster C (2006). Predictive validity of ventilatory and lactate thresholds for cycling time trial performance. *Scand J Med Sci Sports* 2006;16:27-34
3. Balmer J, Davison RC, Bird SR (2000). Peak power predicts performance power during an outdoor 16,1 km cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1485-1490
4. Bentley DJ, McNaughton LR, Thompson D, Vleck VE, Batterham AM (2001). Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:2077-2081
5. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT (1998). The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1270-1275
6. Davison R, Swan D, Coleman D, Bird S (2000). Correlates of simulated hill climb performance. *J Sports Sci* 2000;18:1-7
7. Hawley JA, Noakes TD (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 1992;65:79-83
8. Heil DP, Murphy OF, Mattingly AR, Higginson BK (2001). Prediction of uphill time-trial bicycling performance in humans with a scaling-derived protocol. *Eur J Appl Physiol* 2001;85:374-382
9. Hopkins SR, McKenzie DC (1994). The laboratory assessment of endurance performance in cyclists. *Can J Appl Physiol* 1994;19:266-274
10. Lindsay FH, Hawley JA, Myburgh KH, Schommer HH, Noakes TD, Dennis SC (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:1427-1434
11. Swain DP (1994). The influence of body mass in endurance bicycling. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:58-63
12. Tan FHY, Aziz AR (2005). Reproducibility of outdoor flat and uphill cycling time trials and their performance correlates with peak power output in moderately trained cyclists. *J Sports Sci Med* 2005;4:278-284
13. Westgarth-Taylor C, Hawley JA, Rickard S, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 1997;75:298-304.

Cita Original

Costa V. P., Pertence L. C., Paton C. D., De Matos D. G., Martins J. A. N., De Lima J. R. P. Physiological Correlates of 10-Km Up-hill Cycling Performance in Competitive Cyclists. *JEPonline*; 14 (3): 26-33, 2011.