

Article

Nuevo Test Submáximo para Monitorear la Fatiga y Predecir el Rendimiento en Ciclismo

R. P. Lamberts, J. Swart, T. D. Noakes y M. I. Lambert

¹UCT/MRC Research Unit for Exercise Science and Sports Medicine, Department of Human Biology, University of Cape Town, Sport Science Institute of South Africa, Newlands, Sudáfrica

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de este estudio fue determinar en ciclistas bien entrenados la confiabilidad y el valor predictivo de un nuevo protocolo de ciclismo submáximo sobre parámetros de rendimiento como la potencia máxima y en el rendimiento de ciclismo de resistencia. **Métodos:** Diecisiete ciclistas de ruta varones, bien entrenados y que participaban en competencias realizaron cuatro tests de producción de potencia máxima (PPO) y cuatro pruebas contrarreloj de 40 km (40 km TT). Antes de cada prueba, todos los ciclistas realizaron un nuevo test de ciclismo submáximo (Test de ciclismo submáximo de Lamberts y Lambert (LSCT)). Los parámetros asociados con el rendimiento como la potencia, la velocidad, la cadencia y el índice de esfuerzo percibido (IEP) se midieron durante las tres etapas del test, cuando los ciclistas pedaleaban con cargas de trabajo que coincidían con frecuencias cardíacas predeterminadas fijas. La recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) se midió después de la última etapa del test. **Resultados:** Los parámetros medidos durante la segunda y tercera etapas del LSCT fueron altamente confiables (rango de correlación intraclase: $R = 0,85-1,00$) con un bajo error típico de medida (ETM) (rango: 1,3 a 4,4%). Se observaron buenas relaciones entre el LSCT y el rendimiento en ciclismo medido con las pruebas PPO y TT de 40 km. La potencia media presentó una relación más fuerte con las medidas de rendimiento en ciclismo durante la segunda ($r = 0,80$ a $0,89$) y la tercera etapa ($r = 0,91$ a $0,94$) del LSCT que con la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) ($r = 0,55$ a $0,68$). **Conclusiones:** El LSCT es un nuevo test confiable y puede predecir rendimiento de ciclismo máximo y de resistencia a partir de la potencia submáxima, el índice de esfuerzo percibido (IEP) y la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) en ciclistas bien entrenados. Dado que estos parámetros pueden detectar cambios significativos con más precisión que el VO_{2max} , el LSCT tiene el potencial de controlar el rendimiento de ciclismo con más precisión que otros protocolos de ciclismo submáximo que se utilizan en la actualidad.

INTRODUCCION

El seguimiento de los cambios en el rendimiento de los ciclistas bien entrenados es necesario para determinar el equilibrio óptimo entre la carga de entrenamiento y la recuperación. Dos pruebas ampliamente utilizadas para monitorear y predecir el rendimiento en ciclismo son el test de producción de potencia máxima (PPO) y la prueba contrarreloj de 40-km (TT de 40 km) (1-3). Ambas pruebas son confiables y pueden detectar pequeñas diferencias significativas (<1%) en el rendimiento día a día de los ciclistas bien entrenados, cuando se llevan a cabo bajo circunstancias bien controladas (4). Sin embargo, el esfuerzo máximo y de alta intensidad asociado con las dos pruebas puede interferir con el programa de entrenamiento establecido y la preparación para las carreras de los ciclistas bien entrenados y de elite. Por lo tanto, no resulta práctico realizar estas pruebas semanalmente o mensualmente como sería necesario para el monitoreo continuo. Como resultado,

generalmente estas pruebas se realizan sólo dos o tres veces por año durante el período de descanso, el periodo pre-competencia y, a veces, una vez durante el periodo de competición.

Las pruebas submáximas se han utilizado desde 1950 para monitorear a los atletas y predecir el rendimiento con mayor regularidad. El test de Cooper es un ejemplo de una de las primeras pruebas submáximas que se utilizó ampliamente para predecir el rendimiento de los corredores. En esta prueba, los sujetos deben recorrer la mayor distancia posible en 12 minutos. La distancia total se utiliza para predecir la capacidad máxima de consumo de oxígeno (VO_{2max}) y la capacidad de realizar ejercicios de resistencia (5). Una variedad de protocolos (caminar y correr) han evolucionado a partir de esta prueba. Ejemplos de estas pruebas submáximas adaptadas son el test de caminata de 6 minutos (6, 7), el test de caminata de ida y vuelta (8) y el test de Aptitud de Rockport (9). Más recientemente, se desarrolló un test de carrera submáxima (Sistema de Control Intervalado de la Frecuencia Cardíaca) para monitorear los cambios en el estado de entrenamiento a través de la medición de la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) (10, 11).

El desarrollo de protocolos de ciclismo submáximos también comenzó en 1950 con el test de Åstrand (12) y más tarde con el Test de capacidad de trabajo físico 170 (13). Aunque se desarrollaron ecuaciones específicas por sexo y edad para mejorar la precisión del VO_{2max} estimado por medio de estas pruebas en la población general, (14, 15) en ciclistas bien entrenados el VO_{2max} estimado estaría subestimado en aproximadamente 8,1 ml/kg/min (16). Sin embargo, esto puede no ser relevante para el seguimiento de los cambios en el rendimiento asociados con el entrenamiento, porque el VO_{2max} tiene una precisión limitada para detectar cambios significativos en ciclistas bien entrenados (4, 17).

El desarrollo de dispositivos tales como bicicletas ergométricas y monitores de frecuencia cardíaca han permitido medir una gama más amplia de variables que pueden estar asociadas con el rendimiento entre las que se incluyen, por ejemplo, la potencia, la cadencia, la eficiencia de pedaleo, recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (4, 18). Esto nos da la posibilidad de desarrollar un nuevo tipo de test de ciclismo submáximo que utiliza variables diferentes al VO_{2max} como variables estimadoras del rendimiento en ciclismo. Si estas variables que tienen menores error típico de medición (ETM) (4) son efectivamente capaces de predecir el rendimiento en ciclismo, este test tendría mucho potencial para monitorear los cambios en el rendimiento en ciclismo con mayor precisión.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar el valor predictivo y la confiabilidad de los parámetros medidos con un nuevo protocolo de ciclismo submáximo (4) sobre potencia máxima y en el rendimiento de resistencia en ciclismo en ciclistas bien entrenados. Sobre la base de la relación lineal que existe entre la frecuencia cardiaca, la intensidad del ejercicio y el consumo de oxígeno, (19), planteamos la hipótesis de que otras variables como la potencia podrían estimar con precisión el rendimiento en ciclismo.

MÉTODOS

Reclutamiento

En el estudio participaron diecisiete varones ciclistas de carreras de ruta bien entrenados y de competición, que estaban realizando entrenamiento base de pretemporada y con edades entre 18 y 40 años. Todos los sujetos completaron un Cuestionario de Aptitud para Actividad Física (15) y fueron entrevistados acerca de su historial de entrenamiento, y después de esto firmaron un consentimiento informado. Los criterios de inclusión para el estudio fueron realizar un mínimo de seis horas de entrenamiento por semana durante el período de 6 semanas previo a la prueba y tener antecedentes de participación en ciclismo de competición de al menos 3 años. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética e Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Ciudad del Cabo. Los datos presentados en este trabajo formaron parte de un estudio más amplio y los resultados de una parte de este estudio ya fueron publicados (4). Sin embargo, mientras que la publicación anterior se centró en el error de medición en las pruebas contrarreloj (TT) de 40 km y la prueba PPO, éste estudio se centró en la confiabilidad y la capacidad de predicción del Test de ciclismo submáximo de Lamberts y Lambert (LSCT).

Diseño del Estudio

Como se describió previamente (4), cada sujeto completó cuatro pruebas de producción de potencia máxima (PPO) (se incluyó un análisis de gases respiratorios para determinar el consumo de oxígeno) y cuatro pruebas TT de 40-km durante un período de cinco semanas consecutivas (Figura 1). Antes de cada test, se consultó a los sujetos acerca de "lesiones deportivas", "patrones de sueño", "consumo de medicación", "consumo de cafeína", "fatiga general" y "dolor muscular" (4). Además, se realizó el test LSCT (Figura 2) entre cada prueba. La prueba contrarreloj de 40 kilómetros inicial, prueba de PPO y los 2 tests LSCT se utilizaron para familiarizar a los sujetos y para establecer la intensidad correcta del protocolo de

entrada en calor (ver LSCT) y no se incluyeron en el análisis de datos. Los sujetos podían posponer ambas pruebas una vez durante el período de 5 semanas si tenían una justificación válida para hacerlo. Las razones que se consideraron válidas para el aplazamiento fueron no sentirse bien físicamente (por ejemplo, tener dolor de garganta, tos), no poder iniciar la prueba en el momento requerido debido a acontecimientos imprevistos (por ejemplo, atracos de tráfico, cortes de energía) o no haber dormido adecuadamente antes de la prueba, tal como se describe en Lamberts et al. (4). Antes de cada prueba, todos los sujetos fueron interrogados acerca de posibles factores de confusión de rendimiento tales como, por ejemplo, haber consumido cafeína. Durante el período de análisis, se pidió a los ciclistas que mantuvieran constante sus cargas de entrenamiento, para sus niveles de entrenamiento fueran constantes durante todo el estudio.

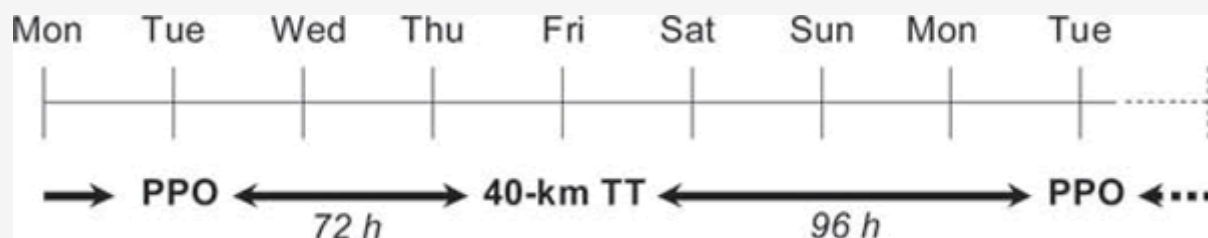


Figura 1. Representación esquemática de una semana de pruebas incluyendo los tiempos de recuperación entre el test de producción de potencia máxima (PPO) y las pruebas contrarreloj de 40 km (TT).

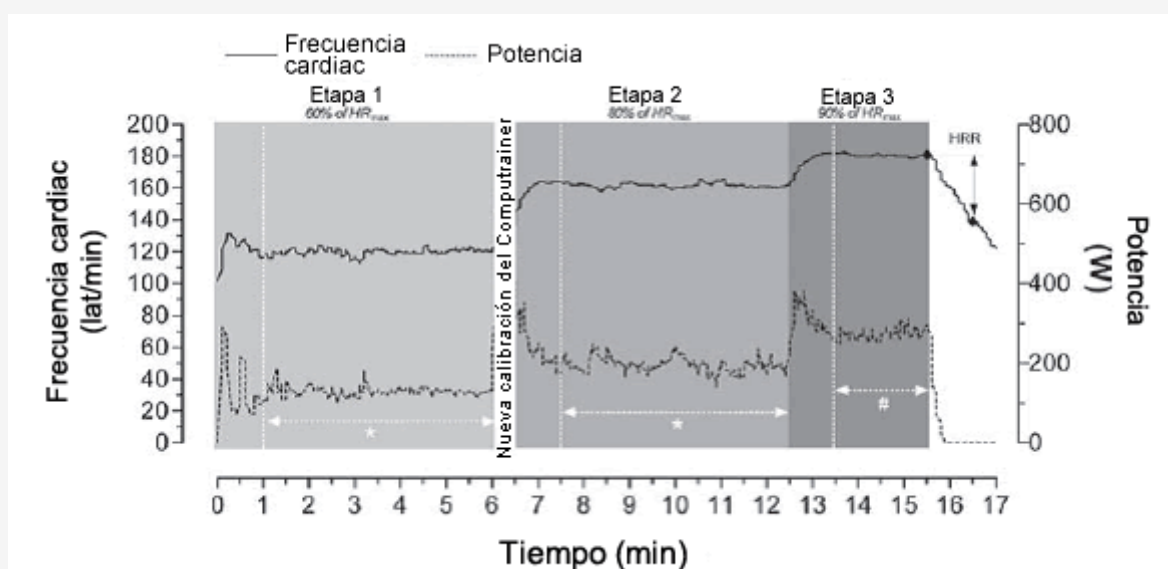


Figura 2. Representación de los datos de respuesta de la frecuencia cardíaca de un ciclista seleccionado arbitrariamente y perfil de potencia durante el test de ciclismo submáximo (LSCT). * Período de 5 min durante el cual se analizaron los parámetros de rendimiento, # Período de 2 min durante el cual se analizaron los parámetros de rendimiento.

Pruebas Preliminares

Al inicio del estudio se registraron los datos antropométricos como talla, peso y medición de siete pliegues cutáneos (tríceps, bíceps, supra-ilíaco, subescapular, pantorrilla, muslo y abdomen) (20). La grasa corporal se determinó como la suma de siete pliegues cutáneos y también como porcentaje de masa corporal (21). Antes de cada sesión de evaluación y entrenamiento, los ciclistas se pesaron para comprobar si había cambios significativos en la masa corporal que podrían reflejar cambios en su estado de hidratación (10, 22).

Protocolo de Calibración

Los neumáticos de la rueda trasera de las bicicletas de los propios participantes fueron inflados a 800 kPa, y la bicicleta

fue montada sobre un rodillo mediante un mecanismo de liberación rápida del eje trasero (*Computrainer Pro 3D, RacerMate, Seattle, Washington, EE.UU.*). Antes de comendar un protocolo estandarizado de entrada en calor, se calibró la presión de contacto del generador de carga contra la rueda trasera en un valor 0,88- 0,93 kg. Luego de seis minutos de haber iniciado el protocolo de entrada en calor, momento en el cual el neumático ya se había calentado, el generador de carga se calibró nuevamente a 0,88-0,93 kg tal como se recomendó en el estudio de Davison et al. (23).

LSCT

El test LSCT que fue desarrollado para monitorear los cambios en el estado de entrenamiento (4) y para detectar los síntomas de fatiga aguda, se utilizó como protocolo de entrada en calor antes de todas las pruebas de rendimiento. La duración total del LSCT es de 17 minutos, tiempo durante el cual los sujetos deben pedalear en intensidades que permitan alcanzar una frecuencia cardíaca igual al 60 % de la FC max (etapa 1), 80 % de la FCmax. (etapa 2) y 90% de la FCmax. (etapa 3) (Figura 2). Las frecuencias cardíacas fijadas para cada una de las diferentes etapas del test LSCT se calcularon a partir de la primera prueba de PPO donde se calculó la FC máx (4). Luego de la calibración del sistema *Computrainer*, se cargó un perfil de recorrido llano que simulaba circunstancias normales de carretera. Luego, se solicitó a los sujetos que efectuaran un cambio en el desviador delantero hacia el plato "pequeño", tras lo cual se inició el LSCT. Durante el LSCT, los sujetos podían alterar su cadencia y/o cambiar de marcha en el cambio trasero dentro de cada etapa con el fin de alcanzar la frecuencia cardíaca fijada (con una diferencia inferior a 1 latido/min). En la etapa 1 del LSCT (0:00-6:00 minutos: segundos), se solicitó a los sujetos que alcanzaran una frecuencia cardíaca igual al 60% de su FCmáx personal. Después de esta etapa, se les solicitó que cambiaran el desviador delantero hacia el plato "grande" al tiempo que el *Computrainer* era recalibrado para mantener la precisión (6: 00-6: 30 minutos: segundos). Durante la etapa 2 del LSCT (6:30-12:30 minutos: segundos), se solicitó a los sujetos que alcanzaran una frecuencia cardíaca igual al 80% de su FC máx. Directamente después de esta etapa (etapa 3; 12:30-15:30 min: segundos), los sujetos aumentaron la carga de trabajo para obtener una frecuencia cardíaca igual a 90% de su FC máx. Inmediatamente después, se pidió a los sujetos que detuvieran la bicicleta y se sentaran erguidos para que los datos de recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) pudieran ser registrados durante los 90 segundos finales del test LSCT (15:30-17:00 minutos: segundos). Aunque el análisis de RFC se realizó durante un periodo de 60 segundos, tal como se describió previamente en Lambert et al. (10), los datos de frecuencia cardíaca se midieron durante 90 segundos para asegurar que no faltaran datos. Durante el test LSCT, se midieron la potencia, la velocidad y la cadencia de forma continua, y el índice de esfuerzo percibido (IEP) (23) para cada etapa se registró en los 30 segundos antes del final de cada etapa. La frecuencia cardíaca blanco para cada una de las diferentes etapas del LSCT se calculó a partir de la primera prueba de producción de potencia máxima (PPO) en la cual se determinó la FC máx (4).

Prueba de Producción de Potencia Máxima (PPO)

Las pruebas de producción de potencia máxima (PPO), donde se incluyó el análisis de los gases respiratorios (VO_{2max}), se realizaron siguiendo la metodología descrita en Lamberts et al. (4) y comenzaron exactamente 8 minutos después del LSCT. La máxima PPO se determinó como la producción de potencia media durante el último minuto del test PPO, mientras que el VO_{2max} (ml/kg/min) se determinó como la lectura más alta registrada durante 30 segundos durante este test (4).

Prueba Contrarreloj (TT) de 40 kilómetros

Las pruebas TT de 40 km se iniciaron 3 minutos después de completar el LSCT en una pista de simulación de TT llana de 40 km y durante estas pruebas los sujetos no recibieron ningún tipo de devolución, a excepción de la distancia recorrida. No se los alentó durante la prueba, excepto durante el último kilómetro en tramos de 100 m, y durante los últimos cien metros en secciones de 10 m (4). Treinta minutos después de haber finalizado la TT de 40 km, los sujetos establecieron un índice de esfuerzo percibido (IEP) general para la TT de 40-km (Escala de Borg 6-20) (23).

Recolección y Análisis de los Datos

La producción de potencia, la velocidad, la cadencia y el tiempo transcurrido se midieron durante todas las pruebas y fueron almacenados por el software del *Computrainer* a una velocidad de 34 Hz. La frecuencia cardíaca durante estas pruebas se determinó con el monitor de frecuencia cardíaca *Suunto T6* (*Suunto Oy, Vantaa, Finlandia*), y los datos fueron almacenados cada 2 segundos. El consumo de oxígeno (VO_2) y la producción de CO_2 (VCO_2) se midieron con un sistema de análisis de gases respiración por respiración en línea y con un neumatocografo (*Oxycon, PPO, Viasys, Hoechst, Alemania*) y fueron almacenados en forma media obtenida durante ocho respiraciones.

Debido a la lenta vida media de los cambios en la frecuencia cardíaca (24) y a que los sujetos tuvieron que realizar ajustes finos a su carga de trabajo para alcanzar una frecuencia cardíaca blanco durante la entrada en calor, la frecuencia cardíaca y los datos de rendimiento del primer minuto de cada etapa del LSCT fueron excluidos del análisis. Por lo tanto, los valores promedio de rendimiento y de frecuencia cardíaca se calcularon durante un período de 5 minutos (de 1.00 a la 6.00 y 07:30-12:30 (min: segundo)) para las etapas 1 y 2, respectivamente, y durante 2 min (13: 30-15,30 minutos:

segundos) en la etapa 3. Los datos de rendimiento y de frecuencia cardíaca de la prueba de PPO y de la prueba de TT de 40 km se analizaron durante el período completo de recolección de datos.

El análisis de los datos de rendimiento se realizó utilizando el software de análisis *CyclingPeaks* (edición *WKO+*, versión 2.1, 2006; Lafayette, Colorado, EE.UU.) y el software de entrenamiento *Computrainer* (Versión 1.5.308; RacerMate, Seattle, Washington, EE.UU.). Los datos de frecuencia cardíaca fueron analizados con el software *Suunto Training Manager* (Versión 2.1.0.3 Suunto Oy, Vantaa, Finlandia).

Análisis Estadísticos

Los datos fueron analizados con el programa *STATISTICA versión 8.0* (Stat-Soft Inc, Tulsa, Oklahoma, EE.UU.) para determinar la presencia de diferencias estadísticamente significativas con una significancia estadística de ($p < 0,05$). Todos los datos se expresan en forma de media (SD). Las respuestas fisiológicas promedio de los seis tests de ciclismo submáximos, llevados a cabo antes de cada PPO y 40 km TT, se compararon mediante el uso de un análisis de la varianza de mediciones repetidas. La confiabilidad para cada variable también se evaluó mediante el cálculo de coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el IC de 95% (25). El error típico de medición (ETM) y ETM porcentual (%), expresado en forma de % de la puntuación media, fueron calculados con un IC del 90%, utilizando una hoja de cálculo obtenida en <http://www.newstats.org>.

RESULTADOS

El conjunto de datos de dos ciclistas fueron excluidos del análisis, ya sea porque no completaron las pruebas o porque comenzaron a usar un medicamento por prescripción médica, que podía mejorar potencialmente el rendimiento (26). En la Tabla 1 se presentan las características de los 15 ciclistas restantes quienes entrenaban 10 (3) h/semana y tenían antecedentes de ciclismo de competición de 7 (3) años (4).

Nueve ciclistas completaron las pruebas en un lapso de 4 semanas y seis ciclistas las completaron en 5 semanas. Un cuestionario realizado antes de cada prueba reveló que ninguno había consumido cafeína en las 3 h previas a las mismas y todos los sujetos había mantenido un patrón de alimentación similar. Además, ningún sujeto reportó algún síntoma de fatiga general o dolor muscular, todos durmieron bien la noche antes de cada prueba, utilizaron la misma vestimenta durante todas las pruebas y no realizaron ningún cambio en la configuración de la bicicleta.

Tabla 1. Características generales de los 15 ciclistas altamente entrenados. PPO= Producción de potencia máxima; TT= Prueba contrarreloj

Variable	X (s)
Edad (años)	31 (4)
Peso (kg)	78,6 (8,3)
Talla (m)	1,82 (0,08)
Porcentaje de grasa corporal (%)	16,3 (3,6)
Pliegues cutáneos (mm)	70,1 (26,6)
PPO (W)	382 (48)
PPO (W/kg)	5 (1)
$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	57 (7)
TT de 40-km (min:segundos)	66:11 (3:39)

Todas las pruebas fueron realizadas el mismo día de la semana y aproximadamente en el mismo momento (con una diferencia menor a 1 h) con condiciones climáticas estables (21,7 (0,7) °C, 52 (4) % de humedad relativa, 101,8 (0,7) kPa). La masa corporal de los ciclistas se mantuvo estable dentro de 1,0 (0,4) % (0,8 (0,3) kg) durante todo el estudio.

Test de Ciclismo Submáximo de Lamberts y Lambert (LSCT)

Los sujetos podían regular con precisión su frecuencia cardíaca mediante el ajuste de la intensidad del ejercicio durante las tres diferentes etapas del LSCT. Las fluctuaciones en la frecuencia cardíaca fueron 0 (1) latidos (rango, -3 a 2 latidos) a 60% de la FC_{máx}, 0 (1) latidos (rango, -1 a 2 latidos) a 80% de la FC_{máx} y 0 (1) latidos (rango, -1 a 1 tiempo) mientras pedaleaban a 90% de la FC máx. Las intensidades de carga de trabajo correspondían a 31 (5) %, 60 (4) % y 80 (3) % de PPO, respectivamente, mientras que, tal como se esperaba, los índices de esfuerzo percibido (IEP) aumentaron progresivamente con cada carga de trabajo (8 (2), 11 (1) y 16 (1), respectivamente).

Las respuestas fisiológicas medias de los ciclistas durante el test LSCT se presentan en la Tabla 2. También se presentan los coeficientes de correlación intraclase (CCI), ETM y ETM como coeficiente de variación (%) de las respuestas fisiológicas. El mayor coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el menor ETM se observaron durante la etapa 3 (90 % de la FC_{máx}) del test LSCT. El mayor CCI general ($R = 1,00$) se produjo en la potencia media medida durante la última etapa a 90 % de la FC_{máx} con un ETM de 4,6 W (1,5 %). El ETM de la velocidad y cadencia durante esta etapa fue de 0,5 km/h (1,5 %) y 3,5 rpm (3,7 %), respectivamente. La recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) absoluta y relativa después del LSCT y su respectivos CCI y ETM también se muestran en la Tabla 2.

Prueba de PPO y prueba contrarreloj (TT) de 40 km

Las respuestas fisiológicas medias de los ciclistas durante las tres pruebas de PPO y TT de 40 km se presentan en la Tabla 3. Se encontraron elevados CCI y bajos ETM en las pruebas PPO ($R = 1,00$, ETM = 0,9 %), PPO relativa ($R = 1,00$, ETM = 1,1 %) y consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) ($R = 0,99$; ETM = 2,2 %). En las pruebas TT de 40 km, se observaron elevados CCI y bajos ETM en el tiempo ($r=0,99$; ETM=0,7 %), la potencia media ($R = 1,00$; ETM = 1,7%) y la velocidad ($R=1,00$; ETM=0,6%). Los menores CCI se observaron en la cadencia ($R = 0,93$, ETM = 3,5 %) y en el IEP ($R = 0,90$, ETM = 2,8 %). La frecuencia cardíaca media en las pruebas TT 40 km fue 92 % de la FC_{máx}.

Tabla 2. Cambios fisiológicos medios en los tests LSCT ($n=6$) que fueron realizados antes de cada prueba PPO ($n=3$) y de cada TT de 40 km ($n=3$). Los datos se expresan en forma de media (SD). El CCI se expresa en forma de media (IC 95 %). HR= frecuencia cardíaca; RFC= Recuperación de la frecuencia cardíaca; CCI=coeficiente de correlación intraclase; El ETM y ETM % se expresan en forma de media (IC 90 %)

	LSCT									
	1	2	3	4	5	6	Media	CCI	TEM	TEM (%)
Etapa 1 (60% de la FC max.)										
Potencia promedio (W)	114 (24)	114 (23)	124 (28)	111 (22)	119 (26)	118 (22)	117 (21)	0.91 (0.83-0.96)	14.4 (12.6-16.7)	12.4 (10.8-14.6)
Expresada como % de PPO	30 (5)	30 (5)	33(7)	29(5)	32(7)	32(7)	31(5)	0.90 (0.81-0.91)		
Velocidad promedio (km/h)	25(3)	25(3)	26(3)	24(3)	25(3)	25(2)	24(2)	0.93 (0.84-0.97)	1.3 (1.1-1.5)	5.3 (4.6-6.2)
Cadencia (rpm)	86 (7)	84 (8)	88 (6)	84 (8)	86	85 (7)	86 (6)	0.91 (0.80-0.97)	4.3 (3.8-5.0)	5.2 (4.5-5.0)
RPE (unidades)	8 (1)	8 (1)	8 (1)	8 (1)	8 (1)	8 (1)	8 (1)	0.88 (0.78-0.95)	0.8 (0.7-1.0)	-
Etapa 2 (80 % de la FC max.)										
Potencia promedio (W)	231 (33)	230 (32)	239 (31)	224 (27)	225 (29)	230 (29)	230 (29)	0.98 (0.96-0.99)	8.5 (7.5-9.9)	3.7 (3.3-4.4)
Expresada como % de PPO	61(5)	61(5)	63 (5)	59(4)	59(5)	61(4)	60 (4)	0.94 (0.88-0.98)	-	-
Velocidad promedio (km/h)	34(2)	34(2)	34(2)	34(2)	34(2)	34(2)	34(2)	0.98 (0.96-0.99)	0.5 (0.5-0.6)	1.6 (1.4-1.9)
Cadencia (rpm)	90 (8)	91(9)	93(5)	90(7)	90 (8)	91(6)	91(6)	0.93 (0.86-0.97)	4.0 (3.5-4.6)	4.4 (3.8-5.1)
RPE (unidades)	12(1)	13(1)	13(1)	12(1)	12(1)	13(1)	12(1)	0.85 (0.73-0.94)	0.8 (0.7-0.9)	-
Etapa 3 (90 % de la FC max.)										
Potencia promedio (W)	304 (41)	304 (40)	306 (40)	303 (41)	303 (38)	305 (40)	304 (40)	1.00 (0.99-1.00)	4.6 (4.0-5.3)	1.5 (1.3-1.8)
Expresada como % de PPO	80 (4)	80 (3)	80 (4)	79(4)	79(3)	80 (3)	80 (3)	0.98 (0.96-0.99)		
Velocidad promedio (km/h)	38 (2)	38 (2)	38 (2)	38 (2)	38 (2)	38 (2)	38 (2)	0.99 (0.99-1.00)	0.5 (0.4-0.6)	1.3 (1.1-1.5)
Cadencia (rpm)	95(7)	96(8)	94(7)	95(9)	95(7)	95(7)	95(7)	0.96 (0.92-0.98)	3.5 (3.1-4.1)	3.7 (3.2-4.3)
RPE (unidades)	16(1)	16(1)	16(1)	16(1)	16(1)	16(1)	16(1)	0.86 (0.74-0.94)	0.7 (0.6-0.8)	-
Período de recuperación de la frecuencia cardíaca										
FC max. (lat/min)	171 (6)	170 (5)	170 (6)	171 (5)	170 (6)	170 (5)	170 (5)	0.99	1.3 (1.1-1.5)	0.8 (0.7-0.9)
FC 1 min (lat/min)	127 (12)	127 (10)	126 (9)	127 (10)	126 (9)	126 (9)	126 (9)	0.99	2.2 (1.9-2.6)	1.8 (1.6-2.1)
RFC (lat)	44 (10)	43 (10)	45(9)	43 (10)	44 (9)	44 (9)	44 (9)	0.99	1.6 (1.4-1.9)	4.2 (3.7-4.9)

Tabla 3. Tiempo promedio y cambios fisiológicos medios obtenidos a partir de las tres pruebas de PPO y las tres pruebas contrarreloj de 40 km. Los datos se expresan en forma de media (SD). FC= Frecuencia cardíaca; FC máx.=Frecuencia cardíaca máxima; PPO=Producción de potencia máxima; IEP= Índice de esfuerzo percibido; VO_{2max} = Consumo de oxígeno máximo.

Variable	Test 1	Test 2	Test 3	Media
Prueba PPO				
PPO (W)	381 (47)	382 (48)	382 (49)	382 (48)
PPO (W/kg)	5 (1)	5 (1)	5 (0)	5 (1)
VO_{2max} (ml/kg/min)	56.5 (7.1)	56.7 (6.6)	57.4 (6.6)	56.9 (6.8)
Frecuencia cardíaca máxima (lat/min)	190 (5)	190 (7)	189 (6)	190 (6)
Prueba TT de 40-km				
Tiempo (segundos)	3980 (229)	3964 (215)	3967 (215)	3972 (220)
FC media (lat/min)	173 (6)	174 (5)	173 (5)	173 (5)
FC media % de FC max.	91 (3)	92 (3)	91 (3)	91 (3)
Velocidad media (km/h)	36.3 (2.0)	36.4 (2.0)	36.4 (1.9)	36.3 (2.0)
Potencia media (W)	254 (39)	257 (39)	256 (38)	254 (39)
Cadencia (rpm)	92 (7)	91 (8)	92 (6)	92 (7)
IEP (unidades)	17 (1)	18 (1)	18 (1)	17 (1)

Relación entre los Parámetros de Rendimiento y LSCT

Las relaciones entre la potencia media durante la segunda (80% de la FC máx.) y la tercera etapa (90% de la FC máx.) del LSCT y los parámetros de rendimiento durante las pruebas PPO (VO_{2max} y PPO) y la prueba TT de 40 km (tiempo de TT de 40 km y potencia promedio en TT de 40 km) se presentan en la Figura 3. A pesar de que se observaron buenas relaciones entre las PPO media producida durante la segunda etapa (80% de la FC máx.) y los parámetros de rendimiento, se observaron relaciones mas fuertes entre estos parámetros de rendimiento y la producción de potencia media durante la tercera etapa (90 % de la FC máx.).

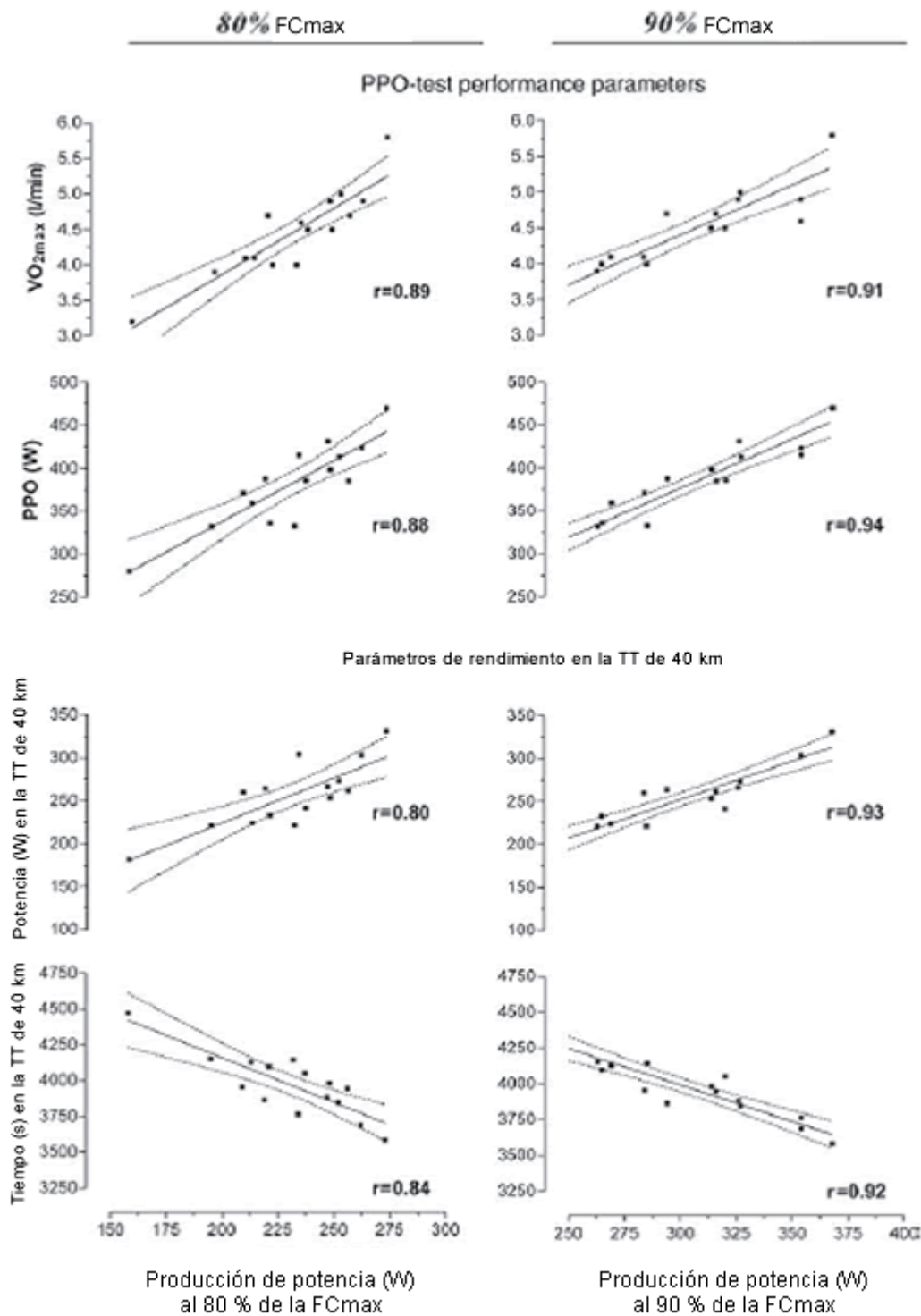


Figura 3. Valor predictivo de la producción de potencia media en ciclismo a 80% y 90% de la frecuencia cardíaca máxima (FC máx.) en el test LSCT con respecto a los parámetros de rendimiento como consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}), producción de potencia máxima (PPO), potencia promedio en la prueba contrarreloj de 40 km y tiempo en la prueba TT de 40 km.

Las relaciones entre la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) y los parámetros de rendimiento se muestran en la Figura 4. Se observaron relaciones débiles entre RFC y la potencia máxima y el rendimiento de resistencia. Aunque la relación entre los parámetros de rendimiento y la RFC fue significativa, las relaciones entre los parámetros de rendimiento y la potencia media durante la segunda (80% de FC máx.) y tercera etapa (90% de FC máx.) del LSCT fueron sustancialmente mejores que las relaciones de la RFC.

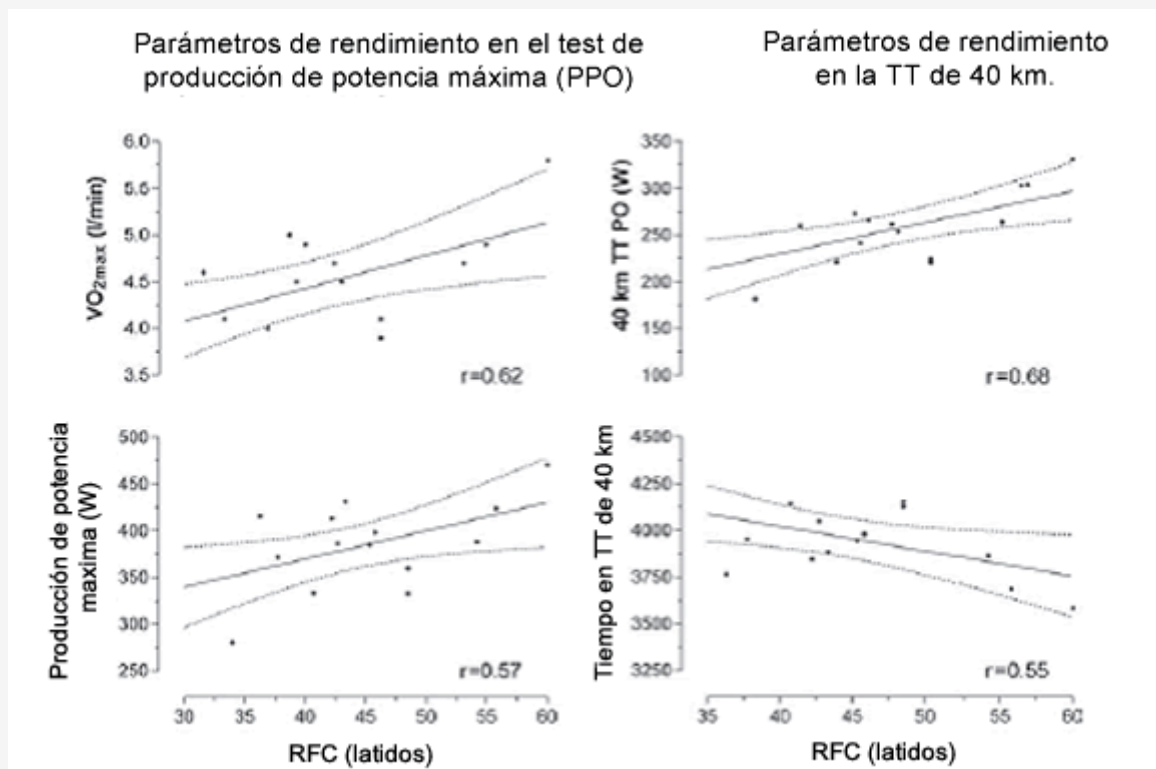


Figura 4. Correlación entre la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) medida en el test LSCT y parámetros absolutos y relativos de rendimiento como el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}), la producción de potencia máxima (PPO), la potencia promedio en la prueba contrarreloj (TT) de 40 km y el tiempo en la TT de 40 km.

DISCUSIÓN

El primer hallazgo relevante de este estudio fue que el test LSCT fue realmente submáximo, según lo que pudimos corroborar por las cargas de trabajo (31%, 60% y 80% de PPO, respectivamente) y el índice de esfuerzo percibido (IEP) (8, 12 y 16, respectivamente). Además, el bajo ETM en los IEP durante la primera etapa de LSCT, el bajo ETM en la TT de 40 km, los resultados de PPO (4) y la ausencia de informes de fatiga y/o dolor muscular antes del LSCT (que se realizó dos veces por semana) indican que LSCT no interfiere con los hábitos "normales" del entrenamiento. Esto también fue confirmado por los comentarios anecdóticos que recibimos de los sujetos. Estos factores sugieren que el test tiene atributos positivos prácticos para el seguimiento regular de los ciclistas. Por el contrario, una prueba de resistencia máxima o casi máxima, que por definición tenga carácter exhaustivo, podría interferir con el programa de entrenamiento y con las competencias de los ciclistas y, por lo tanto, no podría ser realizada tan frecuentemente como una prueba submáxima. Todos los ciclistas pudieron cumplir con el protocolo del LSCT y mantener su frecuencia cardíaca a unos pocos latidos de su frecuencia cardíaca objetivo en cada carga de trabajo. A medida que la intensidad de ejercicio aumentaba, la variación de la frecuencia cardíaca disminuía, y la variación se redujo a una diferencia de 1 latido, en la carga de trabajo que correspondía a 90% de FC máx. Esto coincide con lo observado en un trabajo de investigación publicado previamente en nuestro laboratorio en sujetos físicamente activos sometidos a un test de carrera incremental submáximo (10, 27).

El segundo hallazgo de este estudio fue que todos los parámetros de rendimiento medidos durante la segunda y tercera etapas del LSCT eran altamente reproducibles (rango del CCI: 0.85 -1.00) con valores relativamente bajos de ETM. (rango de ETM: 1,3 a 4,4%) (18). La capacidad de repetición más alta en general con el menor ETM se produjo durante la tercera etapa del LSCT (90% de la FC máx), donde la producción de potencia media y la velocidad media tuvieron los ETM más bajos (1,5% y 1,3%, respectivamente). Además, la medición de la RFC también fue confiable. La RFC, que se considera un marcador de la función autonómica, (28-30) recientemente ha sido asociada con un cambio en la carga prescrita (11) y con el nivel de entrenamiento (31). La RFC sin cambios en el estado de entrenamiento durante el período de evaluación, tuvo una variación de 5 latidos/min (véase también la Tabla 3). Esto es similar a lo que se informó previamente (10, 27, 32) y menor a lo que se midió como resultado de un mejor nivel de entrenamiento (18, 33, 34), lo que indica que la medición de RFC tiene una precisión suficiente para detectar pequeños cambios significativos.

El tercer hallazgo de este estudio describe la relación entre la potencia media y la RFC medidas durante el test LSCT y el rendimiento en el test PPO y el test de resistencia (40 km TT). A pesar de que se observaron buenas relaciones entre los parámetros medidos durante la segunda etapa de LSCT (80% FCmax.) y el rendimiento en PPO y en TT de 40 km ($r = 0,80-0,89$), se observó una relación aún mejor con la potencia media durante la tercera etapa de LSCT (90% de FC máx.) ($r = 0,91$ a $0,94$).

Teniendo en cuenta que la frecuencia cardíaca disminuye durante el ejercicio a una carga de trabajo similar a medida que mejora el nivel de entrenamiento (35), es un hecho que durante el ejercicio a la misma frecuencia cardíaca, la carga de trabajo aumentará. Esto es apoyado por lo observado en el trabajo de Lucía et al, que demostraron que la potencia submáxima, en los umbrales ventilatorios 1 y 2 y en el umbral de lactato aumentaba a medida que mejoraba el nivel de entrenamiento, mientras que las frecuencias cardíacas en estas etapas se mantenían sin cambios (1). Aunque ningún parámetro aislado ha sido identificado como marcador confiable de la fatiga o de los síntomas de fatiga aguda inducida por entrenamiento, en general se acepta que el overreaching no funcional se asocia con una disminución en el rendimiento (36). Además, la mayoría de los estudios relacionados a sobreentrenamiento reportan una disminución en la frecuencia cardíaca submáxima y máxima con la manifestación de fatiga, (37-40), lo que posiblemente conducirá a un aumento en la potencia durante las etapas 2 y 3 de LSCT porque las frecuencias cardíacas submáximas fijadas para cada una de estas cargas de trabajo serían más difíciles de alcanzar. Sobre la base de las buenas correlaciones entre la potencia media durante las etapas 2 y 3 del LSCT y los parámetros de rendimiento, un cambio en la potencia media podría reflejar los cambios en el nivel de entrenamiento de una manera práctica y significativa.

En contraste con la potencia, la RFC mostró una débil relación con el rendimiento en PPO y en TT de 40 km. Esto posiblemente se puede explicar por la homogeneidad de nuestros ciclistas que estaban todos bien entrenados y cuyos polimorfismos genéticos en el gen del receptor de acetilcolina M2 (CHRM2) pueden explicar las diferencias en la RFC entre los individuos (41). Aunque se observó una relación relativamente débil entre RFC y el rendimiento en ciclismo, recientemente se ha observado que los cambios en la RFC pueden ser correctamente seguidos por los cambios en los parámetros de rendimiento (4) y estarían asociados con un aumento no muy pronunciado en los parámetros de rendimiento de resistencia (31). Por lo tanto, una combinación entre un cambio en la RFC con un cambio en la potencia y en los IEP durante LSCT podría aportar información más útil para monitorear la fatiga y predecir el rendimiento que otros protocolos de ciclismo submáximos actuales que se basan en los cambios en el VO_{2max} estimado.

CONCLUSIÓN

En resumen, el objetivo de este estudio fue identificar marcadores que surgen de un ejercicio submáximo que reflejen con precisión el rendimiento en ciclismo. Tales marcadores nos aportarían a entrenadores y científicos un método práctico para controlar con precisión el rendimiento en ciclismo. El test LSCT, en el cual la frecuencia cardíaca se fija a un nivel submáximo, tiene el potencial de detectar cambios sutiles en el rendimiento como resultado de la fatiga inducida por el entrenamiento. Además, el control de la fatiga acumulada podría contribuir a la detección del overreaching funcional o no funcional. En conjunto, estos factores pueden ser útiles para el mantenimiento del equilibrio entre la carga de entrenamiento y la recuperación con el fin de lograr el nivel de entrenamiento más óptimo. En particular, el LSCT podría indicar el desarrollo de fatiga por una combinación de tres parámetros: (1) mayores niveles de índice de esfuerzo percibido (IEP), porque los sujetos tendrán que trabajar más para llevar sus frecuencias cardíacas a 90% de FC máx; (2) un fuerte aumento repentino en la potencia media, ya que se necesita una mayor carga de trabajo para obtener las frecuencias cardíacas blanco; y (3) un cambio en la RFC basado en la desregulación del sistema nervioso autónomo (11, 39) La precisión de estos marcadores para detectar y hacer un seguimiento de la fatiga deberá ser determinada en futuras investigaciones.

Los autores desean agradecer a todos los ciclistas que participaron de este estudio. Este estudio fue financiado por el Consejo de Investigación Médica de Sudáfrica.

¿Qué es lo que se Sabe sobre este Tema?

Los test de ciclismo submáximos tales como la prueba Åstrand y el test de capacidad de trabajo físico 170 son pruebas confiables para predecir de VO_{2max} en la población general. Sin embargo, los cambios en el VO_{2max} no se corresponden con cambios en el rendimiento de ciclismo en ciclistas bien entrenados. Por lo tanto, estas pruebas tienen una aplicación limitada y no son aplicables para medir pequeños cambios en el rendimiento de ciclismo.

Aportes de este Estudio

Este estudio presenta un nuevo protocolo de ciclismo submáximo (LSCT) que es confiable, tiene un bajo error típico de medida, es capaz de predecir el rendimiento en ciclismo con una precisión razonable y, posiblemente, puede monitorear la acumulación de fatiga. Sobre la base de estos hallazgos, el LSCT tiene el potencial para monitorear el rendimiento de ciclismo y la fatiga inducida por el entrenamiento con la precisión suficiente para detectar cambios pequeños pero significativos.

Conflicto de intereses: Ninguno.

Aprobación ética: Este estudio se realizó con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad de Ciudad del Cabo, Ref: 265/2006.

Procedencia y Revisión: No fue encargado. Con revisión externa por pares.

REFERENCIAS

1. Lucía A., Hoyos J., Pérez M., et al. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med. Sci. Sports Exerc.*32:1777-82.
2. Jeukendrup A. (2002). High-performance cycling. *Champaign, Illinois, USA: Human Kinetics Publishers, Inc, 2002.*
3. Mujika I., Padilla S. (2001). Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports Med.*31:479-87.
4. Lamberts R.P., Swart J., Woolrich R.W., et al. (2009). Measurement error associated with performance testing in well-trained cyclists; application to the precision of monitoring changes in training status. *Int. Sport Med. J.*10:33-44.
5. Cooper K.H. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake. *Correlation between field and treadmill testing. JAMA.* 203:201-4.
6. Butland R.J., Pang J., Gross E.R., et al. (1982). Two-, six-, and 12-minute walking tests in respiratory disease. *Br. Med. J. (Clin Res Ed)*;284:1607-8.
7. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. (2002). *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*166:111-17.
8. Singh S.J., Morgan M.D., Scott S., et al. (1992). Development of a shuttle walking test of disability in patients with chronic airways obstruction. *Thorax.* 47:1019-24.
9. Kline G.M., Porcari J. P., Hintermeister R., et al. (1987). Estimation of VO₂max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Med. Sci. Sports Exerc.*19:253-9.
10. Lamberts R.P., Lemmink K.A., Durandt J.J., et al. (2004). Variation in heart rate during submaximal exercise: implications for monitoring training. *J. Strength Cond. Res.* 18:641-5.
11. Borresen J., Lambert M.I. (2007). Changes in heart rate recovery in response to acute changes in training load. *Eur. J. Appl. Physiol.* 101:503-11.
12. Åstrand P.O., Ryhming I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *J. Appl. Physiol.*7:218-21.
13. Haber P., Schlick W., Schmid P., et al. (1976). Estimation of the performance spectrum of healthy adolescents by using the PWC 170 (Physical Work Capacity). *Acta Med. Austriaca* 3:164-6.
14. Hartung G.H., Blancq R.J., Lally D.A., et al. (1995). Estimation of aerobic capacity from sub-maximal cycle ergometry in women. *Med. Sci. Sports Exerc.*27:452-7.
15. American College of Sports Medicine. (2007). Submaximal exercise tests. In: *Whaley MH, Brubaker PH, Otto RM, eds. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Baltimore, Maryland, USA: Lippincott Williams & Wilkins, 2007:70-4.*
16. Hartung G.H., Krock L. P., Crandall C.G., et al. (1993). Prediction of maximal oxygen uptake from submaximal exercise testing in aerobically fit and non fit men. *Aviat. Space Environ. Med.* 64:735-40.
17. Noakes T.D. (2008). Testing for maximum oxygen consumption has produced a brainless model of human exercise performance. *Br. J. Sports Med.*42:551-5.
18. Lamberts R.P., Swart J., Noakes T.D., et al. (2009). Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.*105:705-13.
19. Arts F.J., Kuipers H. (1994). The relation between power output, oxygen uptake and heart rate in male athletes. *Int. J. Sports Med.*15:228-31.
20. Ross W.D., Marfell-Jones M.J. (1991). Kinanthropometry. In: *MacDougall JD, Wenger HA, Green HS, eds. Physiological testing of the high performance athlete. Champaign, Illinois, USA: Human Kinetics, 1991:223-308.*
21. Durnin J.V., Womersley J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br. J. Nutr.*32:77-97.
22. Montain S.J., Coyle E.F. (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J. Appl. Physiol.* 73:1340-50.
23. Davison R.C., Corbett J., Ansley L. (2007). Influence of temperature and protocol on the calibration of the computrainer electromagnetically braked cycling ergometer. *J. Sports Sci.*25:257-8.
24. Achten J., Jeukendrup A.E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med.*33:517-38.
25. Vincent W.J. (1995). Statistics in kinesiology. *Champaign, Illinois, USA: Human Kinetics Publishers, Inc, 1995.*
26. Swart J., Lamberts R.P., Lambert M.I., et al. (2009). Exercising with reserve: evidence that the CNS regulates prolonged exercise

- performance. *Br. J. Sports Med.*43:782-88.
27. Lamberts R.P., Lambert M.I. (2009). Day-to-day variation in heart rate at different levels of submaximal exertion: implications for monitoring training. *J. Strength Cond. Res.* 23:1005-10.
 28. Buchheit M., Papelier Y., Laursen P.B., et al. (2007). Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*293:H8-10.
 29. Buchheit M., Gindre C. (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*291:H451-8.
 30. Borresen J., Lambert M.I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med.*38:633-46.
 31. Lamberts R.P., Swart J., Capostagno B., et al. (2010). Heart rate recovery as a guide to monitor fatigue and predict changes in performance parameters. *Scand J. Med. Sci. Sports.* 20:449-57.
 32. Brisswalter J., Legros P. (1994). Daily stability in energy cost of running, respiratory parameters and stride rate among well-trained middle distance runners. *Int. J. Sports Med.*15:238-41.
 33. Buchheit M., Millet G.P., Parisy A., et al. (2008). Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.*40:362-71.
 34. Sugawara J., Murakami H., Maeda S., et al. (2001). Change in post-exercise vagal reactivation with exercise training and detraining in young men. *Eur. J. Appl. Physiol.*85:259-63.
 35. Wilmore J.H., Stanforth P.R., Gagnon J., et al. (1996). Endurance exercise training has a minimal effect on resting heart rate: the HERITAGE Study. *Med. Sci. Sports Exerc.*28:829-35.
 36. Meeusen R., Duclos M., Gleeson M., et al. (2006). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. *Eur. J. of Sport Sci.*6:1-14.
 37. Halson S.L., Bridge M.W., Meeusen R., et al. (2002). Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J. Appl. Physiol.* 93:947-56.
 38. Jeukendrup A.E., Hesselink M.K., Snyder A.C., et al. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *Int. J. Sports Med.*13:534-41.
 39. Lehmann M., Dickhuth H.H., Gendrisch G., et al. (1991). Training-overtraining. A prospective, experimental study with experienced middle- and long-distance runners. *Int. J. Sports Med.*12:444-52.
 40. Urhausen A., Gabriel H.H., Weiler B., et al. (1998). Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *Int. J. Sports Med.*19:114-20.
 41. Hautala A.J., Rankinen T., Kiviniemi A.M., et al. (2006). Heart rate recovery after maximal exercise is associated with acetylcholine receptor M2 (CHRM2) gene polymorphism. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*291:H459-66.

Cita Original

R., P. Lamberts, J., Swart, T., D. Noakes and M., I. Lambert. (2011). A novel submaximal cycle test to monitor fatigue and predict cycling performance. *Br. J. Sports Med.* 45: 797-804.