

Monograph

Variables Fisiológicas para Estimar el Rendimiento en Competiciones de *Mountain Bike* en Modalidad *Cross-Country*

Victor Costa¹ y Fernando De Oliveira²

¹Laboratorio de Investigaciones Morfológicas y Funcionales, Universidad del Estado de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

²Núcleo de Estudio sobre el Movimiento Humano. Universidad Federal de Lavras, Lavras, Brasil.

RESUMEN

El *mountain bike* (MTB) es un deporte surgido recientemente derivado del ciclismo acerca del cual existe poca información respecto a los atletas y las competiciones. El objetivo de este estudio fue identificar las características morfofisiológicas en atletas de MTB de elite y las variables fisiológicas asociadas al rendimiento durante las competiciones olímpicas en modalidad *cross country* (XCO). En este estudio se incluyeron seis ciclistas de *mountain bike* de elite (26,5±0,6 años; 69,1±2,1 kg; 174,0±1,2 cm; 5,9±0,9 % de grasa estimada; 9,0±1,3 años de entrenamiento). Los participantes fueron sometidos a un test de Wingate y a un ejercicio incremental progresivo. Luego fueron evaluados durante la XCO de la Copa Mundial y la XCO del Campeonato Nacional de Brasil. Los resultados indican que los ciclistas presentan características morfológicas similares a la de los atletas internacionales. Sin embargo, tiene menor producción de potencia submáxima y máxima. La potencia máxima (W_{max}) relativa a la masa corporal estuvo asociada significativamente con el rendimiento en las dos carreras. La potencia en el segundo umbral del lactato (WLL_2) se correlacionó significativamente con el rendimiento en la XCO de la Copa Mundial solo cuando se la normalizó con la masa elevada a un exponente de 0,79. Por lo tanto, los resultados de este estudio apoyan el uso de la W_{max} y el WLL_2 en la valoración fisiológica de competidores de *mountain bike*. Además, el tamaño de cuerpo debe tenerse en cuenta para evaluar ciclistas de MTB.

Palabras Clave: ciclismo, ciclismo *mountain bike*, máximo consumo de oxígeno, potencia, lactato

INTRODUCCION

La carrera olímpica de *cross country* (XCO) es una modalidad en las carreras de *mountain bike* (MTB) de competencias realizadas generalmente durante un día. Este tipo de competencia se realiza en circuitos de tierra que consisten en un número predeterminado de vueltas (frecuentemente 5-7 vueltas para ciclistas profesionales), donde todos los participantes comienzan al mismo tiempo en un grupo masivo. Las carreras de *mountain bike* son llevadas a cabo en distintos tipos de terreno y frecuentemente incluyen diferentes secciones de trepada de cuestras. Las demandas fisiológicas de una carrera profesional de ciclismo de *mountain bike* sugieren que las carreras XCO requieren que el atleta mantenga una alta exigencia de los indicadores de la potencia y la capacidad aeróbica tales como el máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.) y

los umbrales del lactato y ventilatorio (LT y VT, respectivamente) por aproximadamente 2-2 h 15 min (1, 2, 3, 4). Además, Dal Monte y Faina (4) reportaron valores elevados de lactato sanguíneo durante una competencia simulada, lo que sugiere una alta participación del metabolismo anaeróbico. Efectivamente, Stapelfeldt y col. (3) reportaron que durante las competencias de XCO, los ciclistas de *mountain bike* alcanzan elevados valores de producción de potencia por encima de su potencia aeróbica máxima (W_{max}) durante subidas de gran pendiente. Además, las contracciones isométricas de las extremidades superiores se usan considerablemente en la absorción de golpes cuando se pedalea por caminos técnicos (2). Por lo tanto, parece que los ciclistas de *mountain bike* necesitan desarrollar tanto la potencia como la capacidad del sistema aeróbico para alcanzar el éxito durante las carreras XCO.

Durante años la literatura científica se ha enfocado principalmente en la identificación de índices fisiológicos y la relación con el rendimiento aeróbico (5, 6, 7, 8, 9, 10). Hay consenso que indica que estos datos son usados por los investigadores y entrenadores para prescribir y/o controlar el entrenamiento de resistencia (4). Para entender cuales variables fisiológicas están asociadas con el rendimiento en XCO, Impellizzeri y col. (5) reportaron fuertes correlaciones entre distintos parámetros medidos de la aptitud física aeróbica y el rendimiento en un grupo heterogéneo de ciclistas de *mountain bike* de nivel competitivo, particularmente cuando se normalizan por la masa corporal. En un estudio adicional (6), estos autores reportaron que los únicos índices fisiológicos de la aptitud física aeróbica que correlacionaron con el rendimiento del ciclismo de *mountain bike* fueron la producción de potencia y el consumo de oxígeno en el segundo VT, principalmente cuando se fueron normalizados por la masa corporal. En efecto, está claro que el indicador de capacidad aeróbica cuando se lo normalizó a la masa corporal presentó una asociación significativa con el rendimiento en XCO, tanto en un grupo homogéneo como heterogéneo de atletas.

Más recientemente, algunos autores sugirieron que la participación de los sistemas anaeróbicos y las características neuromusculares son componentes importantes para explicar el rendimiento de resistencia (11, 12, 13). Los trabajos anteriores acerca de rendimiento de la resistencia en competiciones XCO solo han estudiado los parámetros aeróbicos fisiológicos, mientras nadie ha divulgado la relación con los indicadores anaeróbicos (5, 6). Por lo tanto el objetivo de este estudio fue caracterizar las variables fisiológicas en el más alto nivel de ciclistas de *mountain bike* brasileños y verificar la relación entre indicadores aeróbicos y anaeróbicos con el rendimiento de resistencia en XCO.

METODOS

Sujetos

Seis ciclistas de *mountain bike* brasileños colaboraron voluntariamente en nuestra investigación de acuerdo al contacto previo y la firma de un formulario de consentimiento antes de la participación. Este estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad del Estado de Santa Catarina (número: 017/05 - Florianópolis - Brasil).

Durante el período de pruebas los atletas estaban en la fase competitiva de sus temporadas.

Grupo	Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg)	% de Grasa Estimado (%)	Sumatoria de pliegues cutáneos	Años de entrenamiento
E (n=6)	26,5±3,6	174,0±1,2	69,1±2,1	5,9±0,9	21,1±1,9	9,0±1,3

Tabla 1. Características de los sujetos (media±DS).

Procedimientos

Recolección de Datos de Laboratorio

Los atletas completaron tres evaluaciones diferentes en el mismo día. Primero, los ciclistas de *mountain bike* asistieron al laboratorio para registrar mediciones antropométricas para estimar el porcentaje de grasa (BF) de acuerdo con la fórmula de tres pliegues de Jackson y Pollock: pectoral, abdomen y cuádriceps (14) y sumatoria de pliegues cutáneos (Σ SK).

Luego los atletas realizaron un Test de Wingate (WT) (15) llevado a cabo en una bicicleta ergométrica frenada mecánicamente (CEFISEÒ, 1800). El dispositivo fue adaptado con el sistema de pedales y asiento específico para los

ciclistas de *mountain bike*.

Los sujetos tenían que permanecer sentados en el asiento de la bicicleta ergométrica durante el test.

Antes de la prueba se realizó un período de 5 minutos de calentamiento al nivel de 1 kp (9,8 N) con rpm libres. Durante el calentamiento los ciclistas realizaron dos series de pedaleo lo más rápido posible mientras que la resistencia se incrementó a 3-5 kp durante 3-5 s. Los sujetos tuvieron 2 min de descanso antes de comenzar con el WT. Los sujetos tuvieron que superar la inercia de la rueda en posición estática en el comienzo del test. Se instruyó a los atletas a pedalear lo más rápido posible. La carga de trabajo para el WT se fijó en 0,10 kp (0,98 N) por kg de peso corporal. Se utilizó el programa computarizado de WT para registrar el desarrollo de potencia para cada segundo de duración del test. La potencia media fue calculada como el promedio del desarrollo de potencia durante los treinta segundos. El pico de potencia (PP) fue definido como la producción de potencia más elevada registrada en 5 segundos durante el test de 30 segundos. El índice de fatiga (FI), definido como el porcentaje de caída de la producción de potencia desde el segmento más alto al más bajo (PL) fue determinado por la siguiente ecuación:

$$FI (\%): [(PP - PL)/PP] \times 100$$

Después de un intervalo mínimo de 30 minutos, los sujetos realizaron una prueba de ejercicio incremental en sus propias *mountain bikes* sobre un ciclosimulador (CompuTrainer™ RacerMate® 8000, Seattle WA), el cual fue calibrado con los procedimientos recomendados por el fabricante.

Antes del test se realizó un período de calentamiento de 8 min a un nivel de 70 W seguidos por 2 min de recuperación pasiva. La prueba comenzó en 100 W y la intensidad se incrementó en 30 W cada 3 min hasta la finalización de la prueba. Los participantes recibieron instrucciones para mantener una cadencia entre 90-110 rpm. La prueba de ejercicio fue finalizada voluntariamente por el sujeto o cuando no se pudo mantener la cadencia mínima (90 rpm). Si la etapa final del ejercicio no era completada, la W_{max} se calculaba usando la ecuación de Kuipers y col. (16).

$$W_{max} = W_F + (t/180 \times 30)$$

Donde W_F representó la última carga de trabajo completada, y t es el tiempo en segundos de la carga de trabajo incompleta.

La frecuencia cardíaca fue continuamente registrada durante el total de la prueba con un monitor de frecuencia cardíaca (Polar Vantage NV, Polar Electro OY, Finlandia). Los datos del intercambio gaseoso se recolectaron continuamente usando un analizador metabólico precalibrado Aerosport KB1-C (AerosportO, Inc., Ann Arbor, MI). Durante los últimos 30 s de cada etapa, se obtuvieron muestras de sangre del lóbulo de la oreja derecha de cada sujeto y se analizaron inmediatamente usando una técnica electroenzimática (YSI® 1500 Sport, Yellow Springs Instruments, Yellow Springs, OH). El analizador fue calibrado siguiendo los procedimientos recomendados por el fabricante. Los umbrales de lactato fueron identificados de acuerdo a la metodología de Berg (17). Brevemente, el primer umbral de lactato (LT_1) fue identificado con cargas de trabajo que corresponden con el índice mínimo $Lac.W^{-1}$ de cada sujeto. El segundo umbral de lactato (LT_2) fue identificado con cargas de trabajo que corresponden a 1,5 mmol.l⁻¹ sobre LT_1 . El LT_1 puede ser usado como una medición de la capacidad de trabajo aeróbico (18) y ha sido demostrado que el LT_2 coincide con el máximo nivel de [La] en estado estable derivado de un test umbral (19). Al final de cada etapa, los sujetos reportaron su percepción del esfuerzo usando la escala de Borg de 10 puntos (20).

Recolección de Datos de Campo

Todos los atletas de elite fueron evaluados durante dos competiciones XCO, las cuales estaban separadas por 14 días: la primera carrera fue la 6ª ronda de carreras XCO Copa del Mundo de UCI y la segunda fue el Campeonato Nacional de Brasil, respectivamente. Las carreras XCO tomaron lugar en Julio del 2005 y las condiciones ambientales fueron muy diferentes para cada evento. Durante la carrera de Copa del Mundo el tiempo estuvo soleado con una temperatura de ~28o C y una humedad relativa de ~55%. En contraste, durante el Campeonato Nacional de Brasil el tiempo estuvo frío y lluvioso con una temperatura de ~7o C y una humedad relativa de ~70% (Tabla 2).

Durante la Copa Mundial XCO y el campeonato Brasileño, solo el *ranking* de posiciones final fue usado como indicador de rendimiento. Estuvimos forzados a tomar esta decisión debido a que hay una regla particular en las competencias XCO de UCI. En resumen, cualquier corredor cuyo tiempo sea 80% más bajo del tiempo de la primera vuelta del líder de la carrera será sacado de la carrera. Los ciclistas que eran sacados de la carrera en una vuelta tenían que completar la vuelta en la que fueron sacados. Cuando se aplicaba esta regla, los corredores eran alistados en los resultados en el orden en el cual eran sacados de la carrera. Por lo tanto, solo un atleta elite brasileño completó el número total de vueltas definido por la organización UCI.

Análisis Estadísticos

Se calculó la estadística descriptiva para todas las variables identificadas en las pruebas de laboratorio y campo a través de *software* SPSS 11,5 para *Windows*.

El test de Kolmogorov-Smirnov fue aplicado para asegurar la distribución Gaussiana de los datos.

Luego, para correlacionar los parámetros fisiológicos con el rendimiento en resistencia, se utilizó la correlación de rangos producto-momento de Spearman. Para todos los análisis el nivel de significancia estadística fue establecido a un nivel alfa de $p < 0.05$.

	Campeonato Nacional Brasileño	Copa del Mundo
Distancia (km)	31,5	28,0
Tiempo (s)	142,5±4,5	143,4 (n=1)
Velocidad promedio (km.h ⁻¹)	12,8±0,8	11,7 (n=1)
Vueltas	7	5
Temperatura (°C)	7	28
Humedad (%)	70	55
FC pico (lat.min ⁻¹)	192±4	195±3
FC promedio (lat.min ⁻¹)	172±3	175±7
%FC pico	89,6±1,6	89,7±2,6

Tabla 2. Características descriptivas de las carreras XCO. FC_{pico}=Frecuencia cardíaca pico; %FC_{pico}=porcentaje de frecuencia cardíaca.

RESULTADOS

Las características de las carreras XCO revelaron que los circuitos presentan diferente altura y distancia. La información desde la organización de los eventos muestra que el circuito XCO del Campeonato Nacional Brasileño fue más corto y que las irregularidades del terrero fueron menos acentuadas que en la Copa del Mundo. A pesar de que el circuito del Campeonato Brasileño sea más corto, la distancia total de la carrera fue mayor debido al número mayor de vueltas (Tabla 2).

Las variables anaeróbicas y aeróbicas de los atletas están presentadas en la Tabla 3, y las variables submáximas del test de ejercicio incremental están presentadas en la Tabla 4. La W_{max} normalizada con la masa corporal estuvo significativamente asociada al rendimiento tanto en la Copa del Mundo como en el Campeonato Nacional. La WLT_2 normalizada para la masa elevada a un exponente de 0,79 estuvo significativamente correlacionada con el rendimiento en XCO solo en la Copa del Mundo (Tabla 5).

Test de Wingate		Prueba de ejercicio incremental	
PP (W)	886,9±66,7	W_{max} (W)	349,2±15,6
PP.kg ⁻¹ (W.kg ⁻¹)	12,8±0,8	$W_{max.kg^{-1}}$ (W.kg ⁻¹)	5,1±0,2
PM (W)	741,4±39,6	FC _{max} (lat.min ⁻¹)	187±5
PM.kg ⁻¹ (W.kg ⁻¹)	10,7±0,5	VO _{2max} (L.min ⁻¹)	4,8±0,2
IF (%)	36,3±3,1	VO _{2max.kg⁻¹} (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	69,8±3,5
		[La] _{pico} (mmol.L ⁻¹)	10,9±2,3
		RPE	8±1

Tabla 3. Pruebas de laboratorio anaeróbicas y aeróbicas. PP=Pico de potencia anaeróbica; PM=potencia media; IF=índice de fatiga; W_{max} =pico de desarrollo de potencia aeróbica; FC máx.=frecuencia cardíaca máxima; VO₂ máx.= Máximo consumo de oxígeno;

DISCUSION

El objetivo de este estudio fue caracterizar las variables fisiológicas en ciclistas de *mountain bike* de elite brasileños y verificar cualquier relación de las variables anaeróbicas y aeróbicas con el rendimiento en resistencia en XCO. Las características morfológicas de los atletas han indicado que la masa corporal y el %BF son similares a otros ciclistas de *mountain bike* (2, 5, 6). Además, las condiciones morfológicas encontradas en estos atletas podrían representar información que puede ayudar en el rendimiento en resistencia, debido a que los parámetros fisiológicos son frecuentemente normalizados por escalas alométricas (21). En efecto, Impellizzeri y col. (5) indicaron que los factores más importantes que podrían afectar el rendimiento en las carreras XCO son tanto los indicadores de la potencia como de la capacidad aeróbica normalizadas por la masa corporal. De acuerdo con los autores, la fuerte asociación encontrada puede explicarse por las cuestas repetidas presentes en los circuitos XCO. Lee y col. (22) compararon las características morfofisiológicas entre los ciclistas de ruta y los de *mountain bike*. Encontraron más diferencias significativas en los ciclistas de *mountain bike* cuando los parámetros eran expresados en forma relativa a la masa corporal. Se destaca que el peso corporal asociado con un % BF bajo representa importantes adaptaciones para los ciclistas de *mountain bike* que buscan éxito en las carreras XCO.

Para evaluar las variables anaeróbicas, Heller y Novotny (12) reportaron a través de la WT, que los ciclistas de *mountain bike* del equipo nacional de Kazakhstan tenían valores similares a los del presente estudio. En la misma prueba, Machado y col. (23) encontraron valores inferiores para PP y PM en ciclistas de *mountain bike* brasileños (815,6±144,1 y 697,9±102,3 W, respectivamente). Sin embargo en el último estudio, la resistencia usada para la ejecución de la WT correspondía a 0.075 g.kg⁻¹, y este valor no parece ser ideal para atletas. En contraste con los corredores de XCO, los corredores de descenso presentaron valores elevados en PP (1125,0 W y 17,7 W.kg⁻¹) (4). Esto puede justificarse parcialmente por la especificidad de estas modalidades, se especula que las pruebas de descenso presentan diferentes exigencias fisiológicas que las de XCO. En general, el descenso es un evento que involucra esfuerzo máximo y mayor habilidad para los ciclistas de *mountain bike* en un circuito corto durante los descensos. Al respecto se cree que hay una gran utilización del metabolismo anaeróbico y explicaría los valores más altos encontrados en los ciclistas de descenso.

	Valores	Valores (%)
WLT ₁ (W)	205±16	59±6
WLT ₂ (W)	275±15	79±3
FCLT ₁ (lat.min ⁻¹)	131 ± 8	70±4
FCLT ₂ (lat.min ⁻¹)	160 ± 8	85±4
VO ₂ LT ₁ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	34,9±7,5	50±10
VO ₂ LT ₂ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	51,0±5,4	73±6

Tabla 4. Variables submáximas de la prueba de ejercicio incremental. W=producción de potencia; FC=frecuencia cardíaca; VO₂=consumo de oxígeno; LT₁=primer umbral del lactato; LT₂=segundo umbral del lactato.

	Campeonato Nacional Brasileño			Copa del Mundo		
	Valores absolutos	Valores.kg ⁻¹	Valores.kg ^{-0.79}	Valores absolutos	Valores.kg ⁻¹	Valores.kg ^{-0.79}
VO _{2max}	-0.45	-0.50	-0.70	-0.45	-0.30	-0.60
W _{max}	-0.09	-0.88*	-0.93**	-0.09	-0.88*	-0.81*
WLT ₁	0.29	0.00	0.00	-0.09	-0.35	-0.35
WLT ₂	-0.09	-0.32	-0.37	-0.43	-0.78	-0.83*
PP	-0.03	-0.03	0.03	-0.14	-0.03	-0.09
PM	-0.09	-0.29	-0.14	0.14	-0.12	-0.03
FI	0.23	-	-	0.23	-	-

Tabla 5. Variables fisiológicas que correlacionan con el rendimiento durante el Campeonato Nacional Brasileño XCO y la Copa del Mundo. * $p < 0.05$. ** $p < 0.01$. VO₂ máx.=máximo consumo de oxígeno; W_{max}=pico de producción de potencia; WLT₁=producción de potencia en el primer umbral del lactato; WLT₂=producción de potencia en el segundo umbral del lactato; PP=pico de producción de potencia anaeróbica; PM=producción de potencia promedio; FI=índice de fatiga.

En relación a las variables aeróbicas, los atletas evaluados presentan valores inferiores de W_{max} en comparación con la literatura internacional. Lucia, Hoyos y Chicharro (24) sugirieron que los ciclistas profesionales alcanzaban valores de W_{max} más baja en protocolos con grandes incrementos de carga y duración de las etapas. Lee y col. (22) usaron un protocolo con incrementos de 50 W en cada etapa de 5 min de duración, para evaluar un grupo de ciclistas de *mountain bike* australianos profesionales. Los investigadores verificaron una W_{max} de aproximadamente 413±36 W. En contraste, en nuestro estudio, los incrementos fueron de 30 W cada 3 min., y la W_{max} fue de 349,2±19 W. Cuando la W_{max} fue normalizada por escala alométrica, se observó que los valores fueron inferiores a los de los ciclistas internacionales. Wilbert y col. (25) evaluaron ciclistas de *mountain bike* norteamericanos y encontraron valores de 5,9±0,3 W.kg⁻¹. Impellizzeri y col. (6) evaluaron a ciclistas de *mountain bike* Italianos y los valores fueron cercanos a 6,4±0,6 W.kg⁻¹. Además de las diferencias en las metodologías empleadas es evidente la discrepancia en la W_{max} en los atletas brasileños investigados aquí en comparación con los ciclistas internacionales de *mountain bike*.

A pesar de los valores inferiores absolutos y relativos de W_{max}, VO₂ máx. y VO₂ máx. relativo, los mismos coinciden con los de ciclistas profesionales de *mountain bike* 4,6 a 5,1 L.min⁻¹ y 66,5 a 78,3 mL.kg⁻¹.min⁻¹ (2, 5, 6). Además de las diferencias metodológicas, la explicación posible de la discrepancia en la carga más baja donde se encuentra el VO₂ máx. puede ser relacionada a diferencias en las bicicletas ergométricas y podría causar dudas en la exactitud de los resultados. Earnest y col. (26) compararon el ciclosimulador Compu Trainer™ (usado en el presente estudio) con la bicicleta ergométrica Lode Excalibur en ciclistas de ruta amateur. Brevemente, los resultados indican que el ciclosimulador puede subestimar (entre 30 a 45 W) la W_{max}, WLT₁, WLT₂, y el tiempo total durante el test.

Además, algunos autores consideran que los años de entrenamiento de ciclismo y las participaciones continuas en carreras de alto nivel permitirían adaptaciones fisiológicas como la eficiencia muscular y un efecto positivo de la distribución de las fibras musculares de Tipo I (27, 28). Sin embargo, todos los participantes de nuestro estudio fueron considerados experimentados (8,6±4,6 años de entrenamiento). Por lo tanto creemos que la calidad del entrenamiento; la falta de participación en competencias internacionales durante la temporada, y las diferencias metodológicas pueden explicar las discrepancias en las cargas de trabajo donde se alcanzó el VO₂ máx.

En relación al [La]_{pico}, los ciclistas de *mountain bike* en nuestro estudio alcanzaron valores más altos que los ciclistas profesionales y elite investigados por Lucia y col. (29) (10,9±2,3 y 12,4±2,8 vs. 7,4±1,5 y 9,4±3,0 mmol.L⁻¹, respectivamente). De manera general, Lucia y col. (29) sugieren que los atletas que presentan mayores aptitudes aeróbicas tienden a presentar menores [La]_{pico}. Recientemente, Costa y col. (30) encontraron que los ciclistas de *mountain bike* alcanzaban valores significativamente mayores en [La]_{pico} después del ejercicio incremental en comparación a los ciclistas de ruta. Este resultado podría sugerir que la naturaleza intermitente de las XCO pueden promover una demanda y una utilización más grandes del metabolismo anaeróbico durante el entrenamiento y/o carreras. De hecho, Stapelfeldt y col. (3)

utilizaron dinamómetros móviles para cuantificar la intensidad durante las carreras de XCO. Los resultados indican que el 42% del tiempo total de la carrera transcurrió sobre el W_{LT_2} . Además, en el comienzo, en las acciones de sobrepaso, y en las subidas cortas, los atletas manifiestan una producción de potencia por encima de la W_{max} alcanzada en el laboratorio (3). En este sentido, se especula que las carreras de XCO a pesar de ser predominantemente aeróbicas, requieren de los atletas, alta potencia y capacidad anaeróbica. En concordancia con nuestro resultado de [La]_{pico}, Lucia y col. (31) encontraron diferencias significativas en [La]_{pico} en ciclistas escaladores y de pruebas contrarreloj. Los mejores escaladores son conocidos por su capacidad para cambiar rápidamente desde un ritmo ya exigente a velocidades altas durante las etapas de montaña. Más aún, algunos con capaces de ejecutar series cortas repetidas de ejercicio de máxima intensidad mientras ascienden (31). Por lo tanto, las posibles explicaciones pueden estar en parte relacionadas con el aumento en el reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida y los sistemas *buffer* (31).

Las variables submáximas investigadas están representadas por el umbral del lactato y frecuentemente están referidas a indicadores de la capacidad aeróbica. De manera general, los valores obtenidos en la producción de potencia son inferiores a los de ciclistas de *mountain bike* profesionales, sin embargo, el porcentaje donde se encontraron estos umbrales son similares a los documentados por Lee y col. (22). Por otro lado, los valores pueden ser inferiores a los de otros estudios, debido a las diferencias metodológicas además de las especulaciones previas en relación al W_{max} y VO_2 máx. Por ejemplo, Impellizzeri y col (2) usaron al OBLA como referencia para el LT_2 , estos resultados revelan altos valores en la producción de potencia y porcentaje del máximo. Por otro lado, tanto Stapelfeldt y col. (4) como el presente estudio, usaron la metodología de Berg para la identificación del LT_2 .

En este sentido, es claro ver las discrepancias en los valores de referencia de las variables submáximas.

Los altos valores porcentuales del LT_2 pueden interpretarse como una capacidad del ciclista para mantener una alta intensidad durante largos períodos sin demasiada acumulación de lactato sanguíneo.

El segundo objetivo de este estudio fue verificar la asociación de las variables fisiológicas y el rendimiento en XCO. En general, todas las variables absolutas investigadas tienen asociación no significativa con el rendimiento de resistencia. Sin embargo, el principal hallazgo fue una correlación significativa entre la W_{max} normalizada para la masa corporal con el rendimiento en XCO.

Estudios anteriores en ciclismo de ruta reportaron a la W_{max} como un indicador del rendimiento (32, 33). Bentley y col. (34) encontraron que la W_{max} estuvo correlacionada con el porcentaje de producción de potencia durante una prueba contrarreloj de 90 min ($r=0,91$; $p<0,01$) y presentó una asociación moderada con una prueba contrarreloj de 20 min ($r=0,54$; $p<0,01$). Sin embargo, Balmer y col. (32) mostraron que la W_{max} estuvo fuertemente asociada con el porcentaje de producción de potencia durante una prueba contrarreloj de 16 km ($r=0,99$; $p<0,001$). En efecto, otros estudios han presentado resultados similares en relación a la W_{max} y el tiempo total durante 20 km ($r=-0,91$) y 40 km ($r=-0,87$) de rendimiento en pruebas contrarreloj, respectivamente (33, 35). En base a estos estudios, parece que la W_{max} es una buena variable de estimación para el rendimiento en ciclismo para pruebas contrarreloj, a pesar de las diferentes mediciones del rendimiento utilizadas.

Las correlaciones significativas encontradas entre los valores absolutos de W_{max} y el rendimiento en ciclismo de pruebas contrarreloj pueden disminuir cuando se normaliza a través de escala alométrica. Hawley y Noakes (33) reportaron que la W_{max} relativa a la masa corporal reduce la relación con el rendimiento, debido a la masa corporal del ciclista.

Sin embargo, Swain (21) fue probablemente el primero en estimar el exponente para la masa de 0,32, asociado con el consumo de oxígeno cuando se investiga el costo energético del ciclismo en terreno llano. Las pruebas contrarreloj son comúnmente llevadas a cabo en terreno llano donde los ciclistas más pesados presentan áreas de superficie corporal más pequeñas, por consiguiente, son más rápidos (21). En contraste con las pruebas contrarreloj, los circuitos XCO presentan diferentes subidas con ascensos empinados, donde la masa corporal reducida es crucial debido a que los atletas necesitan vencer la fuerza de gravedad (22). De manera similar, los resultados encontrados en el presente estudio pueden confirmar estas especulaciones puesto que la W_{max} relativa a la masa corporal estuvo asociada significativamente con el rendimiento en resistencia en las dos competiciones XCO.

Recientemente, Impellizzeri y col. (5) investigaron las asociaciones entre varias variables fisiológicas con el rendimiento durante el Campeonato Italiano de XCO. El VO_2 máx., W_{max} , LT_1 , y LT_2 estuvieron significativamente asociados con el rendimiento ($r=-0,62$ a $-0,94$) y para todas las variables las relaciones fueron más fuertes cuando fueron normalizadas por escala alométrica. En un estudio adicional, Impellizzeri y col. (6) analizaron variables ventilatorias con el rendimiento en XCO en un grupo homogéneo de ciclistas de *mountain bike*. Los resultados han indicado que la producción de potencia y el consumo de oxígeno en el punto de compensación respiratoria, ambos normalizados por la masa corporal, estuvieron significativamente asociados con el rendimiento en XCO ($r=-0,61$ y $-0,66$; $p<0,05$).

Las variables fisiológicas que estiman el rendimiento en nuestro estudio son en parte diferentes a las variables de las investigaciones de Impellizzeri et al. (5, 6), debido a que la única relación significativa con el rendimiento fue la W_{max} relativa a la masa corporal en ambos eventos y la WLT_2 relativa a la masa corporal (0,79) en la Copa del Mundo XCO. Las posibles diferencias de los resultados están parcialmente relacionadas con las condiciones propias encontradas durante las carreras. El Campeonato Nacional Brasileño de XCO fue realizado en un día con un alto índice pluviométrico que probablemente elevó el nivel de dificultades técnicas del circuito. Además, la fuerte lluvia puede también aumentar el riesgo de problemas mecánicos en las bicicletas y la capacidad técnica parece ser más decisiva en grupos homogéneos que en grupos heterogéneos de ciclistas de *mountain bike*. En cambio, la carrera de Copa del Mundo XCO fue realizada sobre terreno seco sin lluvia. Otra limitación fue la posición de los atletas en la línea de partida, debido a que en ambas competencias el ciclista de *mountain bike* mejor rankeado largaba la carrera adelante y era así beneficiado en los senderos después de que la carrera comenzaba.

Conclusión

El presente estudio reveló las características morfológicas y fisiológicas de un pequeño grupo elite de ciclistas de *mountain bike* brasileños. La W_{max} relativa a la masa corporal se asoció significativamente con el rendimiento en resistencia en el Campeonato Nacional Brasileño de XCO y en la Copa del Mundo de XCO. La única variable fisiológica que tuvo asociación significativa con el rendimiento en la Copa del Mundo XCO fue la WLT_2 relativa a la masa elevada a un exponente de 0,79.

Por lo tanto, se concluye que las variables aeróbicas aumentan el poder discriminatorio cuando se normalizan por escala alométrica. De este modo, para obtener éxito en las carreras XCO se especula que los ciclistas de *mountain bike* necesitan desarrollar cualidades físicas como la potencia y capacidad del sistema aeróbico.

Reconocimiento

El autor quisiera agradecer la cooperación de los ciclistas de *mountain bike* y de la Federación de Ciclismo de Santa Catarina. También agradecemos al Dr. Carl Paton por la revisión de este manuscrito en su versión en inglés.

Dirección para Correspondencia

Costa VP, PhD., Laboratorio de Investigación Morfofisiológica y Funcional – Universidad del Estado de Santa Catarina. R. Pascoal Simone 358, Florianópolis, SC, 88080-350. Teléfono: (48) 3348 9620; correo electrónico: costavp2@yahoo.com.br.

REFERENCIAS

1. Union Cyclist International (UCI) (2008). The hub [online]. Available in: URL: <http://www.uci.ch> [Accessed in 01 Jun]
2. Impellizzeri F., Sassi A., Rodriguez-Alonso M., Mognoni P., Marcora S (2002). Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1808-1813
3. Stapelfeldt B., Schwirtz A., Schumacher Y. O., Hillebrecht M (2004). Workload demands in mountain bike racing. *Int J Sports Med* 18: 294-300
4. Dal Monte A., Faina M (1999). Valutazione Delli Atleta. *Torino, UTET*, 631-645
5. Impellizzeri F. M., Rampinini E., Sassi A., Mognoni P., Marcora S (2005). Physiological correlates to off-road cycling performance. *J Sports Sci*; 23:41-47
6. Impellizzeri F. M., Marcora S. M., Rampinini E., Mognoni P., Sassi A (2005). Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *Br J Sports Med Oct*; 39 (10): 747- 51
7. Balmer J., Davison R. C., Bird S. R (2000). Peak power predicts performance power during an outdoor 16.1 km cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1485-1490
8. Hawley J. A., Noakes T. D (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol n. 65, p. 79-83*
9. Bentley D. J., McNaughton L. R., Thompson D., Vleck V. E., Batterham A. M (2001). Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc Dec*; 33 (12): 2077-81
10. Bentley D. J., Wilson G. J., Davie A. J., Zhou S (1998). Correlations between peak power output, muscular strength and cycling time trial performance in triathletes. *J Sports Med Phys Fitness Sep*; 38 (3): 201-7
11. Nummela A. T., et al (2006). Neuromuscular factors determining 5-km running performance and running economy in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol* 97: 1-8
12. Baron R (2001). Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1387-1393
13. Jackson A. S., Pollock M. L (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 40: 497-504
14. Bar-Or O (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Med* 4: 381-94
15. Kuipers H., Keizer H. A., De Vries T., Van Rijnthoven P., Wijts M (1988). Comparison of heart rate as a noninvasive determinant of

- anaerobic threshold with the lactate threshold when cycling. *Eur J App Physiol* 58: 303-306
16. Berg A., Jakob E., Lehmann M., Dickhuth H. H., Huber G., Keul L (1990). Aktuelle aspekte der modernen ergometrie. *Pneumol* 44: 2-13
 17. Lehmann M., Berg A., Kapp R., Wessinghage T., Keul J (1983). Correlations Between laboratory testing and distance running performance in marathoners of similar performance ability. *Int J Sports Med* 4: 226-230
 18. Stockhausen W., Maier J., Tinsel J., Deus U., Lychatz S., Keul J (1999). Lactate kinetic and performance testing in cycling. Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungs diagnostik. In: *Clasing D, Weicker H, Boning D (eds). Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fisher, 71-79*
 19. Borg G. A (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14: 377-381
 20. Swain D. P (1994). The influence of body mass in endurance bicycling. *Med Sci Sports Exerc* 26: 58-63
 21. Lee H., Martin D. T., Anson J. M., Grundy D., Haun A. G (2002). Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *J Sports Sci* 20: 1001-8
 22. Machado C. E. P., Caputo F., Lucas R. D., Denadai B. S (2002). Fatores fisiológicos e antropométricos associados com a performance em subida no ciclismo off-road. *Rev Brasil Ciên Mov* v. 10, n. 4, p. 35 - 40
 23. Lucia A., Hoyos J., Chicharro J (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Med* 31:325-337
 24. Wilber R. L., Zawadzki K. M., Kearney J. T., Shannon M. P., Disalvo D (1997). Physiological profiles of elite off-road and road cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 29: 1090-1094
 25. Earnest C. P., Wharton R. P., Church T. S., Lucia A (2005). Reliability of the lode excalibur sport ergometer and applicability to computrainer electromagnetically braked cycling training device. *J Strength Cond Res* May; 19 (2): 344-8
 26. Coyle E. F (2005). Improved muscular efficiency displayed as Tour de France champion matures. *J Appl Physiol* 98:2191-2196
 27. Faria E. W., Parker D. L., Faria I. E (2005). The science of cycling: Physiology and Training □ Part 1. *Sports Med* 35: 285-312
 28. Costa V. P., Carminatti L. J., Nakamura F. Y., De-Oliveira F. R (2007). Morph-physiological similarities between road cyclists and mountain bikers. *Italian J Sports Sci (in press)*
 29. Lucia A., Hoyos J., Chicharro J (2000). Physiological response to professional road cycling: climbers vs. time trialists. *Int J Sports Med* 21: 505-12
 30. Balmer J., Davison R. C., Bird S. R (2000). Peak power predicts performance power during an outdoor 16.1 km cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc* 32:1485-1490
 31. Hawley J. A., Noakes T. D (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* n. 65, p. 79 □ 83
 32. Bentley D. J., McNaughton L. R., Thompson D., Vleck V. E., Batterham A. M (2001). Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc* Dec; 33 (12): 2077-81
 33. Bentley D. J., Wilson G. J., Davie A. J., Zhou S (1998). Correlations between peak power output, muscular strength and cycling time trial performance in triathletes. *J Sports Med Phys Fitness* Sep; 38 (3): 201-7

Cita Original

Costa V.P., De-Oliveira F.R. Physiological variables to predict performance in cross-country mountain bike races. *JEPonline*; 11 (6): 14-24, 2008.