

Article

Respuesta de la Creatina Kinasa de Jóvenes Físicamente Activos al Ciclismo de Una y Dos Piernas

Thiago G. Figueira^{1,2}, Rodrigo F. Magosso^{2,3,4}, José Campanholi-Neto^{2,3}, João P. C. Carli^{2,3} y Cássio M. Robert-Pires^{4,5,6}

¹Programa de Post Grado Interunidades Bioingeniería (EESC/IQSC/FMRP) - USP/San Carlos

²Laboratorio de Fisiología del Ejercicio - Departamento de Ciencias Fisiológicas - Universidad Federal de San Carlos

³Programa de Post Grado en Ciencias de la Motricidad - UNESP/Rio Claro

⁴CEFEMA - Centro de Estudios en Fisiología del Ejercicio, Musculación y Evaluación Física

⁵Universidad de Ribeirão Preto - UNAERP, ⁶Universidade de Araraquara - UNIARA

RESUMEN

Figueira, TG, Magosso, RF, Campanholi-Neto, J, Carli, JPC, Robert-Pires, CM. Respuesta de la Creatina Kinasa de Jóvenes Físicamente Activos al Ciclismo de Una y Dos Piernas. JEPonline 2017;20 (3):168-176. El propósito del estudio fue comparar la concentración de creatina kinasa (CK) sanguínea de 15 hombres sanos físicamente activos después del ciclismo de una y dos piernas. Después de que se explicaron los procedimientos, los sujetos fueron al laboratorio en cuatro ocasiones. La primera fue una sesión de familiarización. Durante las sesiones 2, 3 y 4, los sujetos realizaron tests máximos de una y dos piernas que se separaron por 48 a 72 horas. Se tomó una muestra de sangre antes y 24 horas después de cada test para determinar las respuestas de CK en sangre. Luego del ejercicio de dos piernas, las respuestas de CK sanguínea ($7,14 \pm 201,87$ U/l) fueron significativamente más bajas ($P < 0,05$) comparadas con las respuestas de la pierna derecha ($138,87 \pm 155,57$ U/l) y de la pierna izquierda ($126,17 \pm 115,02$ U/l). Cuando Δ CK se relacionó con la carga de trabajo, el protocolo de dos piernas condujo a aumentos más bajos ($0,07 \pm 0,78$ Δ CK/W) en comparación con las piernas derecha e izquierda ($1,69 \pm 1,53$ Δ CK/W y $1,75 \pm 1,64$ Δ CK/W, respectivamente). El presente estudio muestra que el ejercicio de ciclismo de una pierna conduce a grandes aumentos en la CK sanguínea de los hombres físicamente activos después de 24 horas.

Palabras Clave: Creatina Kinasa, Daño Muscular Inducido por Ejercicio, Test Incremental, Ciclismo de una Pierna, Ciclismo de Dos Piernas

INTRODUCCIÓN

Está bien establecido que algunos tipos de ejercicio pueden inducir daños a las células del músculo esquelético; un fenómeno conocido como daño muscular inducido por el ejercicio (DMIE). La mayor incidencia de DMIE ocurre en individuos no entrenados, ejercicios con acciones musculares excéntricas, deportes y otras actividades que involucran contracciones intensas, fatiga muscular y ejercicio no acostumbrado (7,11).

Por lo general, las rupturas en el sarcolema y los sarcómeros, especialmente en las líneas Z, caracterizan el daño muscular.

Pero, hay otras estructuras musculares que se ven comprometidas cuando los músculos están dañados. Por ejemplo, puede haber daño en el retículo sarcoplásmico, los túbulos T, las miofibrillas y los componentes del citoesqueleto (es decir, filamentos de titina). Los signos y síntomas incluyen dolor muscular de aparición tardía, inflamación muscular, disminución de la fuerza, así como un aumento en la concentración sanguínea de mioglobina y creatina kinasa (CK) (10,19).

La creatina kinasa es una enzima citoplasmática que cataliza la degradación de la fosfocreatina (PCr) a la creatina (Cr) con liberación de energía para resintetizar el ATP (2). Después de una sesión de entrenamiento intenso, el pico en los valores de CK sanguínea ocurre generalmente entre 24 y 48 horas y puede permanecer elevado hasta 72 horas después del DMIE (15). El aumento de la concentración de CK sanguínea ([CK]) depende de la cantidad de daño a los sarcómeros inducida por el ejercicio intenso o una patología muscular como la rabdomiolisis (5). Los niveles normales de CK sanguínea oscilan entre 35-170 unidades por litro de sangre (U/I), sin embargo, los estudios con triatletas de ultra-distancia y corredores de maratón informan valores de aproximadamente 1500 U/l inmediatamente después de la competición (2,3,13). Por lo tanto, el análisis de CK es capaz de indicar la magnitud del DMIE por competencias o sesiones de entrenamiento y, por lo tanto, ayudar en la planificación del programa de entrenamiento.

Los ciclistas usan el ejercicio de una pierna como una alternativa para sobrecargar la capacidad metabólica periférica. La reducción en ejercitar la masa muscular permite un mayor flujo sanguíneo y suministro de oxígeno a los músculos activos y la mayor parte de la entrega de oxígeno se pone a disposición de la pierna que ejercita. El aumento de la entrega de oxígeno produce una mayor tasa de trabajo en cada pierna, que sobrecarga las mitocondrias y mejora la capacidad respiratoria (17). Por lo tanto, el ciclismo de una pierna puede inducir mayores adaptaciones mitocondriales en comparación con el ciclismo de dos piernas (12).

Aunque se supone que el ciclismo de una pierna permite aumentar el suministro de oxígeno al miembro que hace ejercicio, la mecánica del ejercicio puede imponer limitaciones a la intensidad y al volumen (17). Específicamente, durante el ciclismo de dos piernas, las fuerzas gravitacionales e inerciales son esencialmente equilibradas por el miembro contralateral. Sin embargo, el ciclismo de una pierna se realiza típicamente quitando una pierna del pedal dejando así la otra pierna para pedalear sola. Con una pierna en reposo, el miembro contralateral ya no equilibra las fuerzas y el movimiento está desequilibrado. Este enfoque requiere una flexión de cadera en el miembro activo para elevar el pedal en un patrón y una intensidad a la que el individuo no está acostumbrado y posiblemente conduce a un DMIE, donde los flexores de cadera que tiran el miembro inferior hacia arriba deben aumentar su trabajo (4).

El propósito de este estudio fue comparar la [CK] sanguínea de hombres jóvenes sanos en ciclismo de una pierna vs. ciclismo de dos piernas. Nuestra hipótesis fue que, a pesar de la menor masa muscular involucrada, el ciclismo de una pierna conduciría a un mayor DMIE y, en consecuencia, una mayor [CK] sanguínea.

MÉTODOS

Sujetos

Quince hombres jóvenes físicamente activos y saludables se ofrecieron voluntariamente para participar en este estudio. Se excluyeron individuos con lesiones, patologías y/o trastornos metabólicos que influyen en el ejercicio y/o [CK]. Las características de los sujetos se presentan en la Tabla 1. En primer lugar, los sujetos pasaron por una entrevista con el investigador principal durante la cual fueron plenamente informados de los propósitos, procedimientos, riesgos y beneficios del estudio. Después de esta información, todos los sujetos firmaron un consentimiento informado. El estudio fue aprobado por el comité de ética local que supervisa la investigación humana (protocolo n. 1.218.462).

Tabla 1. Datos Descriptivos de los Sujetos.

Parámetro	Valor (media ± DE)
Edad (años)	24.1 ± 5.0
Masa Corporal (kg)	79.97 ± 12.76
Altura (cm)	176.0 ± 5.2
IMC (kg·m⁻²)	25.74 ± 3.30
Grasa Corporal (%)	16.17 ± 4.07
VO₂ máx (mL·kg⁻¹·min⁻¹)	46.2 ± 11.2

Diseño Experimental

Después de la visita inicial con los voluntarios, los que eran físicamente capaces de participar fueron al Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Universidad Federal de São Carlos. Durante la primera de las cuatro sesiones, los sujetos se familiarizaron con el cicloergómetro (Ergo-fit 167®) realizando ciclismo de una y dos piernas. En las siguientes tres sesiones, los sujetos realizaron los tests incrementales máximos en ciclismo de dos piernas y con la pierna derecha e izquierda en ciclismo de una sola pierna. Los tests se realizaron aleatoriamente y a la misma hora del día. El intervalo de descanso entre los tests fue de 72 a 96 horas.

Tests Incrementales Máximos

Los tests se realizaron en un cicloergómetro de frenado electromagnético. Los aumentos de carga se hicieron cada 2 min hasta el agotamiento voluntario. La carga inicial fue de 10 W con un aumento de 10 W en ciclismo de una pierna y un aumento de 20 W en ciclismo de dos piernas.

Durante el ciclismo de una pierna, la extremidad que no ejercitaba se colocó sobre una plataforma de madera y el pedal fue retirado de la bicicleta. El pie de la extremidad que ejercitaba se fijó al pedal con el fin de realizar mejor los movimientos de empujar y tirar durante el ejercicio y también para evitar que el pie se escape del pedal.

Concentración de CK Sanguínea

Para medir la [CK] sanguínea, se tomó una muestra de 30 µl de la yema del dedo y se transfirió inmediatamente a una tira de prueba específica para analizarla con un Reflotron® (Roche, Alemania). Todos los sujetos recibieron instrucciones de no realizar ninguna actividad de esfuerzo físico 72 horas antes de los tests, de modo que la [CK] no se viera afectada. Los análisis se realizaron 3 minutos antes y 24 horas después de cada test para comparar las respuestas de [CK] a cada protocolo. Los resultados se presentan como el cambio en la concentración de CK sanguínea (Δ CK) (U/l) de pre a post-test y la relación entre el Δ CK y la carga máxima en el test incremental (Δ CK/W).

Análisis Estadísticos

Los resultados se presentan como medias ± desviación estándar. Después de que los datos pasaron el test de Kolmogorov-Smirnov, se utilizó un ANOVA unidireccional para comparar los cambios en la [CK] sanguínea con el Tukey *post-hoc* cuando era aplicable. La significación estadística se estableció en $P \leq 0,05$. Todos los datos se analizaron utilizando el software SigmaPlot versión 11.0.

RESULTADOS

La potencia pico en el ciclismo de dos piernas fue $255,3 \pm 36,6$ W, la cual fue estadísticamente mayor ($P \leq 0,05$) que el ciclismo de una pierna con la pierna derecha ($93,3 \pm 37,7$ W; 36,5% de las dos piernas) y la pierna izquierda ($84,6 \pm 39,4$ W; 33,1% de las dos piernas) y también mayor ($p \leq 0,05$) en comparación con la suma de la potencia pico alcanzada con cada pierna ($177,9 \pm 75,6$ W) como se muestra en la Figura 1. No hubo diferencias significativas entre los tests de una pierna.

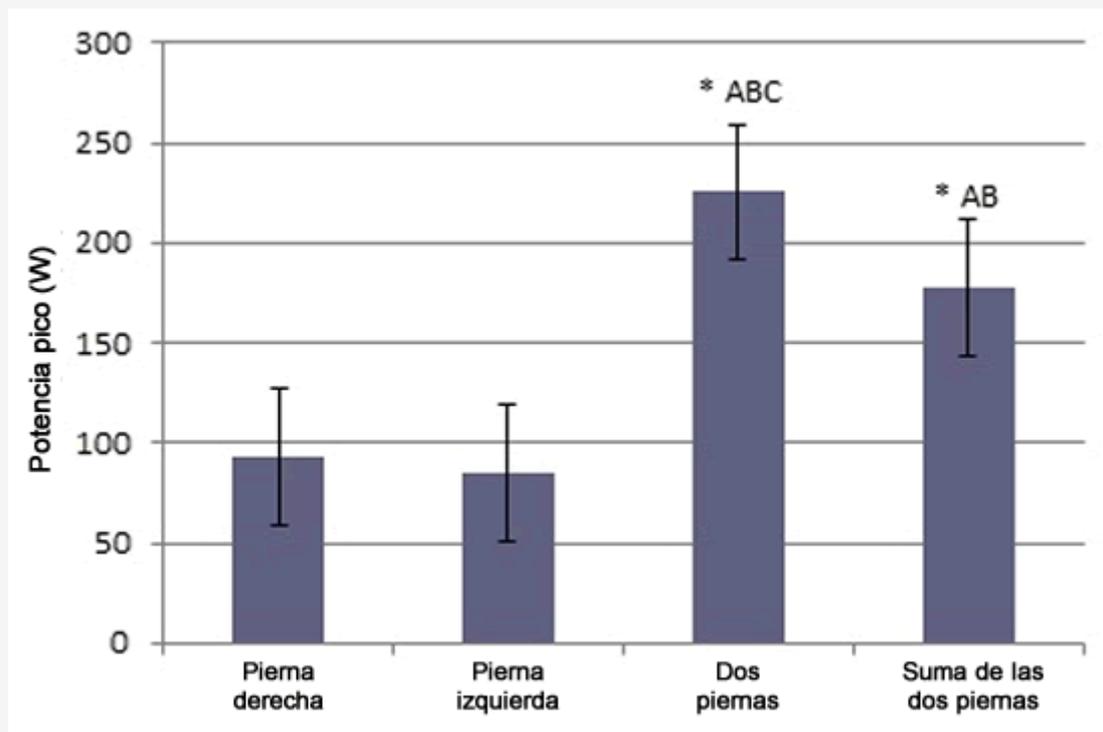


Figura 1. Potencia Pico en los Tests Incrementales y en la Suma de las Dos Piernas. A Significativamente diferente de la pierna derecha; B Significativamente diferente de la pierna izquierda; C Significativamente diferente de la suma de las dos piernas.

Cuando los sujetos realizaron el ciclismo de dos piernas, el ΔCK ($7,14 \pm 201,87$ U/l) fue significativamente menor ($P \leq 0,05$) que la pierna derecha ($138,87 \pm 155,57$ U/l) y la izquierda ($126,17 \pm 115,02$ U/l). Esto representa un promedio de 1945% y 1767% de aumento superior en la [CK] sanguínea de la pierna derecha e izquierda en comparación con el protocolo de dos piernas, respectivamente. No hubo diferencias significativas entre la [CK] sanguínea después de los dos protocolos de ciclismo de una pierna (Figura 2).

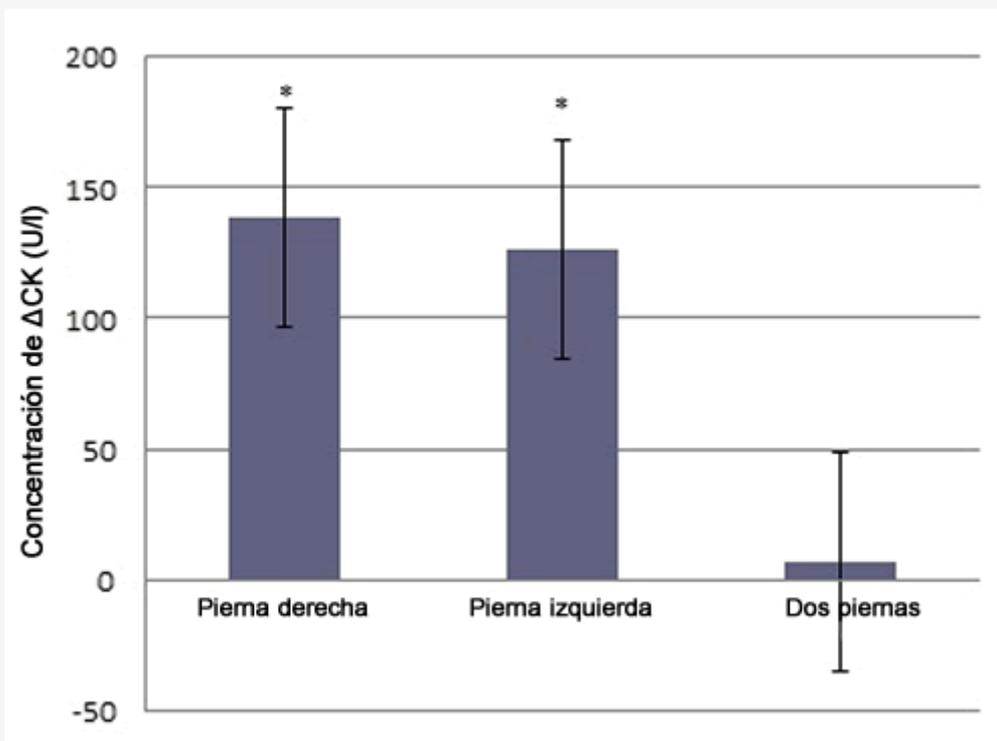


Figura 2. Cambios en la [CK] Sanguínea Después de Protocolos de una Pierna (derecha e izquierda) y Protocolo de dos Piernas.
*Significativamente diferente de dos piernas.

Cuando el Δ CK se relacionó con la potencia pico (Δ CK/W), el aumento después del protocolo de dos piernas ($0,07 \pm 0,78$) fue significativamente menor en comparación con la pierna derecha ($1,69 \pm 1,53$) e izquierda ($1,75 \pm 1,64$), con ninguna diferencia significativa entre los protocolos de una sola pierna, como se muestra en la Figura 3.

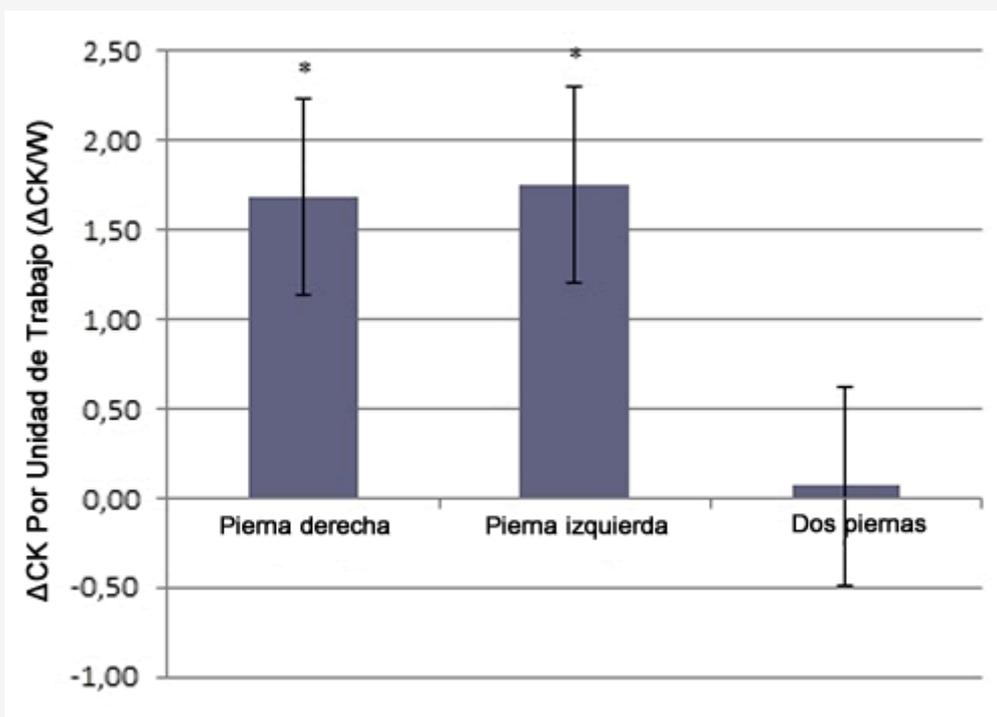


Figura 3. Δ CK Por Unidad de Trabajo (Δ CK/W) Después de Protocolos de Una Pierna (Piernas Derecha e Izquierda) y Protocolo de Dos Piernas. *Significativamente diferente de dos piernas.

DISCUSIÓN

El análisis de la [CK] sanguínea mostró que los aumentos fueron significativamente mayores después de ambos protocolos de una sola pierna en comparación con el protocolo de dos piernas, lo que confirma nuestra hipótesis inicial. Esto se justifica por el patrón motor de los protocolos de una sola pierna, a los que los sujetos no estaban acostumbrados. El ciclismo con una pierna y sin contrapeso no es común entre los ciclistas y conduce a un DMIE y al aumento de la [CK] sanguínea.

El ciclismo de una pierna tiene diferentes características biomecánicas en comparación con el ciclismo de dos piernas, especialmente sin contrapeso lo que conduce a un mayor estrés en los músculos flexores de la cadera para ambas contracciones, concéntricas y excéntricas (y con el uso de contrapesos la potencia pico sería mayor) (4). Según Abbiss et al. (1), cuando se realiza ciclismo de una pierna con un contrapeso, la intensidad alcanzada con cada pierna es más de la mitad de la intensidad alcanzada con el test de dos piernas. Sus datos coinciden con nuestro estudio donde la suma de las dos piernas fue significativamente menor en comparación con la potencia pico con ambas piernas, dado que nuestro estudio no empleó contrapeso. La ausencia de un contrapeso en el presente estudio se realizó para verificar cómo el acto de tirar del pedal influiría en la acción de los flexores de la cadera, dado que estos músculos no están acostumbrados a esa tasa de trabajo.

En este sentido, el mayor aumento en la [CK] sanguínea después del ciclismo de una pierna puede explicarse por el patrón motor del ejercicio. El DMIE es causado inicialmente por la tensión mecánica situada en los músculos (8) durante el ciclismo de una pierna, especialmente sin contrapeso, lo que conduce a un mayor torque en los flexores de cadera. Este aumento del torque parece ser el principal factor en los cambios de la [CK] sanguínea, dadas las diferencias significativas cuando Δ CK se relaciona con la potencia pico. Nuestros resultados muestran que para ambas piernas, el aumento del Δ CK/W fue significativamente mayor que en el protocolo de dos piernas, por lo que más daño es causado por una menor intensidad de trabajo en el ciclismo de una sola pierna.

La enzima CK está predominantemente presente en el sarcoplasma del cual es liberada en el torrente sanguíneo durante el proceso de daño muscular que es causado por el trauma del ejercicio intenso. Por lo tanto, el aumento de la [CK] sanguínea es un marcador importante en la fisiología del ejercicio y la medicina deportiva que permite detectar daño muscular y/o exceso de trabajo muscular (4,15). Una limitación en el presente estudio es hacer sólo un análisis de [CK] después de cada protocolo. Sin embargo, Mendham et al. (14) demostraron un pico de [CK] sanguínea 24 horas después del ejercicio aeróbico de alta intensidad. Camargo et al. (6) también informaron picos en la [CK] sanguínea 24 horas después de hacer ejercicio en el agua en comparación con el resto. Por lo tanto, creemos que el período de análisis fue adecuado para determinar respuestas de [CK] sanguínea después del ciclismo de una y dos piernas.

Los valores de [CK] sanguínea encontrados en el presente estudio fueron muy variables entre los sujetos como se observó en otros estudios. Según Baird et al. (2), algunos sujetos presentan niveles séricos mucho más altos de CK después del ejercicio en comparación con otros sujetos emparejados por edad, sexo y estado de entrenamiento. Esta variabilidad puede deberse a factores genéticos o incluso cambios en la composición corporal de los sujetos. Si bien estos factores no son claros y se necesitan más estudios para determinar los rangos de [CK] sanguínea en diferentes poblaciones y durante diferentes modos de ejercicio (9), los datos del presente estudio son bastante claros en la definición de las diferencias entre el ciclismo de una pierna y el ciclismo de dos piernas.

Schneider et al. (16) analizaron la variación de la [CK] sanguínea de 12 ciclistas en ciclismo no competitivo de 300 km con una duración media de 1021 min e informaron un cambio principal de 480,5% de pre- a post-ejercicio. En nuestro estudio, el cambio en la [CK] sanguínea después del protocolo de una pierna fue de más del 1500%. Esto indica que el ejercicio de ciclismo de una pierna puede ayudar a preparar a los músculos contra los daños causados por recorridos largos de ejercicio.

Los datos del presente estudio muestran que el ciclismo de una pierna conduce a grandes aumentos en la [CK] sanguínea cuando se realiza sin contrapeso. En este sentido, a pesar de los beneficios informados de este tipo de entrenamiento, los entrenadores y ciclistas deben ser cautelosos en el diseño de programas de entrenamiento para asegurar una recuperación

adecuada. Además, teniendo en cuenta la alta variabilidad en los valores absolutos de [CK] sanguínea, se recomienda que los resultados se interpretan por cambios en la [CK] en lugar de los valores absolutos.

CONCLUSIONES

El presente estudio muestra que el ciclismo de una pierna sin contrapeso conduce a un gran aumento de 24 horas en la [CK] sanguínea de hombres físicamente activos en valores absolutos y también cuando el Δ CK está relacionado con la tasa de trabajo (Δ CK/W). Se necesitan más estudios para determinar los efectos crónicos de este tipo de entrenamiento y para comparar las respuestas de la [CK] sanguínea después del ciclismo de una pierna con y sin contrapeso.

AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES).

Dirección de correo: Thiago Gomes Figueira, Programa de Pós Graduação Interunidades Bioengenharia (EESC/IQSC/FMRP) Universidade de São Paulo - USP/São Carlos. Av. Trabalhador São-carlense, 400 - Parque Arnold Schimidt São Carlos /SP. CEP: 13566-590 - Brasil. Phone: 55 16 3373-9586. thiago.gfigueira@hotmail.com

REFERENCIAS

1. Abbiss CR, Karagounis LG, Laursen PB, Peiffer JJ, Martin DT, Hawley JA, Fatehee NN, Martin JC. (2011). Single-leg cycle training is superior to double-leg cycling in improving the oxidative potential and metabolic profile of trained skeletal muscle. *J Appl Physiol*. 2011;110(5):1248-1255.
2. Baird MF, Graham SM, Baker JS, Bickerstaff GF. (2012). Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *J Nutr Metabol*.
3. Belli T, Crisp AH, Verlengia R. (2017). Greater muscle damage in athletes with ACTN3 R577X (RS1815739) gene polymorphism after an ultra-endurance race: A pilot study. *Biol Sport*. 2017;34:105-110.
4. Bini RR, Jacques TC, Lanferdini FJ, Vaz MA. (2015). Comparison of kinetics, kinematics, and electromyography during single-leg assisted and unassisted cycling. *J Strength Cond Res*. 2015;29(6):1534-1541.
5. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. (2007). Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Brit Med Bull*. 2007;(81-82):209-230.
6. Camargo MZ, Siqueira CPCM, Preti MCP, Nakamura FY, Lima FM, Dias IFL, Toginho-Filho DO, Ramos SP. (2012). Effects of light emitting diode (LED) therapy and cold water immersion therapy on exercise-induced muscle damage in rats. *Lasers in Med Sci*. 2012;27(5):1051-1058.
7. Cheung K, Hume P, Maxwell L. (2003). Delayed onset muscle soreness: Treatment strategies and performance factors. *Sports Med*. 2003;33(2):145-164.
8. Clarkson PM, Hubal MJ. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehab*. 2002;81(11):S52-S69.
9. Heled Y, Bloom MS, Wu TJ, Stephens Q, Deuster PA. (2007). CK-MM and ACE genotypes and physiological prediction of the creatine kinase response to exercise. *J Appl Physiol*. 2007;103(2):504-510.
10. Hody S, Rogister B, Leprince P, Laglaine T, Croisier JL. (2013). The susceptibility of the knee extensors to eccentric exercise-induced muscle damage is not affected by leg dominance but by exercise order. *Clin Physiol Funct Imag*. 2013;33(5):373-380.
11. Hunkin SL, Fahrner B, Gastin PB. (2014). Creatine kinase and its relationship with match performance in elite Australian Rules football. *J Sci Med Sport*. 2014;17(3):332-336.
12. Klausen K, Secher NH, Clausen JP, Hartling O, Trap-Jensen J. (1982). Central and regional circulatory adaptations to one-leg training. *J Appl Physiol: Resp. Envir Exer Physiol*. 1982;52(4):976-983.
13. Machado CN, Gevaerd MS, Goldfeder RT, Carvalho T. (2010). Efeito do exercício nas concentrações séricas de creatina cinase em triatletas de ultradistância. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2010;16(5):378-381.
14. Mendam AE, Donges CE, Liberts EA, Duffield R. (2011). Effects of mode and intensity on the acute exercise-induced IL-6 and CRP responses in a sedentary, overweight population. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(6):1035-1045.
15. Mougios V. Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. (2007). *Brit J Sports Med*. 2007;41(10):674-678.
16. Schneider M, Perico E, Pozzobon A. (2015). Evaluation of muscle damage by assessment of the concentration of creatine kinase in non-athlete individuals after uncompetitive cycling race. *Scientia Medica*. 2015;25(1):1-7.

17. Thomas LN, Martin JC. (2009). Single leg cycling: An evaluation of pedal powers. *Med Sci Sports Exer.* 2009;41(1):54-55.
18. Totsuka M, Nakaji S, Suzuki K, Sugawara K, Sato K. (2002). Break point of serum creatine kinase release after endurance exercise. *J Appl Physiol.* 2002;93(4):1280-1286.
19. Uchida MC, Nosaka K, Ugrinowitsch C, Yamashita A, Martins E, Moriscot AS, AOKI MS. (2009). Effect of bench press exercise intensity on muscle soreness and inflammatory mediators. *J Sports Sci.* 2009;27(5):499-507.