

Domínguez, R.; Garnacho-Castaño, M.V.; San Juan, A.F.; Pérez-Ruiz, M.; García-Fernández, P.; Veiga-Herreros, P. y Maté-Muñoz, J.L. (201x) Respuestas cardiorrespiratorias a intensidad umbral. Estudio comparativo entre media sentadilla y cicloergómetro / Cardiorrespiratory Responses at Threshold Intensity. Comparative Between Half Squat vs Cycle Ergometer. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. * (*) pp. *. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/](http://cdeporte.rediris.es/revista/) *

ORIGINAL

RESPUESTAS CARDIORRESPIRATORIAS A INTENSIDAD UMBRAL. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MEDIA SENTADILLA Y CICLOERGÓMETRO

CARDIORRESPIRATORY RESPONSES AT THRESHOLD INTENSITY. COMPARATIVE BETWEEN HALF SQUAT VS CYCLE ERGOMETER

Domínguez, R.¹; Garnacho-Castaño, M.V.²; San Juan, A.F.³; Pérez-Ruiz, M.⁴; García-Fernández, P.⁵; Veiga-Herreros, P.⁶ y Maté-Muñoz, J.L.⁷

¹ Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Alfonso X El Sabio (España) rdomiher@uax.es

² Escuela Superior de Ciencias de la Salud, Universidad Pompeu Fabra (España) mgarnacho@escs.tecnocampus.cat

³ Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Pública de Navarra (España) alejandro.sanjuan@unavarra.es

⁴ Escuela de Doctorado, Universidad Europea de Madrid (España) margarita.perez@universidadeuropea.es

⁵ Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Alfonso X El Sabio (España) pablgafe@uax.es

⁶ Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Alfonso X El Sabio (España) pveigher@uax.es

⁷ Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Alfonso X El Sabio (España) jmatmuo@uax.es

Código UNESCO / UNESCO code: 2411 Fisiología del Ejercicio / Exercise Physiology

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe Classification: 6. Fisiología del Ejercicio / Exercise Physiology

Recibido 29 de julio de 2016 **Received** July 29, 2016

Aceptado 22 de diciembre de 2016 **Accepted** December 22, 2016

RESUMEN

Objetivo: Comparar las respuestas respiratorias, de frecuencia cardíaca (FC) y lactato a intensidad de umbral láctico (UL) en media sentadilla (MS) vs cicloergómetro. **Métodos:** 24 hombres con una edad de $21,5 \pm 1,8$ años, altura de $180,1 \pm 5,2$ cm y peso de $81,9 \pm 8,7$ kg y una experiencia en el entrenamiento de fuerza superior a 6 meses y una repetición máxima (1 RM) superior a 150 kg en media sentadilla realizaron un test incremental progresivo en MS y cicloergómetro para determinar el UL. Durante los test se midieron las

concentraciones de lactato sanguíneo, FC, consumo de oxígeno (VO_2), producción de dióxido de carbono (VCO_2), ventilación pulmonar (VE), equivalente ventilatorio del oxígeno ($VE \cdot VO_2^{-1}$) y equivalente ventilatorio del dióxido de carbono ($VE \cdot VCO_2^{-1}$). Una *t* student valoró las variables analizadas entre las dos modalidades de ejercicio. **Resultados:** las concentraciones de lactato sanguíneo, FC, VE, $VE \cdot VCO_2^{-1}$ y $VE \cdot VO_2^{-1}$ fueron superiores en MS vs cicloergómetro ($p < 0,05$). **Conclusiones:** el UL puede ser detectado en ejercicios empleados en el entrenamiento de fuerza. Además, la realización de sesiones de entrenamiento contrarresistencia a intensidad de UL podría ser utilizada en sesiones de entrenamiento que busquen mejorar simultáneamente la resistencia cardiovascular y la fuerza muscular.

PALABRAS CLAVE: resistencia, fuerza, entrenamiento contrarresistencia, umbral anaeróbico, transición aeróbica-anaeróbica

ABSTRACT

Objective: To compare responses respiratory, heart rate (HR) and lactate at a threshold lactate (LT) intensity in half squat (HQ) vs cycle ergometer. **Methods:** 24 men with an age of 21.5 ± 1.8 years, height of 180.1 ± 5.2 cm and weight of 81.9 ± 8.7 kg and an experience in resistance training over 6 months and one maximum repetition (1 RM) greater than 150 kg in half squat performed an incremental incremental test in HS and cycle ergometer to determine LT. During the test blood lactate concentrations, FC, oxygen consumption (VO_2), carbon production (VCO_2), pulmonary ventilation dioxide (VE), ventilatory equivalent of oxygen ($VE \cdot VO_2^{-1}$) and ventilatory equivalent of carbon dioxide ($VE \cdot VCO_2^{-1}$). A *t* student evaluated the variables analyzed between the two modes of exercise. **Results:** blood lactate concentrations, FC, VE, and $VE \cdot VO_2^{-1}$ and $VE \cdot VCO_2^{-1}$ were higher in HQ vs cycle ergometer ($p < 0.05$). **Conclusions:** LT can be detected in resistance training. The performance of sessions in resistance training to LT intensity may be adequate in training sessions that seek to simultaneously improve cardiovascular endurance and muscle strength.

KEYWORDS: endurance, strength, resistance training, anaerobic threshold, aerobic-anaerobic transition

INTRODUCCIÓN

Bajos niveles de resistencia cardiorrespiratoria se ha identificado como un factor de riesgo en el desarrollo de hipertensión, diabetes, síndrome metabólico, cáncer y muerte por cualquier causa (1). Por dicho motivo, el entrenamiento de resistencia cardiorrespiratoria se asocia con un descenso en el número de factores de riesgo de enfermedad cardiovascular (2). El consumo de oxígeno máximo ($VO_{2m\acute{a}x}$), parámetro que refleja *la cantidad máxima de oxígeno que un organismo es capaz de captar, transportar y consumir por unidad de tiempo* (3), se ha considerado el mejor indicador de la capacidad funcional de una persona

(4). Debido a que la determinación del $VO_{2\text{máx}}$ implica un esfuerzo máximo, con un elevado estrés cardiovascular, se ha buscado valorar la capacidad de resistencia a través de pruebas submáximas (5), siendo el umbral láctico (UL) el parámetro más empleado (6).

Al igual que el $VO_{2\text{máx}}$, la determinación del UL requiere la realización de un test incremental progresivo en el que, a medida que se incrementa la carga de trabajo, se toman muestras de lactato sanguíneo. El UL se ha identificado como la *intensidad de ejercicio a partir de la cual comienzan a incrementarse las concentraciones de lactato con respecto a los valores de reposo durante un test incremental progresivo* (7). Diferentes propuestas han intentado asociar el UL con unas concentraciones fijas que oscilan de 2 a 4 mmol·L⁻¹ de lactato (Bosquet, 2002), sin embargo, las concentraciones de lactato como respuesta al ejercicio presenta una gran variabilidad interindividual (8), siendo un factor determinante la composición de fibras musculares (9). En un trabajo llevado a cabo por De Sousa (10), en el que se analizaron distintos métodos para determinar el UL, se comprobó que, aunque los métodos de inspección visual pueden ser métodos adecuados en la determinación del UL, el método de ajuste algorítmico puede ser más preciso. Según esta metodología matemática, el UL se debe identificar como el punto de corte de dos regresiones lineales en la curva que enfrenta las concentraciones de lactato con la intensidad de ejercicio sean métodos más precisos en la determinación del UL (11).

Se ha sugerido que el UL se asocia, incluso en mayor medida que el $VO_{2\text{máx}}$, con el rendimiento en resistencia (12), pudiendo discriminar el rendimiento en deportistas con un $VO_{2\text{máx}}$ similar (13). El ejercicio a intensidad de UL, además de mantener estables las concentraciones de lactato sanguíneo, coincide con una intensidad que precede a un incremento desproporcional de la ventilación pulmonar (VE), y producción de dióxido de carbono (VCO_2) en relación al consumo de oxígeno (VO_2) durante la realización de un test incremental progresivo (7). El aumento desproporcional del VCO_2 con respecto al VO_2 conlleva a que a dicha intensidad se observe un incremento de la tasa de intercambio respiratorio (RER) ($VCO_2 \cdot VO_2^{-1}$) (7). Además, el aumento desproporcional de la VE en relación con el VO_2 hace que a dicha intensidad se produzca un aumento del equivalente ventilatorio del oxígeno ($VE \cdot VO_2^{-1}$) sin un incremento concomitante del equivalente ventilatorio del dióxido de carbono ($VE \cdot VCO_2^{-1}$) (14). Las anteriores respuestas ventilatorias, unidas a unos valores mínimos en la presión de oxígeno al final de la espiración ($PeTO_2$) (15), sugiere que en el UL tiene lugar la mayor utilización relativa del oxígeno en la oxidación de sustratos en relación al VO_2 y, por tanto, una tasa máxima en la contribución del metabolismo oxidativo al metabolismo energético durante el esfuerzo (16). En cuanto a la cinética de la glucosa en sangre, los valores obtenidos a UL son los más bajos durante la realización de un test incremental progresivo (17), haciendo que dicha intensidad sea óptima para personas con desórdenes metabólicos como obesidad, diabetes e hipertensión (18).

Actualmente, de forma paralela a los test incrementales progresivos que se emplean en resistencia cardiorrespiratoria, un número creciente de

investigaciones está realizando test incrementales progresivos discontinuos en ejercicios empleados para el entrenamiento de fuerza o contrarresistencias. Durante este tipo de test se impone, durante períodos fijos de trabajo, cargas de intensidad creciente, tras un período de recuperación en el que se obtienen muestras de lactato sanguíneo. Posteriormente, los valores de lactato sanguíneo son enfrentados ante la intensidad en una gráfica. De este modo, distintas investigaciones han valorado el UL en ejercicios como la media sentadilla (MS) (19,20,21), press de banca (22), prensa de piernas (10) o extensión de piernas (23).

El entrenamiento de fuerza provoca adaptaciones a medio y largo plazo, tanto de origen estructural como neural, aumentando los niveles de hipertrofia, fuerza y potencia muscular (18). Dichas adaptaciones explican el motivo por el que el entrenamiento de fuerza, tanto en personas sanas como con patologías, es un método eficaz para provocar mejoras en la función cardiorrespiratoria y cardiometabólica, reduciendo el riesgo de mortalidad y previniendo el riesgo de eventos cardiovasculares (24), además de minimizar el riesgo a desarrollar limitaciones funcionales (25).

Recientemente se ha propuesto que el entrenamiento de fuerza realizado a una intensidad de UL puede ser un entrenamiento óptimo tanto para provocar adaptaciones sobre la función muscular como sobre la resistencia cardiorrespiratoria (19,20,21). Sin embargo, actualmente, ninguna investigación ha comparado las respuestas metabólicas y cardiorrespiratorias que tienen lugar a intensidad de umbral láctico en ejercicios contrarresistencias con respecto a otros ejercicios empleados para el desarrollo de la resistencia cardiorrespiratoria, como pudiera ser la carrera o el cicloergómetro.

OBJETIVO

El objetivo del presente estudio ha sido comparar las respuestas ventilatorias, de frecuencia cardíaca y lactato, obtenidas en un protocolo discontinuo de carga creciente a una intensidad de UL en el ejercicio de MS, con respecto a las obtenidas en un protocolo de carga incremental en cicloergómetro.

MATERIAL Y MÉTODO

Sujetos

En el estudio participaron 24 sujetos varones con una edad de $21,5 \pm 1,8$ años, altura de $180,1 \pm 5,2$ cm y peso de $81,9 \pm 8,7$ kg. Toda la muestra cumplió los criterios de inclusión propuestos por los investigadores que incluían tener una edad comprendida entre 18 y 25 años; una experiencia en el entrenamiento contrarresistencias (frecuencia de 3 sesiones semanales) superior a 6 meses; familiarización con el ejercicio de MS; levantar, al menos, 150 kg en un test de una repetición máxima (1 RM) en MS; no utilizar ningún suplemento nutricional ni esteroides anabólicos, al menos, en los 6 meses previos; no presentar ningún

tipo de alteración cardiovascular, metabólica, pulmonar u ortopédica que pudiese limitar el rendimiento durante el ejercicio.

Todos los sujetos fueron reunidos en una sesión en la que se les informó sobre el procedimiento del estudio, además de facilitar un consentimiento informado que firmaron todos los participantes. Durante las 24 horas previas y hasta la finalización del estudio, los sujetos no realizaron ningún tipo de ejercicio complementario al estudio. Además, durante las 2 horas previas a la realización de las pruebas, los sujetos se abstuvieron de fumar, comer y tomar bebidas con cafeína u otro tipo de estimulantes.

El estudio cumplió con la declaración de Helsinki sobre investigaciones con seres humanos, siendo aprobado por el comité de ética de la Universidad Alfonso X El Sabio.

Diseño experimental

Los sujetos acudieron a un total de 3 sesiones de valoración al laboratorio, en una misma franja horaria (\pm 2 horas), separadas entre sí por 72 horas. En la 1^o sesión se realizó un test de 1 RM en MS. Durante la 2^o sesión, los sujetos realizaron un test incremental progresivo discontinuo en MS. La 3^o sesión consistió en un test incremental progresivo en cicloergómetro.

Test de 1 RM en media sentadilla

Tras un calentamiento general consistente en 5 minutos de carrera en tapiz rodante (Technogym, Gambettola, Forli, Italia) a una velocidad de 6 km·h⁻¹, así como de 5 minutos de ejercicios de movilidad articular y estiramientos dinámicos previos, se efectuó un calentamiento específico de una serie de 10 repeticiones de MS con una carga que los sujetos podían desplazar con facilidad. Posteriormente, tras 2 minutos de recuperación se inició el test de 1 RM, según la metodología propuesta por Baechle (26). De este modo, los sujetos iniciaron el test con una serie de 3 repeticiones con una carga un 20% superior a la empleada durante el calentamiento específico. Transcurridos 2 minutos de recuperación, las sucesivas series se redujeron a una única repetición, los incrementos de la carga fueron de un 10% y la recuperación se amplió hasta 3 o 4 minutos. Cuando los sujetos llegaron al fallo muscular, se les rebajó la carga un 5% y se les pidió que realizasen un nuevo intento. El 1 RM se estableció como la carga más alta que los sujetos desplazaron ejecutando una técnica correcta. Se consideró que la técnica de MS era correcta cuando los sujetos eran capaces de finalizar una extensión completa de rodillas desde una flexión de 90°, realizada con los pies situados al ancho de la cadera y la barra en la parte posterior del deltoides (27).

El objetivo del test de 1RM fue determinar las cargas correspondientes a las intensidades relativas (% de 1RM), a utilizar en la sesión del test incremental progresivo discontinuo en MS (Del 10% al 40% de 1RM).

Test incremental progresivo discontinuo en media sentadilla

El test incremental progresivo discontinuo en MS tuvo por objetivo determinar el UL en MS. El test fue precedido por un calentamiento general consistente en 5 minutos de carrera en tapiz rodante a una velocidad de $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, seguido de 5 minutos de ejercicios de movilidad articular y estiramientos dinámicos. A continuación, se efectuó un calentamiento específico que consistió en realizar una serie de 10 repeticiones de MS con una carga de 20 kg. Tras 3 minutos de recuperación, se inició el test.

El test incremental progresivo discontinuo en MS consistió en la realización de series de un minuto de trabajo seguido de dos minutos de recuperación pasiva. Las cargas, progresivamente crecientes, correspondieron al 10%, 20%, 25%, 30%, 35% y 40% de 1 RM. Durante cada carga, los sujetos tenían que realizar un total de 30 repeticiones a un ritmo de ejecución de 1 segundo de fase excéntrica y 1 segundo para la fase concéntrica impuesto por un metrónomo. En los primeros 30 segundos de cada período de recuperación se obtuvieron muestras de sangre capilar ($5 \mu\text{l}^{-1}$) del pulpejo del dedo índice de la mano izquierda, para determinar las concentraciones de lactato sanguíneo mediante un analizador Lactate Pro digital meter (Lactate Pro LT-1710, Arkray Factory Inc., KDK Corporation, Siga, Japan).

Durante todos los intervalos de trabajo se monitorizó la frecuencia cardíaca (FC) mediante registro telemétrico (RS-800CX, Polar Electro OY; Kempele, Finland) cada 5 segundos, así como datos del intercambio respiratorio correspondientes a VE , VO_2 , VCO_2 , equivalente ventilatorio del oxígeno ($\text{VE}\cdot\text{VO}_2^{-1}$), equivalente ventilatorio del dióxido de carbono ($\text{VE}\cdot\text{VCO}_2^{-1}$) y tasa de intercambio respiratorio (RER), medidos a través de un analizador de gases de circuito abierto *respiración a respiración* (Vmax spectra 29, Sormedics Corp., Yorba Linda, California, USA®) previamente calibrado.

Test incremental progresivo en cicloergómetro

El test se realizó en un cicloergómetro Monark (Ergomedic 828E, Vansbro, Sweeden) y fue precedido por un calentamiento en cicloergómetro, consistente en 5 minutos de pedaleo a una cadencia de 50 revoluciones por minuto ($\text{rev}\cdot\text{min}^{-1}$) con una carga de 0,5 kilopondios (kp), seguido de 5 minutos de ejercicios de movilidad articular y estiramientos dinámicos.

El test se inició con una carga de 50 watios (W), y se les pidió que tuviesen una cadencia de pedaleo de $50 \text{ rev}\cdot\text{min}^{-1}$. A intervalos de 1 minuto de duración se producían incrementos de carga de 25 W para lo cual los sujetos debían permanecer constante su cadencia de pedaleo ($50 \text{ rev}\cdot\text{min}^{-1}$) y los incrementos de carga eran de 0,5 kp. Al igual que en el test incremental progresivo discontinuo en MS, además de analizar las concentraciones de lactato

sanguíneo cada 2 minutos, durante todo el test se monitorizó la FC, mediante telemetría, y las variables respiratorias, a través de un analizador de gases de circuito abierto *respiración a respiración*.

Determinación del umbral láctico

El UL se estableció, tanto en MS como en cicloergómetro, como la intensidad de ejercicio (% de 1 RM en MS y % VO_{2pico} en cicloergómetro) a partir de la cual las concentraciones de lactato comenzaron a incrementarse de forma exponencial (10). Para ello, a través de un modelo matemático, se estableció que el UL correspondía con el punto de intersección donde las concentraciones de lactato en sangre a una intensidad relativa estipulada coincidían, mediante una regresión lineal computarizada de dos segmentos (11). El tratamiento de los datos fue realizado con el software informático Matlab version 7.4 (MathWorks, Natick, MA, USA).

Análisis estadístico

Se analizó la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk. Una vez confirmada la normalidad de los datos, éstos fueron presentados como media (M) y desviación estándar (DE). Para comprobar las diferencias entre las diferentes variables a una intensidad de umbral láctico entre ejercicios se aplicó una *t* student para muestras relacionadas. El nivel de significación estadística fue $p < 0,05$. El análisis estadístico fue realizado con el software SPSS versión 18.0 (SPSS, Chicago, IL, USA).

RESULTADOS

El UL en MS se obtuvo con una carga del $24,82 \pm 4,8\%$ de 1 RM ($49,9 \pm 16,5$ kg) (véase Figura 1) y en cicloergómetro correspondió al $44,58 \pm 10,84\%$ VO_{2pico} ($134,8 \pm 26,88$ W) (véase Figura 2). Como se observa en la Figura 3, a una intensidad de UL, las concentraciones de lactato sanguíneo fueron superiores ($4,58 \pm 1,5$ mmol·L⁻¹) en MS vs cicloergómetro ($2,06 \pm 0,63$ mmol·L⁻¹) ($p < 0,001$). El mismo comportamiento se observó en la FC, encontrándose valores significativamente más altos en la MS ($144,1 \pm 16,27$ lpm) con respecto al cicloergómetro ($123,7 \pm 16,71$ lpm) ($p < 0,001$) (véase Figura 4). La Tabla 1 muestra los valores de las variables respiratorias obtenidas a una intensidad de UL en MS y cicloergómetro, observándose valores estadísticamente superiores en los parámetros VE, RER, $VE \cdot VCO_2^{-1}$ y $VE \cdot VO_2^{-1}$ en el ejercicio de MS con respecto al cicloergómetro ($p < 0,05$).

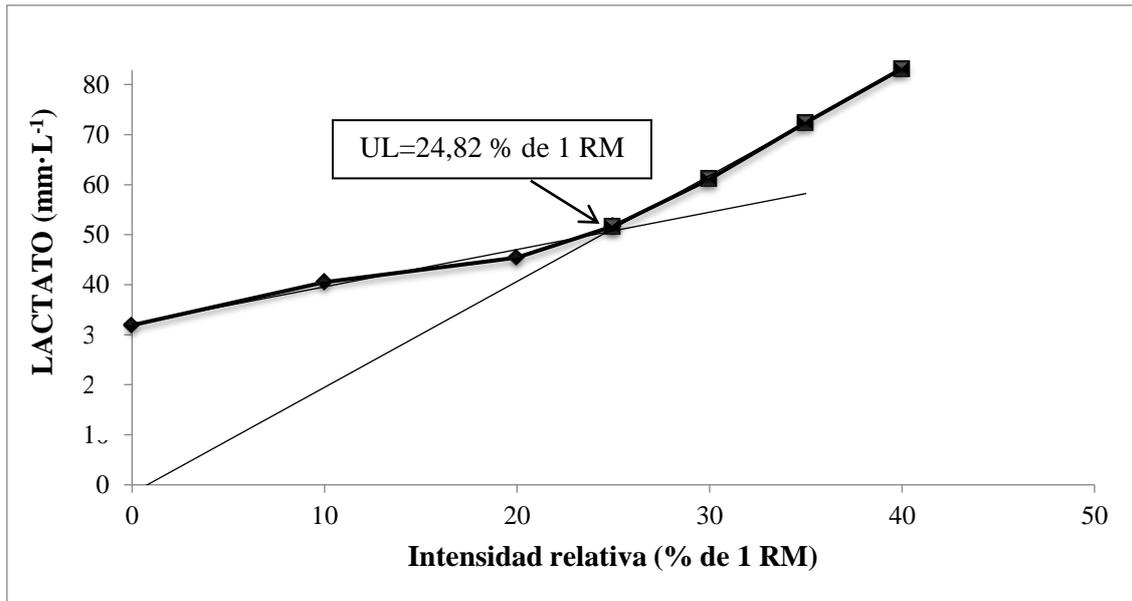
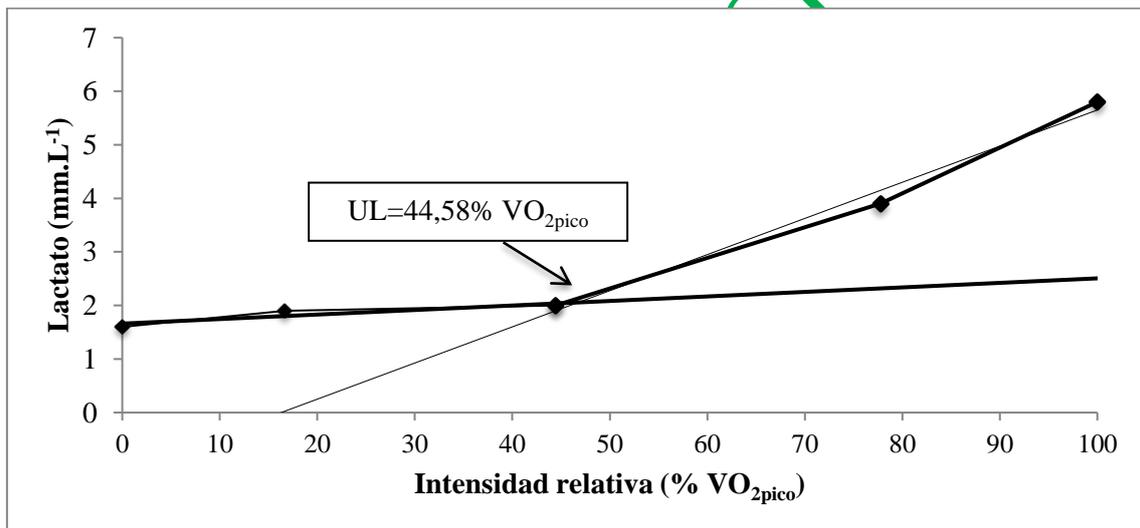


Figura 1. Determinación del umbral láctico como % de 1 RM en media sentadilla



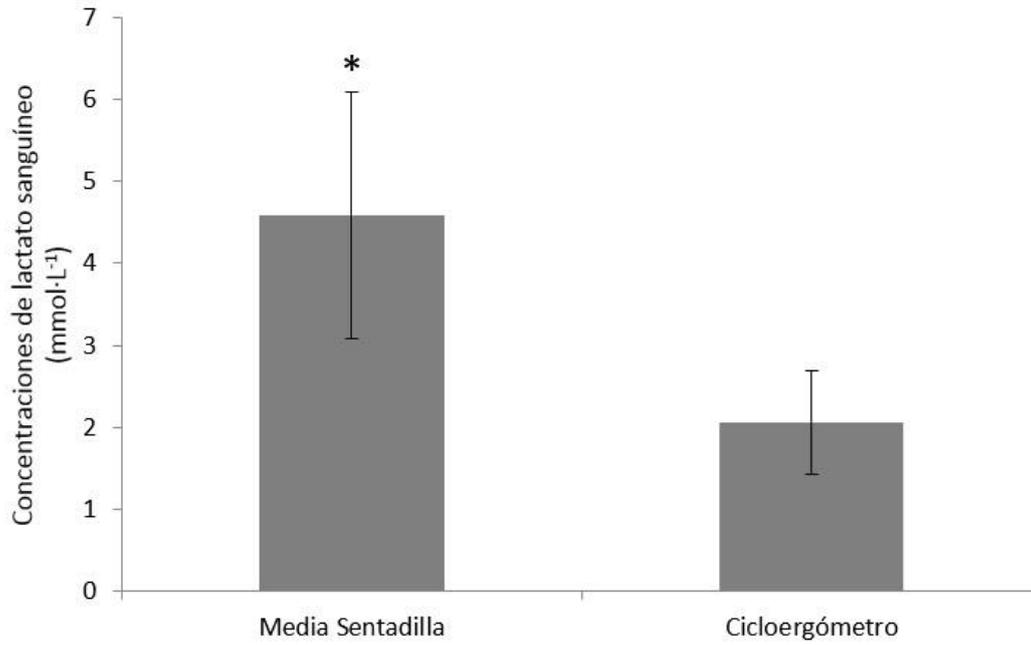


Figura 3. Concentraciones medias de lactato sanguíneo (mmol·L⁻¹) a una intensidad de umbral láctico en media sentadilla y cicloergómetro

* Diferencias estadísticamente significativas entre grupos (p < 0,05)

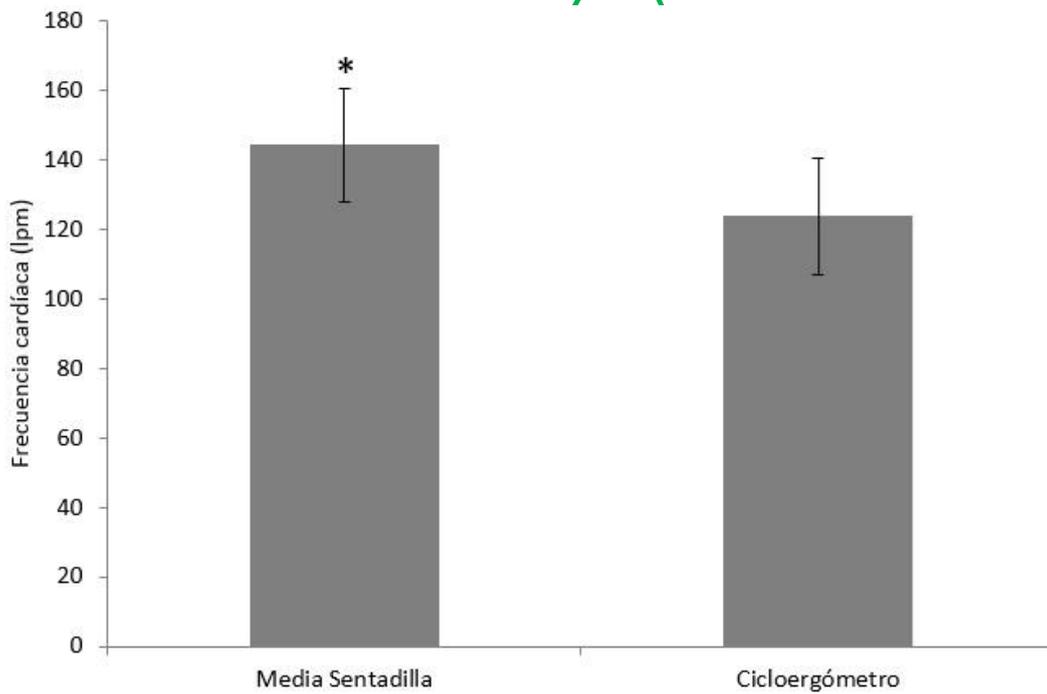


Figura 4. Valores medios de frecuencia cardíaca (lpm) a una intensidad de umbral láctico en media sentadilla y cicloergómetro

* Diferencias estadísticamente significativas entre grupos (p < 0,05)

lpm: latidos por minuto

Tabla 1. Datos de las variables respiratorias a una intensidad de umbral láctico en media sentadilla y cicloergómetro

Variables	UL Media sentadilla	UL Cicloergómetro	Diferencia de medias	t	P
VO ₂ (L·min ⁻¹)	2,05 ± 0,34	1,97 ± 0,37	0,08 ± 0,5	0,82	0,421
VCO ₂ (L·min ⁻¹)	1,83 ± 0,34	1,70 ± 0,39	0,13 ± 0,5	1,35	0,189
VE (L·min ⁻¹)	52,72 ± 11,94 *	41,62 ± 8,54	11,1 ± 13,2	4,11	0,000
RER	0,91 ± 0,07 *	0,86 ± 0,06	0,06 ± 0,1	3,42	0,002
VE·VO ₂ (L·min ⁻¹)	25,98 ± 2,83 *	21,23 ± 1,42	4,75 ± 2,8	8,26	0,000
VE·VCO ₂ (L·min ⁻¹)	28,56 ± 1,81 *	24,60 ± 1,84	3,96 ± 2,5	7,81	0,000

* Diferencias estadísticamente significativas entre grupos

FC: Frecuencia cardíaca; lpm: latidos por minuto; RER: Tasa de intercambio respiratorio; UL: umbral láctico; VO₂: Consumo de oxígeno; VCO₂: Producción de dióxido de carbono; VE: Ventilación; VE·VO₂⁻¹: Equivalente ventilatorio de oxígeno; VE·VCO₂⁻¹: Equivalente ventilatorio de dióxido de carbono

DISCUSIÓN

La determinación del UL en MS encontrado ($24,82 \pm 4,8\%$ de 1 RM) coincide con investigaciones previas que han identificado el UL en dicho ejercicio en intensidades situadas entre el 23-25% de 1 RM (18,19,20,23). Sin embargo, ha podido constatar que las concentraciones de lactato sanguíneo a una intensidad de UL son estadísticamente superiores en MS con respecto a cicloergómetro. Las concentraciones de lactato encontradas en cicloergómetro ($2,06 \pm 0,63$ mmol·L⁻¹) son similares a las encontradas en otras investigaciones realizadas en cicloergómetro (1,9-2,5 mmol·L⁻¹) (28,29). Sin embargo, las concentraciones de lactato sanguíneo encontradas en MS ($4,58 \pm 1,5$ mmol·L⁻¹) nos indican que las metodologías de detección del UL basadas en concentraciones de lactato próximas a 2,0 mmol·L⁻¹, podrían no ser extrapolables a otros ejercicios como la MS.

En la literatura se ha descrito que factores como la disponibilidad de glucógeno y la ingesta de hidratos de carbono de la dieta (8), la variabilidad individual (8) u otros como pudieran ser la composición de fibras musculares, la actividad enzimática lipolítica o glucolítica de las mismas o la densidad capilar y mitocondrial (9), afectan a la respuesta del lactato sanguíneo al ejercicio.

Nuestros resultados sugieren que la modalidad de ejercicio, puede ser otro factor que influya en las respuestas del lactato al ejercicio.

En cuanto a la FC se ha comprobado que ésta es superior en MS con respecto al cicloergómetro, comportamiento semejante encontrado en la comparación de la respuesta en carrera con respecto al cicloergómetro (31). La mayor respuesta de la FC puede tener origen en la participación de una mayor masa muscular activa durante la realización de la MS o por el diferente patrón de reclutamiento neuromuscular en las dos modalidades de ejercicio.

La mayor VE, encontrada en el ejercicio de MS, ante unos mismos niveles de VO_2 y VCO_2 , origina que aumenten los equivalentes ventilatorios, tanto del oxígeno ($VE \cdot VO_2^{-1}$) como del dióxido de carbono ($VE \cdot VCO_2^{-1}$). El $VE \cdot VO_2^{-1}$ es un marcador de la eficiencia en el consumo de oxígeno a nivel pulmonar y una elevación de $VE \cdot VO_2^{-1}$ y $VE \cdot VCO_2^{-1}$ indicaría una disminución en el intercambio de gases a nivel pulmonar (32) durante la realización de la MS. Distintos estudios han comprobado una correlación fuerte entre los niveles de lactato sanguíneo como respuesta al ejercicio y las concentraciones de $VE \cdot VO_2^{-1}$ y $VE \cdot VCO_2^{-1}$ (33).

Los mayores niveles de FC, lactato sanguíneo, $VE \cdot VO_2^{-1}$ y $VE \cdot VCO_2^{-1}$ en MS puede deberse, a la modalidad de ejercicio. Es posible que, durante la realización de ejercicios empleados en el entrenamiento de fuerza, el aumento progresivo de la presión intramuscular, a medida que aumenta el tiempo de ejercicio, induzca a un colapso de los capilares, reduciendo la disponibilidad de oxígeno por parte del músculo, estimulándose la glucólisis anaeróbica (34) e incrementando las concentraciones de lactato y del resto de parámetros anteriormente citados. Además durante el test incremental en MS podrían producirse mayores requerimientos de fuerza y por tanto un mayor reclutamiento de fibras rápidas tipo II, durante cada una de las repeticiones de la MS en comparación con cada una de las pedaladas realizada durante el test incremental en cicloergómetro. Lucía (35), observó estas mismas respuestas fisiológicas en ciclistas profesionales durante un test constante a la misma potencia (350 w), pero a diferentes cadencias de pedaleo. De modo que a 60 $rev \cdot min^{-1}$ la fuerza requerida por pedalada era mayor que a 80 y 100 $rev \cdot min^{-1}$, aumentando significativamente el reclutamiento de unidades motoras tipo II medido mediante electromiografía de superficie, así como el VO_2 , FC, concentración de lactato, y la percepción subjetiva del esfuerzo. Por dicho motivo, es posible que los ejercicios empleados en el entrenamiento de fuerza tengan una naturaleza anaeróbica que conlleve a estimular las rutas metabólicas no oxidativas. Sin embargo, debemos considerar que, distintas investigaciones han comprobado que la inclusión de períodos de recuperación durante la realización de esfuerzos con ejercicios empleados para el entrenamiento de fuerza a una intensidad de UL (relación 1:2 entre trabajo:descanso) permiten mantener en condiciones de estabilidad los distintos parámetros ventilatorios, FC y concentraciones de lactato sanguíneo, tras un incremento inicial (20,21).

Al encontrar que la MS es efectiva para provocar una respuesta sobre el VO_2 similar al cicloergómetro a intensidad de UL, y considerando estudios que

han confirmado la estabilidad de las respuestas metabólicas y respiratorias durante la realización de MS a intensidad de UL (20,30), podemos considerar que una intensidad de UL en el entrenamiento de fuerza puede ser óptima para estimular adaptaciones sobre la función muscular y cardiorrespiratoria. Esta aplicación puede ser muy útil para poblaciones que buscan reducir factores de riesgo cardiovascular o mejorar su estado de salud y en cuyo objetivo, debe encontrarse mejorar tanto la resistencia cardiovascular como la fuerza muscular (36).

CONCLUSIONES

El UL puede ser detectado en ejercicios empleados en el entrenamiento de fuerza. Además, la realización de sesiones de entrenamiento contrarresistencias a intensidad de UL podría ser utilizada en sesiones de entrenamiento que busquen mejorar simultáneamente la resistencia cardiovascular y la fuerza muscular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jackson AS, Sui X, Herbert JR, Church TS, Blair SN. Role of life style and aging on the longitudinal change in cardiorespiratory fitness. *Arch Intern Med.* 2009;169(19):1781–7.
2. Wen CP, Wai JP, Tsai MK, Yang YC, Cheng TY, Lee MC, et al. Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: a prospective cohort study. *Lancet.* 2011;378:1244–53.
3. Viana-Montaner BH, Gómez-Puerto JR, Centeno-Prada R, Beas-Jiménez JD, Melero-Romero D, Da Silva-Grigoletto ME. Comparación del VO₂máx y del tiempo hasta el agotamiento en dos modalidades de ejercicio en triatletas. *Rev Andal Med Deporte.* 2009; 2(1): 7-11.
4. Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood E. Exercise Capacity and Mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med.* 2002;346(11): 793-801.
5. Hollmann W. 42 years ago: development of the concepts of ventilatory and lactate threshold. *Sports Med.* 2001;31(5):315-20.
6. Domínguez R, Garnacho-Castaño MV, Maté-Muñoz JL. Metodología de determinación de la transición aeróbica-anaeróbica en la evaluación funcional. *Arch Med Deporte.* 2015;32(6):387-92.
7. Meyer T, Lucia A, Earnest CP, Kindermann W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters – theory and application. *Int J Sports Med.* 2005;26(1):38-48.
8. Svedahl K, Macintosh BR. Anaerobic threshold: The concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol.* 2003;28(2):299-323.
9. Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med.* 2007;37(10):857-80.

10. de Sousa NMF, Magosso RF, Pereira GB, Leite RD, Montagnolli AN, Pérez SA, Baldissera V. The measurement of lactate threshold in resistance exercise: a comparison of methods. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2011;31: 376–81.
11. Davis JA, Rozenek R, DeCicco DM, Carizzi MT, Pham PH. Comparison of three methods for detection of the lactate threshold. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2007;27:381–4.
12. Coyle EF. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc Sport Sci Rev*. 1995;23:25–63.
13. Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(1):70–84.
14. Lucía A, Esteve-Lanao J, Oliván J, Gómez-Gallego F, Pérez M, Chamorro-Viña C. Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Appl Physiol Nut. Metab*. 2006;31:530–40.
15. Lucía A, Hoyos J, Santalla A, Earnest C, Chicharro JL. 2003. Tour de France versus Vuelta a España: which is harder? *Med Sci Sports Exerc*. 2003; 35:872–8.
16. Davis JA, Vodak P, Wilmore JH, Vodak J, Kurtz P. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol*. 1976;41:544-50.
17. Ribeiro LFP, Malachias PC, Junior PB, Baldissera V. Lactate and glucose minimum speeds and running performance. *J Sci Med Sport*. 2004;7:123–7.
18. Domínguez R, Garnacho-Castaño MV, Maté-Muñoz JL. Efectos del entrenamiento contra resistencias o resistance training en diversas patologías. *Nutr Hosp*. 2016;33(3):719-33.
19. Garnacho-Castaño MV, Domínguez R, Maté-Muñoz J.L. Understanding the meaning of the lactate threshold in resistance exercises. *Int J Sports Med*. 2015;36:371-7.
20. Garnacho-Castaño MV, Domínguez R, Ruiz-Solano P, Maté-Muñoz JL. Acute physiological and mechanical responses during resistance exercise executed at the lactate threshold workload. *J Strength Cond Res*. 2015; 29(10):2867-73.
21. Maté-Muñoz JL, Domínguez R, Barba M, Monroy AJ, Ruiz-Solano P, Garnacho-Castaño MV. Cardiorespiratory and metabolic responses to loaded half squat corresponding to the lactate threshold. *J Sport Sci Med*. 2015;14:648-56.
22. Moreira SR, Arsa G, Oliveira HB, Lima LC, Campbell CS, Simoes HG. Methods to identify the lactate and glucose thresholds during resistance exercise for individuals with type 2 diabetes. *J Strength Cond Res*. 2008;22(4):1108-15.
23. Oliveira JC, Baldissera V, Simões HG, Aguiar AP, Azevedo PHM, Poian PAFO, Perez SEA. Limiar de glicose e de lactato em exercício resistido. *Rev Bras Med Esporte*. 2006; 12:333–8.
24. Gale CR, Martyn CN, Cooper C, Sayer AA. Grip strength, body composition, and mortality. *Int J Epidemiol*. 2007;36(1):228–35.

25. Manini TM, Everhart JE, Patel KV, Schoeller DA, Colbert LH, Visser M. Daily activity energy expenditure and mortality among older adults. *JAMA*. 2006;296(2):171–9.
26. Baechle TR, Earle RW, Wathen D. (2007). Entrenamiento con pesas. En: Baechle TR, Earle RW, editores. *Principios del Entrenamiento de la Fuerza y del Acondicionamiento Físico*. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2007. p. 395-425.
27. Bogdanis GC, Tsoukos A, Veligeas P, Tsolakis C, Terzis G. Effects of muscle action type with equal impulse of conditioning activity on postactivation potentiation. *J Strength Cond Res*. 2014;28(9):2521–8.
28. Sporadyk K, Zoladz JA. The 2,3-DPG levels of human red blood cells during an incremental exercise test: relationship to the blood acid-base balance. *Physiol Res*. 1998;47(1):17-22.
29. Zajac A, Poprzecki S, Maszczyk A, Czuba M, Michalczyk M, Zydek G. The Effects of a Ketogenic Diet on Exercise Metabolism and Physical Performance in Off-Road Cyclists. *Nutrients*. 2014;6:2493-508.
30. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts. How valid are they? *Sports Med*. 2009;39(6):469–90.
31. Hue O, Le Gallais D, Chollet D, Prefaut C. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake in present triathletes. *Can J Appl Physiol*. 2000;25:102-13.
32. Chetta A, Rampello A, Marangio E, Merlini S, Dazzi F, Aiello M, et al. Cardiorespiratory response to walk in multiple sclerosis patients. *Respir Med*. 2004; 98: 522-9.
33. Hansen D, Wens I, Keytsman C, Verboven K, Dendale P, Eijnde BO. Ventilatory function during exercise in multiple sclerosis and impact of training intervention: cross-sectional and randomized controlled trial. *Eur J Phys Med Rehabil*. 2015;51(5):557-68.
34. Petrofsky JS, Phillips CA, Sawka MN, Hanpeter D, Stafford D. Blood flow and metabolism during isometric contractions in cat skeletal muscle. *J Appl Physiol*. 1981;50: 493–502.
35. Lucia A, San Juan AF, Montilla M, CaNete S, Santalla A, Earnest C, Pérez M. In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(6):1048-54.
36. Ratamess NA, Albar BA, Evetoch TK, Housh TJ, Kibler WB, Kraemer WJ, Triplett NT. Special Communication. American College of Sports Medicine Position Stand: Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(3):687-708.

Número de citas totales / Total references: 36 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 0 (0%)