

Article

# ¿Existe una Velocidad Crítica de Carrera Relacionada con el Máximo Estado Estable de Lactato Intermitente?

Ricardo D de Lucas<sup>1</sup>, Naiandra Dittrich<sup>1</sup>, Rubens B Junior<sup>1</sup>, Kristopher M de Souza<sup>1</sup> y Luiz Guilherme A Guglielmo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sports Center, Physical effort Laboratory, Florianópolis, Brazil. Federal University of Santa Catarina.

## RESUMEN

El propósito del presente estudio fue comparar la velocidad crítica (CS) con la velocidad al máximo estado estable de lactato (vMLSS) determinada a través de un modelo continuo y un modelo intermitente en corredores entrenados. Ocho corredores de resistencia ( $30.3 \pm 10.6$  años,  $65.0 \pm 8.5$  kg;  $1.73 \pm 11.3 \pm 4.0\%$  de grasa corporal) se ofrecieron como voluntarios para esta investigación y realizaron un test incremental en tapiz rodante, así como 2-5 tests de 30 min a velocidad constante para determinar el MLSS en forma continua y el MLSS intermitente (repeticiones de 5 min de carrera con pausas de 1 minuto). La CS se determinó a partir de dos esfuerzos máximos de carrera sobre distancias de 1500 y 3000 m llevados a cabo sobre una pista de 400 m. La CS fue calculada como la pendiente de la regresión lineal entre la distancia y el tiempo. Los análisis estadísticos revelaron que no hubo diferencias significativas entre la CS y el MLSS determinado con carreras intermitentes ( $15.2 \pm 1.0$  km·h<sup>-1</sup> vs.  $15.3 \pm 0.7$  km·h<sup>-1</sup>, respectivamente); sin embargo, ambas velocidades fueron significativamente mayores que la velocidad al MLSS determinado en forma continua ( $14.4 \pm 0.6$  km·h<sup>-1</sup>). Además, se observó una correlación significativa entre la CS y el MLSS intermitente ( $r = 0.84$ ,  $p = 0.008$ ). En base a los presentes resultados concluimos que por razones prácticas (menor costo, no invasivo) la CS es un método alternativo e interesante para prescribir entrenamiento de resistencia intervalado a la intensidad del máximo estado estable de lactato, en comparación con un protocolo continuo.

**Palabras Clave:** máximo estado estable de lactato, velocidad crítica, entrenamiento interválico

## INTRODUCCIÓN

La velocidad al máximo estado estable de lactato (vMLSS) puede definirse como la mayor velocidad de carrera a la cual la concentración de lactato ([La]) se mantiene estable durante un ejercicio a carga constante de al menos 20 min de duración (Beneke, 1995; Weltman, 1995). En efecto, la vMLSS ha sido considerada el límite entre los dominios de intensidad alta y severa (Pringle and Jones, 2002), y también como el límite superior de la estabilidad en las respuestas metabólicas y del intercambio de gases pulmonares. Además, se utiliza frecuentemente para la prescripción del entrenamiento aeróbico, especialmente para atletas de resistencia (Beneke, 1995; Beneke et al., 2001; Billat et al., 2004; Jones and Doust, 1998; Philp et al., 2008).

Es importante señalar que la vMLSS comúnmente se determina a través de protocolos continuos de larga duración. No obstante, la prescripción del entrenamiento aeróbico en muchos deportes también se lleva a cabo intermitentemente, por lo tanto es necesario realizar ajustes a la intensidad del entrenamiento. El entrenamiento intervalado (IT) es frecuentemente utilizado por los atletas de resistencia (nadadores, ciclistas, remeros, corredores y triatletas) como estrategia para incrementar la intensidad del entrenamiento (Billat, 2001; Billat et al., 2004; Philp et al., 2008; Seiler and Hetlelid, 2005). El ejercicio intermitente es la base del IT e implica períodos repetidos de alta intensidad (igual o mayor a la vMLSS) interespaaciados con períodos de recuperación (pasiva o activa), lo cual permite mayores duraciones que las actividades a la misma carga absoluta pero continuas o similares duraciones, al ejercicio continuo, pero con mayores cargas (Beneke et al., 2003; Billat et al., 2003).

Por lo tanto, considerando la importancia del entrenamiento intermitente para los deportes de resistencia, es necesario que la vMLSS sea determinada utilizando este modelo para incrementar la especificidad del IT. De acuerdo con esto, Beneke et al (2003) hallaron que la carga de trabajo al MLSS determinada mediante un protocolo intermitente (vMLSS<sub>INT</sub>) fue aproximadamente un 9% mayor que la determinada mediante un protocolo continuo (vMLSS<sub>CON</sub>). Los resultados de este estudio resaltan la importancia de conocer las respuestas fisiológicas durante el ejercicio intermitente para la evaluación y prescripción del entrenamiento aeróbico a la vMLSS.

Además de la vMLSS, la velocidad crítica (CS) también ha sido utilizada para evaluar la aptitud aeróbica y para prescribir la intensidad del entrenamiento de la resistencia (Poole et al., 1990; Denadai et al., 2003). La CS de carrera fue descrita por primera vez por Hughson et al (1984) como una adaptación del concepto de potencia crítica desarrollado por Monod y Scherer (1965). En este modelo, inicialmente propuesto para cicloergómetro, la asíntota de la relación no lineal entre la potencia y el tiempo hasta el agotamiento, fue denominada "potencia crítica". Posteriormente, este concepto fue aplicado en una forma diferente a otros deportes tales como la natación (Wakayoshi et al., 1993), el atletismo (Kranenburg and Smith, 1996) y el ciclismo de pista (De Lucas et al., 2002), asumiendo una relación lineal entre la distancia y el tiempo. Si bien Wakayoshi et al (1993) aplicaron el concepto de potencia crítica a tests de campo y sugirieron que la CS se correspondía con la intensidad al umbral anaeróbico en este deporte, números estudios han mostrado que este índice sobreestima la intensidad real de la vMLSS<sub>CON</sub> en natación (Dekerle et al., 2005; 2010), ciclismo (De Lucas et al., 2002; Brickley et al., 2002; Deckerle et al., 2003) y pedestrisimo (Smith and Jones, 2001; Denadai et al., 2005). Por otra parte, Deckerle et al. (2010) han mostrado la estabilidad de la [La] en una prueba de 50 min de duración con series IT (10 × 400 con pausas de 50 s) sugiriendo que la CS representa una intensidad similar a la vMLSS<sub>INT</sub>. Sin embargo, hasta el momento, ningún estudio ha intentado comparar la CS con un método directo para la determinación de la vMLSS con un modelo intermitente. Por lo tanto, nosotros hipotetizamos una relación significativa entre la CS y la vMLSS<sub>INT</sub> en un grupo de corredores entrenados.

De esta manera, el objetivo principal del presente estudio fue comparar la CS con la velocidad al MLSS determinada con un modelo continuo y un modelo intermitente en corredores entrenados.

# MÉTODOS

## Sujetos

Ocho corredores entrenados en resistencia, con al menos 3 años de experiencia a nivel nacional participaron como voluntarios en el presente estudio (30.3 ± 10.6 años; 65.0 ± 8.5 kg; 1.73 ± 0.06 m; 11.3 ± 4.0% de grasa corporal). Previamente al período del estudio, los atletas completaron un volumen semanal de entrenamiento de 40 km. Todos los atletas estaban familiarizados con los procedimientos experimentales.

Además, antes de llevar a cabo cualquier evaluación, todos los participantes se familiarizaron con los procedimientos experimentales y dieron su consentimiento informado además de ser informados acerca de los riesgos y beneficios de su participación. El proyecto de investigación fue aprobado por el Comité de Ética para la Investigación Científica de la Universidad Federal de Santa Catarina (protocolo 222/2008).

## Diseño Experimental

Para evitar una excesiva fatiga antes de la evaluación, se les instruyó a los sujetos para que evitaran realizar entrenamientos extenuantes durante las 24 h previas a la sesión de evaluación. Los atletas fueron aconsejados para que mantengan su dieta regular durante el día previo a las evaluaciones y que evitaran fumar o beber bebidas con cafeína en las dos horas previas a las evaluaciones. Todos los tests fueron llevados a cabo en un período de tres semanas y todos los fueron realizados a la misma hora del día (i.e., 9-11 am) para evitar la variación circadiana del rendimiento (Carter et al.,

2002).

En primer lugar se llevaron a cabo las mediciones antropométricas (masa corporal, talla y pliegues cutáneos para estimar la grasa corporal) y posteriormente se realizó un test intermitente en tapiz rodante para la valoración del consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{máx}}$ ), la velocidad al máximo consumo de oxígeno ( $vVO_{2\text{máx}}$ ), la ventilación máxima ( $VE_{\text{máx}}$ ), la frecuencia cardíaca máxima ( $HR_{\text{máx}}$ ) y el comienzo de la acumulación de lactato en sangre (OBLA). En base a la determinación del OBLA, en días diferentes, se realizaron tres a cinco tests submáximos para determinar la velocidad al máximo estado estable de lactato utilizando un protocolo continuo ( $vMLSS_{\text{CON}}$ ) y un protocolo intermitente ( $vMLSS_{\text{INT}}$ ). Luego de la determinación de la  $vMLSS$  con ambos protocolos, se evaluaron los rendimientos sobre 1500 m y 3000 m en días diferentes.

## Protocolo Experimental

### *Mediciones Antropométricas*

La masa corporal (kg) se midió con una precisión de 0.1 kg utilizando una balanza calibrada (Soehnle, Germany) y la talla fue medida con una precisión de 0.1 cm (Sanny, EUA). La masa grasa corporal fue valorada mediante la medición de siete pliegues cutáneos (pecho, axilar medial, supra-ilíaco, abdominal, tricípital, subescapular y muslo medio) con un calibre científico con una precisión de 1 mm (CESCORF, Porto Alegre, Brazil). La densidad corporal fue estimada a partir de una ecuación específica para atletas varones propuesta por Jackson y Pollock (1978), y este valor fue utilizado para estimar la grasa corporal utilizando la ecuación de Siri (1956).

### *Medición del $VO_{2\text{máx}}$ , $vVO_{2\text{máx}}$ , $VE_{\text{máx}}$ , $HR_{\text{máx}}$ y OBLA*

Se llevó a cabo un test de ejercicio intermitente en un tapiz rodante motorizado (Imbramed Millenium Super, Brazil). La inclinación del tapiz rodante se estableció en 1% y la velocidad inicial fue de  $10.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ; luego de lo cual la velocidad se incrementó en  $1.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  cada 3 minutos hasta que los sujetos alcanzaran el agotamiento volitivo. Entre cada etapa se introdujo un intervalo de 30 segundos para recolectar muestras de  $25 \mu\text{L}$  de sangre capilar en el lóbulo de la oreja para la medición de la [La]. Los análisis de lactato fueron llevados a cabo utilizando un analizador electroquímico (YSI 2700 STAT, Yellow Springs, OH, USA) y el OBLA fue determinado como la velocidad correspondiente a una concentración de lactato en sangre de  $3.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Heck et al., 1985).

Los gases respiratorios fueron analizados respiración por respiración ( $K4b^2$ , Cosmed, Rome, Italy) durante el test incremental utilizando un sistema metabólico pre-calibrado, y los datos fueron reducidos a promedios de 15 s. Se consideró que un sujeto había alcanzado su  $VO_{2\text{máx}}$  cuando se cumplían al menos dos de los siguientes criterios: (1) establecimiento de una meseta en el  $VO_2$  con el incremento de la carga; (2) un índice de intercambio respiratorio por encima de 1.10; y (3) una frecuencia cardíaca dentro de los  $\pm 10$  latidos/min de la  $HR_{\text{máx}}$  estimada para la edad (220-edad) (Howley et al., 1995).

La  $vVO_{2\text{máx}}$  fue identificada como la menor velocidad a la cual se producía el  $VO_{2\text{máx}}$  y pudo mantenerse por al menos un minuto. La frecuencia cardíaca (HR) se registró en forma continua durante los tests utilizando un monitor de HR incorporado al analizador de gases. La  $HR_{\text{máx}}$  se definió como el mayor valor promedio de 5 s alcanzado durante el test.

### *Determinación de la $vMLSS_{\text{CON}}$ y la $vMLSS_{\text{INT}}$*

Se realizaron varios tests a velocidad constante utilizando tanto un protocolo continuo como uno intermitente. Para la determinación de la  $vMLSS_{\text{CON}}$ , cada tests a velocidad constante tuvo una duración de 30 min. La velocidad del primer test correspondió a la asociada con una [La] de  $3.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (OBLA) obtenida durante el test incremental. La concentración fija de lactato de  $3.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , en lugar de  $4.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , ha sido utilizada en tests incrementales como etapas de 3 min (Heck et al., 1985; Smith and Jones, 2001). Las muestras de sangre fueron recolectadas a los 10 y 30 min de estos tests.

La velocidad inicial para la determinación de la  $vMLSS_{\text{INT}}$  fue 5% mayor que la  $vMLSS_{\text{CON}}$ . La identificación de la  $vMLSS_{\text{INT}}$  fue similar a la utilizada durante el protocolo continuo, pero con una duración total de 35 min debido a los períodos de recuperación (pasiva) de 1 min cada 5 min de carrera, caracterizando un índice trabajo/pausa de 5:1. Las muestras de sangre para la medición de la [La] se recolectaron en el segundo, cuarto y último esfuerzo de 5 min.

Si durante los tests a velocidad constante, en ambos protocolos, se observaba un estado estable o una reducción en la [La], se realizaban tests adicionales de 30 min en días separados y a una velocidad 5% mayor hasta que no se pudiera mantener un estado estable de lactato. Por otra parte, si el primer test a velocidad constante resultaba en un incremento claramente identificable en la [La] y/o no se podía completar el test debido al agotamiento, se llevaban a cabo tests adicionales con una reducción del 5% en la velocidad. La  $vMLSS$  en ambos protocolos se determinó como la mayor velocidad que se podía mantener con un incremento en la [La] menor a  $1.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  durante los 20 min finales del test (Beneke et al., 2003;

Figueira et al., 2008; Heck et al., 1985). El valor de la [La] al MLSS ([La]MLSS) fue calculado como la [La] promedio medida al 10<sup>mo</sup> y 30<sup>mo</sup> minuto de la vMLSS<sub>CON</sub> y en la segunda y quinta etapa durante el test de vMLSS<sub>INT</sub>.

### Determinación de la CS

La CS fue determinada a partir del modelo lineal de distancia (d) versus tiempo (t) propuesto por Wakayoshi et al (1993) para tests de campo. Los sujetos fueron instruidos para que corrieran 1500 m y 3000 m en una pista de atletismo descubierta de 400 m lo más rápido posible. Cada test de rendimiento fue llevado a cabo en el mismo día por todos los sujetos para asegurar similares condiciones ambientales (i.e., ausencia de viento). La temperatura, humedad y presión barométrica en cada día estuvo en el rango de: 20-23°C, 60-70% y 763-765 mmHg, respectivamente.

Los sujetos estaban altamente familiarizados con la carrera en pista, y por lo tanto permitió que los mismos adoptaran una estrategia de carrera individual, sin la influencia de los investigadores. Las distancias fueron seleccionadas de acuerdo con los procedimientos señalados por Housh et al (1990), quienes propusieron al menos cinco minutos de diferencia entre los tiempos de rendimiento. Todos los tiempos de rendimiento fueron registrados utilizando tres cronómetros digitales (Timex®, Marathon) con una precisión de  $\pm 1.0$  milisegundos. La frecuencia cardíaca fue registrada y almacenada (Polar®, model RS400) a cada segundo durante las pruebas. Antes de cada prueba, los atletas realizaron una entrada en calor de 10 min (~ 65% de la HR<sub>máx</sub>).

La CS se calculó utilizando el programa Microsoft™ Excel®, como la pendiente de la regresión lineal ( $d = AWC + CS \cdot t$ ) entre la distancia y el tiempo. AWC es la capacidad de trabajo anaeróbico y representa la ordenada al origen obtenida a partir de la regresión lineal.

### Análisis Estadísticos

Los datos se presentan como medias  $\pm$  desviación estándar. La normalidad fue valorada a través del test de Shapiro-Wilk. Las comparaciones entre las variables (vMLSS<sub>CON</sub>, vMLSS<sub>INT</sub> y CS) fueron llevadas a cabo a través del análisis de varianza (ANOVA) de una vía seguida por comparaciones post-hoc (Bonferroni). Para comparar las diferencias entre el modelo continuo y el intermitente, se utilizaron pruebas t para datos apareados. La magnitud de esta diferencia fue valorada por medio del Tamaño del Efecto (ES) y se utilizó la escala propuesta por Cohen (1998) para la interpretación. Se utilizó la correlación producto momento de Pearson para evaluar la fortaleza de la asociación entre la CS y la vMLSS. Además, se utilizó el límite de confianza de  $\pm 95\%$  para valorar la relación entre cada protocolo de vMLSS con la CS. Los análisis fueron llevados a cabo utilizando el software GraphPad Prism para Windows (v5.0 GraphPad Prism Software Inc, San Diego, CA). La significancia estadística fue establecida a  $p < 0.05$  para todos los análisis.

## RESULTADOS

El valor medio de la velocidad aeróbica máxima (vVO<sub>2máx</sub>) alcanzado por los sujetos fue de  $17.5 \pm 0.9$  km·h<sup>-1</sup> y correspondió a un VO<sub>2máx</sub> de  $63.1 \pm 4.5$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. Los valores máximos de VO<sub>2</sub>, VE, HR y [La] alcanzados durante los tests incrementales se muestran en la Tabla 1.

| Variables  | Valores      |
|--|--------------|
| VO <sub>2máx</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ) | 63.1 (4.5)   |
| VO <sub>2máx</sub> (L·min <sup>-1</sup> )                    | 4.6 (.7)     |
| VE <sub>máx</sub> (L·min <sup>-1</sup> )                     | 148.5 (15.9) |
| HR <sub>máx</sub> (latidos·min <sup>-1</sup> )               | 182 (13)     |
| [La]pico (mmol·L <sup>-1</sup> )                             | 8.6 (1.9)    |

**Tabla 1.** Valores medios ( $\pm$  DE) de las variables fisiológicas, alcanzados durante el tests incremental máximos en el tapiz rodante. VO<sub>2máx</sub> = consumo máximo de oxígeno; VE<sub>máx</sub> = ventilación máxima; HR<sub>máx</sub> = frecuencia cardíaca máxima; [La]pico = concentración pico de lactato en sangre.

La velocidad, VO<sub>2</sub>, VE y [La] obtenidas con la vMLSS<sub>CON</sub> fueron significativamente menores que con la vMLSS<sub>INT</sub> (Tabla 2).

Además, el tamaño del efecto mostró una gran diferencia entre las velocidades del modelo continuo vs intermitente. La HR media fue similar entre los dos modelos.

La CS media fue de  $15.2 \pm 1.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Este valor no mostró diferencias significativas con la  $v\text{MLSS}_{\text{INT}}$ , sin embargo fue significativamente mayor que la  $v\text{MLSS}_{\text{CON}}$ . Además, se observó una fuerte correlación entre la  $v\text{MLSS}_{\text{CON}}$  y la  $v\text{MLSS}_{\text{INT}}$  ( $r = 0.87$ ,  $p = 0.005$ ). Contrariamente, la CS no mostró una correlación significativa con la  $v\text{MLSS}_{\text{CON}}$ ; sin embargo, si mostró una correlación significativa con la  $v\text{MLSS}_{\text{INT}}$  ( $r = 0.84$ ,  $p = 0.009$ ).

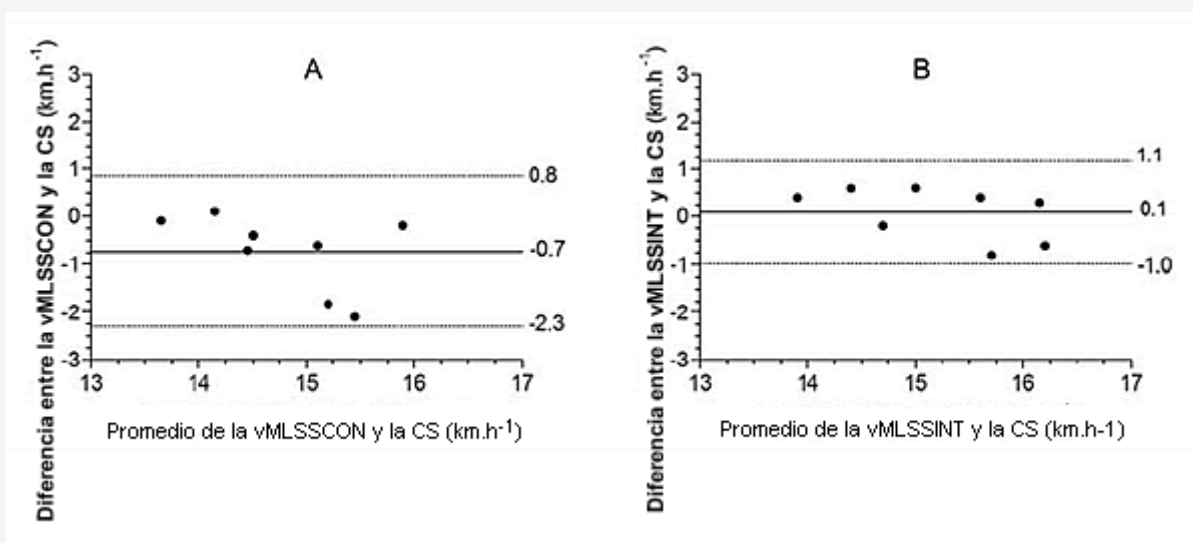
Para complementar estos hallazgos, la Figura 1 muestra la distribución Bland-Altman, presentando los sesgos y los límites de confianza entre la CS y la  $v\text{MLSS}$  (continuo e intermitente). Al analizar la Figura 1 es posible observar un sesgo  $\pm 95\%$  de límites de confianza de  $-0.7 \pm 1.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (CS y  $v\text{MLSS}_{\text{CON}}$ ) y  $0.1 \pm 1.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (CS y  $v\text{MLSS}_{\text{INT}}$ ).

## DISCUSIÓN

El propósito del presente estudio fue comparar la velocidad crítica con la velocidad al MLSS determinada durante carreras continuas e intermitentes. Los resultados de esta investigación mostraron asociaciones significativas y similitudes entre la CS y la  $v\text{MLSS}_{\text{INT}}$  ( $15.2 \pm 1.0$  y  $15.3 \pm 0.7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , respectivamente) indicando la posibilidad de utilizar este índice para estimar la  $v\text{MLSS}_{\text{INT}}$ , mientras que la  $v\text{MLSS}_{\text{CON}}$  ( $14.4 \pm 0.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) fue significativamente menor que los otros dos índices. Además la distribución de Bland Altman mostró una buena concordancia entre la CS y la  $v\text{MLSS}_{\text{INT}}$ , justificando así la utilización de la CS como un índice importante para controlar el IT. Sin embargo, aun considerando el pequeño sesgo entre estos índices, el intervalo de confianza (95%) revela un posible error de predicción de  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , o aproximadamente el 6%. No obstante, los resultados muestran que el MLSS intermitente es similar a la CS.

| Variables  | Continuo       | Intermitente | ES   |
|--|----------------|--------------|------|
| Velocidad ( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ )                          | 14.4 (.6) *    | 15.3 (.7)    | 1.38 |
| $\text{VO}_2$ ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) | 53.4 (4.1) *   | 56.6 (4.3)   | 0.76 |
| VE ( $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ )                                | 101.6 (14.8) * | 109.6 (16.6) | 0.51 |
| HR ( $\text{latidos}\cdot\text{min}^{-1}$ )                          | 166 (9)        | 169 (8)      | 0.47 |
| [La] ( $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ )                             | 4.2 (1.0) *    | 5.1 (1.8)    | 0.64 |

**Tabla 2.** Valores de la velocidad y las variables fisiológicas medidas durante las pruebas continuas e intermitentes, mostrando la media ( $\pm$  DE) y el tamaño del efecto (ES).  $\text{VO}_2$  = consumo de oxígeno; VE = ventilación; HR = frecuencia cardíaca; [La] = concentración de lactato en sangre. \*  $p < 0.05$  en comparación con el ejercicio intermitente.



Resultados previos disponibles en la literatura demuestran que la CS no es la intensidad que puede ser mantenida por un largo período de tiempo sin fatiga, tal como lo propusieron los estudios pioneros (Monod and Scherer, 1965; Moritani et al., 1981). Wakayoshi et al (1993) fueron los primeros autores en comparar las intensidades al MLSS y la CS en natación. Si bien los autores concluyeron que la CS puede corresponderse con la intensidad al MLSS, el protocolo utilizado durante la investigación incluía cortas pausas entre las repeticiones de 400 m para la recolección de muestras de sangre. Estos breves períodos de recuperación parecieron incrementar la remoción de lactato sanguíneo para su oxidación (Brooks, 2002), derivando consecuentemente en mayores intensidades correspondientes al MLSS (Beneke et al., 2003). Estudios subsiguientes mostraron una sobreestimación de la CS cuando se la comparó con el OBLA o la intensidad al  $vMLSS_{CON}$  durante la natación (Greco et al., 2010; Dekerle et al., 2010), el ciclismo (De Lucas et al., 2002; Brickley et al., 2002) y el pedestrismo (Smith and Jones, 2001; Denadai et al., 2005).

Para respaldar estos hallazgos, los resultados de estudios realizados en natación y ciclismo han mostrado que en ejercicios realizados al a CS el tiempo hasta el agotamiento se encuentra en el rango de los 20-40 min. Brickey et al (2002) hallaron un tiempo medio hasta el agotamiento de  $29.3 \pm 8.2$  min y una  $[La]$  final de  $7.3 \pm 1.6$   $mmol \cdot L^{-1}$ , mientras que el  $VO_2$  final correspondió al 91% del  $VO_{2m\acute{a}x}$ . Esta observación, conjuntamente con los resultados de otros estudios (Jenkins and Quigley, 1990; De Lucas et al., 2002) parece indicar que la CS se sitúa a una intensidad ligeramente superior al MLSS continuo.

Además, la diferencia entre la  $vMLSS$  determinada con ambos protocolos, fue del 6% lo que representa un gran tamaño del efecto (ES) (Cohen, 1988). Asimismo, la  $vMLSS_{CON}$  se situó al  $\sim 82.2\%$  de la velocidad aeróbica máxima (i.e.,  $vVO_{2m\acute{a}x}$ ) valorada durante el test incremental en tapiz rodante, mientras que la  $vMLSS_{INT}$  se situó al  $\sim 87.4\%$  de la  $vVO_{2m\acute{a}x}$ . Algunos años atrás, Beneke et al (2003) demostraron que, en ciclismo, las cargas de trabajo correspondientes al MLSS determinado con un protocolo intermitente con recuperación pasiva (30 o 90 s de recuperación cada cinco minutos de ejercicio) eran un 8-10% mayores (300 y 310 W, respectivamente) que las determinadas en un protocolo continuo de 30 min (277 W).

Tomando esta perspectiva, Dekerle et al. (2010) realizaron un interesante estudio con 6 nadadores y hallaron que la estabilidad de la  $[La]$  a lo largo de 50 minutos de IT ( $10 \times 400$ ) a la intensidad del CS. En contraste cuando los atletas nadaron a esta intensidad en forma continua, la estabilidad de la  $[La]$  no se mantuvo y el tiempo hasta el agotamiento fue menor a 30 min, sugiriendo que la CS es una intensidad correspondiente al estado estable de lactato intermitente. Por lo tanto, confirmando estos resultados, los hallazgos del presente estudio indican que correr a la CS correspondió a la  $vMLSS_{INT}$  ( $15.2 \pm 1.0$  y  $15.3 \pm 0.7$   $km \cdot h^{-1}$ , respectivamente). Además, se halló una correlación significativa entre estos dos índices ( $r = 0.84$ ,  $p < 0.05$ ) y también un buen acuerdo entre los mismos (Figura 1).

Estudios previos han hallado que la  $MLSS_{INT}$  es una intensidad aproximadamente 3-4% mayor que la  $MLSS_{CON}$  en natación (Dekerle et al., 2010; Greco et al., 2010), 6-10% mayor en ciclismo (Beneke et al., 2003) y, de acuerdo con los hallazgos del presente estudio, aproximadamente un 6% mayor en pedestrismo. Es importante enfatizar que estas diferencias probablemente estén asociadas al modo de ejercicio y a los diferentes índices de trabajo/pausa, así como también a la duración de los intervalos de ejercicio utilizados en los estudios previos.

La determinación de la  $vMLSS$  puede ser importante para la prescripción del entrenamiento de atletas de resistencia (Philp et al., 2008). Sin embargo, si bien la  $vMLSS$  es el "gold standard" para determinar la capacidad aeróbica, su metodología no es adecuada para su uso diagnóstico rutinario debido al tiempo que consume su valoración (varios días para completar series de ejercicio prolongado) y debido a los requerimientos de numerosas muestras de sangre (Dekerle et al., 2003; Dekerle et al., 2005). De esta manera, por razones prácticas (menor costo y no invasividad) la CS es un método alternativo interesante para prescribir el IT a la intensidad del máximo estado estable de lactato. Pocos estudios han discutido la aplicación práctica de la CS para prescribir entrenamiento continuo e intervalado. Considerando la literatura, el valor medio del tiempo hasta el agotamiento a la CS se encuentra entre 15 y 30 minutos (Brickley et al., 2002; Bull et al., 2008; De Lucas et al., 2002) y una sesión de IT a la intensidad de la CS, podría planificarse en base a un volumen total próximo a los 30 min, i.e.,  $6 \times 5$  min o  $10 \times 3$  min. El índice de trabajo/pausa podría estar entre 5:1 y 2:1, dependiendo del enfoque. En el presente estudio se utilizó un índice trabajo/pausa de 5:1 y por lo tanto los hallazgos de este estudio deberían restringirse a una representación general. La elección de las características del ejercicio intermitente utilizado durante este estudio se basó en las tradicionales sesiones de entrenamiento interválico largo comúnmente utilizadas por los corredores de repeticiones, como ser repeticiones de 1000-1600 m (i.e., alrededor de 5 min), dependiendo del nivel de rendimiento (Billat, 2001). Dekerle et al (2010) utilizó un modelo de ejercicio a la CS durante natación, en base a intervalos de distancia (i.e.,  $10 \times 400$  m con pausas de 50 s). Los modelos de ambos estudios podrían considerarse similares, ya que los nadadores del estudio de Dekerle et al (2010) completaron las repeticiones en un tiempo próximo a los 5 min y las pausas fueron próximas a 1 min. Por lo tanto, consideramos que la aplicación práctica de la CS para los entrenadores deportivos, es un punto importante a discutir, enfocando la cuestión del tópic entre atletas y entrenadores.

## CONCLUSIONES

---

La diferencia observada entre la vMLSS (continua e intermitente), y la fuerte correlación y acuerdo entre la CS y la vMLSS<sub>INT</sub> permiten la utilización de este índice (i.e., CS) para estimar la vMLSS<sub>INT</sub>. Sin embargo, se debe tener precaución al prescribir entrenamientos interválicos utilizando la determinación continua del MLSS, para evitar una posible subestimación de la carga de trabajo. Por lo tanto, el entrenamiento a la intensidad de la CS en sesiones de entrenamiento interválico con un índice trabajo/pausa de 5:1 asegura que se estrese el máximo estado estable de lactato.

### Puntos Clave

- La velocidad crítica (CS) se relaciona con el máximo estado estable de trabajo intermitente utilizando un índice de trabajo/pausa de 5:1
- La CS puede utilizarse para prescribir entrenamientos interválicos a la velocidad del máximo estado estable de lactato.
- La reducción del 6% en la CS puede ser de utilidad para estimar la vMLSS<sub>CON</sub> y para prescribir sesiones de entrenamiento continuo.

### Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a todos los corredores y entrenadores que participaron del estudio.

## REFERENCIAS

---

1. Beneke, R (1995). Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady-state in rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27, 863- 867
2. Beneke, R., Leithäuser, R. and Hütler, M (2001). Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *British Journal of Sports Medicine* 335, 192-196
3. Beneke, R., Leithäuser, R., Von Duvillard, S.P., Sellens, M. and Hütler, M (2003). Effects of test interruptions on blood lactate during constant workload testing. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 335, 1626-1630
4. Billat, V.L (2001). Interval training for performance: A scientific and empirical practice special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: Aerobic interval training. *Sports Medicine* 331,13-31
5. Billat, V.L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J.P. and Mercier, J (2003). The concept of maximal lactate steady state. A bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Medicine* 33, 407-426
6. Billat, V.L., Sirvent, P., Lepretre, P.M. and Koralsztein, J.P (2004). Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners. *European Journal of Applied Physiology* 447, 875-883
7. Brickley, G., Doust, J. and Williams, C.A (2002). Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. *European Journal of Applied Physiology* 888, 146-151
8. Brooks, G.A (2002). Lactate shuttles in nature. *Biochemical Society Transactions* 330, 258-264
9. Bull, A.J., Housh, T.J., Johnson, G.O. and Rana, S.R (2008). Physiological responses at five estimates of critical velocity. *European Journal of Applied Physiology* 1102, 711-720
10. Carter, H., Jones, A.M., Maxwell, N.S. and Doust J.H (2002). The effect of interdian and diurnal variation on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *Journal of Sports Science* 20, 901-909
11. Cohen, J (1988). Statistical power analysis for the Behavioral Sciences. *Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates*
12. Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., Vanvelcenaher, J. and Pelayo, P (2003). Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European Journal of Applied Physiology* 889, 281-288
13. Dekerle, J., Pelayo, P., Clipet, B., Depretz, S., Lefevre, T. and Sidney M (2005). Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine* 26, 524-530
14. Dekerle, J., Brickley, G., Alberty, M. and Pelayo P (2010). Characterising the slope of the distance-time relationship in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport* 13, 365-370
15. De Lucas, R.D., Caputo, F., Mancini, E.C. and Denadai, B.S (2002). The validity of critical speed determined from track cycling for identification of the maximal lactate steady state. *Biology of Sport* 19, 239-249
16. Denadai, B.S., Ortiz, M.J., Stella, S. and Mello, M.T (2003). Validity of the critical velocity for determination of the training effects on the anaerobic threshold in endurance runners. *Portuguese Journal of Sports Science* 3, 16-23
17. Denadai, B.S., Gomide, E.B.G. and Greco C.C (2005). The Relationship between onset of blood lactate accumulation, critical velocity, and maximal lactate steady state in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19, 364-368
18. Figueira, T.R., Caputo, F., Pelarigo, J.G. and Denadai B.S (2008). Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals. *Journal of Sports*

19. Greco, C.C., Oliveira, M.F.M., Caputo, F., Pelarigo, J.G. and Denadai, B.S (2010). Effect of aerobic performance level on the maximal lactate steady state determined during intermittent protocol in swimming. *Brazilian Journal of Sports Medicine 16, 130-133. (In Portuguese: English abstract)*
20. Heck, H., Mader, A. and Hess, G (1985). of the 4 mmol/L lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine 66, 117-30*
21. Housh D., Housh, T.J. and Bauge S.M (1990). A methodological consideration for the determination of critical power and anaerobic work capacity. *Research Quarterly for Exercise and Sport 61, 406-409*
22. Howley E.T., Basset D.R. and Welch H.G (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise 27, 1292-1301*
23. Hughson R., Orok, C.J. and Staudt, L.E (1984). A high velocity treadmill running test to assess endurance running potential. *International Journal of Sports Medicine 5, 23-25*
24. Jackson A.S. and Pollock, M.L (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *Journal of Nutrition 40, 497-504*
25. Jenkins, D.G. and Quigley, B.M (1990). Blood lactate in trained cyclists during cycle ergometry at critical power. *European Journal of Applied Physiology 66, 278-283*
26. Jones, A.M. and Doust, J.H (1998). The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. *Medicine and Science in Sports and Exercise 30, 1304-1313*
27. Kranenburg, K.J. and Smith, D.J (1996). Comparison of critical speed determined from track running and treadmill tests in elite runners. *Medicine and Science in Sports Exercise 28, 614-618*
28. Monod, H. and Scherrer, J (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics 8, 329-338*
29. Moritani, T., Nagata, A., Devries, H.A. and Muro, M (1981). Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics 24, 339-350*
30. Philp, A., Macdonald, A.L., Carter, H., Watt, P.W. and Pringle, J.S (2008). Maximal lactate steady state as a training stimulus. *International Journal Sports Medicine 29, 475-479*
31. Poole D.C., Ward S.A. and Whipp B.J (1990). The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 59, 421-429*
32. Pringle, J.S. and Jones, A.M (2002). Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European Journal of Applied Physiology 88, 214-226*
33. Seiler, S. and Hetlelid, K.J (2005). The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Medicine and Science in Sports and Exercise 37, 1601-1607*
34. Siri, W.E (1956). Gross composition of the body. In: *Advances in Biological and Medical Physics. Eds: Lawrence, J.H. and Tobias, C.A. London, New York, Academic Press*
35. Smith, C.G.M. and Jones, A.M (2001). The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *European Journal of Applied Physiology 85, 19-26*
36. Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Harada T., Moritani T., Mutoh, Y. and Miyashita, M (1993). Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state?. *European Journal of Applied Physiology 66, 90-95*
37. Weltman, A (1995). The blood lactate response to exercise. *Champaign, IL: Human Kinetics*

### **Cita Original**

Ricardo D. de Lucas, Naiandra Dittrich, Rubens B. Junior, Kristopher M. de Souza and Luiz Guilherme A. Guglielmo. Is the Critical Running Speed Related to the Intermittent Maximal Lactate Steady State? *Journal of Sports Science and Medicine* (2012) 11, 89 - 94