

García-García, O. (2013). Relación entre parámetros de tensiomiografía y potenciales indicadores del rendimiento en ciclistas profesionales / The relationship between parameters of tensiomyography and potential performance indicators in professional cyclists. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 13 (52) pp. 771-781. <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista52/artrelacion421.htm>

ORIGINAL

RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE TENSIOMIOGRAFÍA Y POTENCIALES INDICADORES DEL RENDIMIENTO EN CICLISTAS PROFESIONALES

THE RELATIONSHIP BETWEEN PARAMETERS OF TENSIO MYOGRAPHY AND POTENTIAL PERFORMANCE INDICATORS IN PROFESSIONAL CYCLISTS

García-García, O.

Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte. Universidad de Vigo. Email: oscargarcia@uvigo.es

Código UNESCO / UNESCO CODE: 9915 medicina deportiva / sport medicine
Clasificación Consejo de Europa / Classification of the council of Europe: 11. Medicina del deporte / sport medicine

Recibido 28 de Agosto, 2011 **Received** August 28, 2011

Aceptado 26 de Noviembre, 2012 **Accepted** November 26, 2012

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue el de establecer la relación del tiempo de contracción (TC) y el desplazamiento radial del vientre muscular (DM) de los músculos vastus medialis, vastus lateralis, rectus femoris y biceps femoris, evaluados mediante tensiomiografía, respecto a potenciales indicadores del rendimiento deportivo como son W_{max} y VO_{2max} en ciclistas profesionales de carretera. Se realizó una tensiomiografía y un test progresivo de esfuerzo máximo en laboratorio a 10 ciclistas profesionales. Los resultados muestran que existen correlaciones entre los potenciales indicadores del rendimiento y el DM de bíceps femoris y rectus femoris, así como entre los propios indicadores. No obstante, el TC no ha correlacionado con ninguno de ellos. En conclusión, los resultados sugieren que el DM de los músculos biarticulares bíceps femoris y rectus femoris podría estar relacionado con estos potenciales indicadores del rendimiento de los ciclistas profesionales.

PALABRAS CLAVE: Tensiomiografía, ciclista profesional, potencia máxima de pedaleo, consumo máximo de oxígeno.

ABSTRACT

The aim of this study was to establish the relationship of the time contraction (TC) and the radial muscle belly displacement (DM) of the vastus medialis, vastus lateralis, rectus femoris and biceps femoris muscles, assessed by tensiomyography, regarding potential sport performance indicators such as W_{max} and VO_{2max} in professional road cyclists. A tensiomyography and a progressively incremental protocol until exhaustion point were reached in the laboratory conditions to 10 professional cyclists. The results show that there are correlations between performance indicators and the DM of biceps femoris and rectus femoris, and between the own indicators W_{max} and VO_{2max} . However, the TC has not correlated with any of them. In conclusion, the results suggest that DM of the biceps femoris and rectus femoris biarticular muscles could be related with these potential sport performance indicators of the professional cyclists.

KEY WORDS: Tensiomyography, professional road cyclist, maximal pedal power, maximal oxygen uptake

INTRODUCCION

Los valores de consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) y de la máxima potencia de pedaleo (W_{max}) han sido consistentemente recogidos en la literatura científica (Mujika and Padilla, 2001). Ambos pueden ser usados como un predictor del rendimiento físico en el ciclismo (Faria, Parker and Faria, 2005). Estos potenciales predictores del rendimiento han sido evaluados en ciclistas profesionales de carretera según su especialidad (rodador, contrarrelojista, todo terreno, escalador) (Mújika and padilla, 2001), y también como indicadores de la intensidad ($\%VO_{2max}$ y $\%W_{max}$) que supone distintos tipos de pruebas ciclistas como son las contrarrelojes, las etapas de montaña, o las etapas llanas en carreras de varios días (Lucía, Hoyos and Chicharro, 2001).

Por otro lado, la tensiomiografía (TMG) permite evaluar las propiedades contráctiles de los músculos de forma aislada e involuntaria, a través de la detección del máximo desplazamiento radial del vientre muscular (DM) en una contracción isométrica provocada por un estímulo eléctrico. Esta técnica se basa en asumir que la cantidad de desplazamiento detectado por el sensor es proporcional a la fuerza muscular que puede ser generada por el músculo evaluado (Valenčič and Djordjevič, 2001; Valenčič, Knez and Šimunič, 2001). De hecho la amplitud de la respuesta de la TMG está directamente relacionada con la fuerza contráctil realizada hasta aproximadamente el 68% de la fuerza máxima (Pišot et al., 2008).

El DM es el parámetro de la TMG asociado al tono muscular (muscle stiffness) y a los cambios en la sección transversal del músculo, pudiendo estar afectado por las propiedades mecánicas del tendón muscular, ya que un

incremento en los valores de este parámetro ha sido atribuido a un decrecimiento del tono del músculo y del tendón (Pišot et al., 2008). Otro parámetro evaluado con TMG es el tiempo de contracción (TC), definido como el tiempo transcurrido entre cuando finaliza el tiempo de reacción (10%), y cuando se produce el 90% de la deformación máxima del músculo, medido en milisegundos (Rodríguez-Matoso et al., 2010). Este se ha relacionado de forma significativa con la distribución de los diferentes tipos de fibras determinados por método histoquímico, a través de biopsia (Dahmane, Valenčič, Knez, and Erzen, 2001; Dahmane, Djordjevič, Šimunič, and Valenčič, 2005; Šimunič et al., 2011). El TC es considerado como un importante parámetro para describir las características de los músculos esqueléticos (Valenčič and Djordjevič, 2001).

La TMG ha sido utilizada para diferenciar las características musculares en niños y relacionarlas con el rendimiento en pruebas de sprint (Pišot et al., 2004). No obstante, la relación entre las propiedades contráctiles de los músculos, evaluados a través de TMG, y la capacidad de rendimiento o los potenciales indicadores del rendimiento deportivo no ha sido suficientemente abordada en la literatura científica.

El objetivo de este trabajo fue el de establecer la relación del tiempo de contracción (TC) y el desplazamiento radial del vientre muscular (DM) de los músculos Vastus Medialis, Vastus Lateralis, Rectus Femoris y Bíceps Femoris, evaluados mediante TMG, respecto a potenciales indicadores del rendimiento deportivo como son W_{max} y $VO_{2máx}$ en ciclistas profesionales de carretera.

MATERIAL Y MÉTODO

La presente investigación ha envuelto a 10 ciclistas profesionales de carretera, todos ellos voluntarios, que dieron su consentimiento por escrito después de ser informados, junto con el staff técnico y los managers del equipo, de todo el proceso de evaluación y sus riesgos. El protocolo de investigación siguió las indicaciones explicitadas en la declaración de Helsinki sobre investigación biomédica en humanos (18th Medical Assembly, 1964; revisada en 1983 en Italia y en 1989 en Hong Kong), y también siguió las indicaciones sobre la preservación de los derechos y la dignidad humana en aplicaciones biológicas y médicas (IR1999; B.O.E. 251, 1999). El estudio fue aprobado por el comité ético local.

Participantes

La muestra estuvo compuesta por diez ciclistas profesionales de carretera (edad $27,5 \pm 5,5$ años; altura $178,2 \pm 7,8$ cm; masa corporal $65,6 \pm 5,4$ kg) que habían planificado la Vuelta a España como competición principal de la temporada. El equipo obtuvo un notable rendimiento al ganar la clasificación por equipos. A pesar del reducido número de la muestra ($n=10$), es importante señalar que esta representa el 5,05% del universo de ciclistas profesionales en esa competición, además García-García, Hernández Mendo, Serrano-Gómez y Morales-Sánchez (2013) han sugerido que la estructura de

datos obtenida con estos ciclistas ha mostrado, a través de un análisis de generalizabilidad, una adecuada fiabilidad y generalizabilidad, consiguiendo también con ella una optimización de los diseños de medida. Para estos autores, este tipo de análisis tiene especial relevancia en estudios donde la muestra de deportistas de alto nivel resulta siempre limitada.

Protocolo de evaluación

Cada ciclista fue evaluado en el periodo de competición, cinco semanas antes de iniciarse la "Vuelta a España". La distancia media cubierta en ese momento en entrenamientos y competiciones fue de 20.600 ± 2.319 km. Las mediciones tuvieron lugar en la jornada de descanso activo de cada ciclista dentro de su microciclo de recuperación. Todos los ciclistas se encontraban en un estado saludable.

La TMG fue realizada usando siempre un estímulo eléctrico de 1 milisegundo de duración. La intensidad inicial del estímulo fue de 30mA y fue aumentando en 10mA sucesivamente hasta alcanzar la máxima intensidad del electroestimulador TMG-S2 (EMF-FURLAN & Co. d.o.o., Ljubljana, Slovenia), situada en 110mA. Para cada uno de los ciclistas evaluados, del total de mediciones obtenidas de cada uno de sus músculos, solamente la que representaba el mayor DM (máximo desplazamiento radial del músculo) en cada músculo fue seleccionada para su posterior análisis. Entre estímulos consecutivos se dejó un tiempo de descanso de 10 segundos para evitar posibles efectos de fatiga en el músculo, tal y como indican Krizaj Šimunič and Zagar (2008). En cada medición se observaron dos parámetros: máximo desplazamiento radial del vientre muscular (DM), expresado en milímetros y tiempo de contracción (TC) establecido como el tiempo que transcurre entre el 10% y el 90% de la máxima respuesta del DM en la zona ascendente de la curva, expresado en milisegundos. Ambos parámetros han mostrado tener un alto nivel de fiabilidad y reproductibilidad a corto plazo (Krizaj et al., 2008; Tous-Fajardo et al., 2010; Rodríguez-Matoso et al., 2010b).

Los músculos Vastus Medialis (VM), Vastus Lateralis (VL), Rectus Femoris (RF), and Biceps Femoris (BF) de ambas piernas fueron evaluados de forma estática y relajada, con el ciclista de cúbito supino para evaluar los extensores de la rodilla y de cúbito prono para evaluar el flexor de rodilla. La articulación de la rodilla fue fijada usando cuñas específicas que mantienen la rodilla en 120° en posición supina y 150° en posición prona. El desplazamiento radial del vientre muscular fue evaluado utilizando un transductor digital de desplazamiento (GK 40, Panoptik d.o.o., Ljubljana, Slovenia) que fue colocado de forma perpendicular a la parte más gruesa del vientre muscular. La colocación del sensor fue determinada de forma individual siguiendo las indicaciones de Delagi, Perotto, Lazzeti and Morrison (1975). Los electrodos autoadhesivos (5x5cm, 2mm/h. Conlin Medical Supply Co., Ltd, China) fueron colocados de forma simétrica a 5cm del sensor. El punto de medición fue ligeramente corregido hasta obtener siempre la mayor respuesta mecánica (Pišot et al., 2008).

Después de un calentamiento determinado individualmente por cada ciclista, estos realizaron un test progresivo de esfuerzo máximo en laboratorio, usando un cicloergómetro de freno electromagnético (Cardgirus bicycle SNT Medical. Spain) y siguiendo un protocolo incremental, continuo y progresivo hasta la extenuación. Los gases espirados fueron recogidos de forma continua a lo largo de toda la prueba mediante un equipo Jaeger Oxycon Pro® (Erich Jaeger GmbH. Germany) que cumple con la normativa ATS (American Thoracic Society) y ECCS (European Communities Chemistry Society). Antes de cada test, el analizador de gases fue calibrado usando aire ambiental (20,9% O₂ y 0,04% CO₂) y mediante botella de calibración (16% O₂ y 5% CO₂). El protocolo consistió en estar 3 minutos parado encima del cicloergómetro, a continuación pedalear durante 3 minutos a una intensidad de 20W, manteniendo una frecuencia de pedaleo constante de 90 rev · min⁻¹, para posteriormente incrementar 5W cada 15 segundos de pedaleo (20w cada minuto) hasta la extenuación, o hasta que el ciclista no pudiera mantener la cadencia de pedaleo.

Los valores obtenidos han sido definidos en el trabajo de Faria et al. (2005). La potencia de pedaleo fue registrada en watios a través del software Cardgirus Medical V. 4.3.0.10. W_{max} fue obtenida en el momento en el que el ciclista obtuvo el valor más alto del test dentro de la última carga completada. VO_{2max} , que representa la máxima cantidad de oxígeno usada, y el segundo umbral ventilatorio (VT_2), definido como el punto de compensación respiratorio, que corresponde de forma muy aproximada con el segundo umbral de lactato (LT_2), fueron determinados mediante las variables ventilatorias usando el software LabManager V4 (Erich Jaeger GmbH. Germany).

Los valores de W_{max} y VO_{2max} han sido expresados en valores relativos a la masa corporal (kg), debido a que ha sido demostrado que cuando los ciclistas de elite son testados en condiciones de laboratorio, los valores fisiológicos expresados de forma relativa a las características antropométricas, predicen con mayor exactitud el rendimiento deportivo que los valores absolutos (Padilla, Mújika, Cuesta, Polo and Chatard, 1996).

Análisis estadístico

El coeficiente de correlación bivariada de Pearson ha sido utilizado para establecer la relación entre TC, DM y los potenciales indicadores del rendimiento deportivo W_{max} y VO_{2max} , y también entre los propios potenciales indicadores (W_{max} y VO_{2max}). Debido al reducido tamaño de la muestra (n=10), de forma complementaria, se implementaron las pruebas Tau_b de Kendall y Rho de Spearman. El nivel de significancia estadística fue fijado en $P<0,05$ (*). Los datos fueron analizados usando el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) para Windows versión 19.

RESULTADOS

Los resultados de TC y DM presentados en la tabla 1 corresponden al valor medio entre lado derecho y lado izquierdo de cada músculo evaluado, ya que no se encontraron diferencias significativas entre ambos lados.

	VM	VL	RF	BF
TC (ms)	40,6 ± 14,4	40,6 ± 10,2	45,9 ± 16,2	28,2 ± 5,2
DM (mm)	8,3 ± 1,5	5 ± 1,4	7,4 ± 2,8	5,2 ± 2,3
VO _{2max} (ml/kg/min)	72,1 ± 3,7 ml/kg/min ⁻¹			
W _{max} (W/kg)	6,0 ± 0,4 W/kg			

Tabla 1. Valores descriptivos de TC (milisegundos), DM (milímetros), VO_{2max} y W_{max} relativos

Como se puede observar en la tabla anterior el RF es el músculo que presenta un valor mayor de TC, siendo el BF el que obtiene un menor valor. El VM es el músculo con un mayor DM, mientras que VL y BF son los que menor DM obtienen.

Los valores de FC alcanzados por los ciclistas en la prueba de esfuerzo máximo fueron de 176,7 ± 11 p/m en VT₂, y 188,3 ± 10,1 p/m en VO_{2max}. Respecto a la máxima potencia de pedaleo, el valor absoluto ha sido de 407,0 ± 25,8 W y de 6,0 ± 0,4 W/kg el valor relativo a la masa corporal. Los wátios movidos en VT₂ han sido de 329,0 ± 39,0 W (4,9 ± 0,6 W/kg) y de 390,0 ± 28,8 W (5,8 ± 0,4 W/kg) en VO_{2max}. Respecto al consumo máximo de oxígeno, el valor absoluto ha sido de 4,9 ± 0,1 L/min y de 72,1 ± 3,7 ml/kg/min⁻¹ en valor relativo a la masa corporal. El consumo de oxígeno en VT₂ ha sido de 62,6 ± 5,4 ml/kg/min⁻¹

Los resultados de la tabla 2 muestran que el parámetro TC no ha correlacionado de forma significativa con los potenciales indicadores del rendimiento. No obstante, el parámetro DM si presenta correlaciones con los potenciales indicadores del rendimiento. En concreto se observa una correlación positiva entre VO_{2max} y el DM de RF (r = 0,637; P<0,05), entre VO_{2max} y DM del BF (r = 0,680; P<0,05), y entre W_{max} y DM del BF (r = 0,652; P<0,05). No se ha encontrado ninguna correlación significativa entre los potenciales indicadores del rendimiento deportivo y los músculos VM y VL.

	TIEMPO DE CONTRACCIÓN		DESPLAZAMIENTO RADIAL	
	VO _{2max}	W/kg	VO _{2max}	W/kg
VM	-0,175	-0,097	-0,158	-0,059
VL	-0,119	-0,245	0,375	0,173
RF	-0,073	-0,032	0,637*	0,264
BF	-0,012	0,095	0,680*	0,652*

Tabla 2 Coeficiente de correlación bivariada de Pearson entre TC y DM de cada músculo evaluado y los potenciales indicadores del rendimiento. $p < 0,05$ (*)

También se ha encontrado, en los ciclistas que componen esta muestra, una correlación positiva entre los dos potenciales indicadores del rendimiento W_{\max} and $VO_{2\max}$ ($r = 0,691$, $P < 0,05$).

DISCUSION

El volumen de kilómetros recorridos por los participantes de esta muestra (a 5 semanas de la Vuelta a España) esta en consonancia con el descrito por Mújika and Padilla (2001) y por Lucía et al. (2001).

La potencia máxima de pedaleo (W_{\max}) es un indicador del rendimiento cuyo ratio potencia/peso, para que un ciclista sea considerado de elite, debe ser superior a 5,5 W/kg (Faria et al., 2005). El valor de W_{\max} de los ciclistas que componen esta muestra cumple con este requisito ($6,0 \pm 0,4$ W/kg), aunque se muestra ligeramente inferior a los valores reportados por Padilla, Mújika, Cuesta and Goiriena (1999) con un valor de $6,3 \pm 0,3$ W/kg, por Mújika and Padilla (2001) en especialistas escaladores ($6,5 \pm 0,3$ W/kg), en especialistas contrarrelojistas ($6,4 \pm 0,1$ W/kg), y en ciclistas todo terreno ($6,4 \pm 0,2$ W/kg), y resulta muy similar al de los especialistas rodadores ($6,0 \pm 0,3$ W/kg), a los recogidos por Lee, Martin, Anson, Grundy and Hahn (2002) en ciclistas profesionales de carretera ($5,8 \pm 0,3$ W/kg), y a los reportados en su revisión por Lucía et al. (2001) de entre 6,0 y 6,5 W/kg.

No obstante, es necesario tener en cuenta que la variación en W_{\max} a lo largo de la temporada ha sido reflejada debido a los efectos del entrenamiento y la competición (Sassi, Impellizzeri, Morelli, Menaspá, and Rampinini, 2008). También, los datos generados en un test de esfuerzo máximo progresivo deben ser comparados con prudencia debido a los diferentes protocolos utilizados en los test, ya que las potencias máximas más altas suelen tener lugar cuando los test son de corta duración (Lucia et al., 2001).

El $VO_{2\max}$ de los ciclistas evaluados ha resultado ser similar al señalado en su revisión por Faria et al. (2005) con un valor de $74,0$ ml/kg/min⁻¹, al recabado por Lee et al. (2002) en ciclistas profesionales de carretera ($73,0 \pm 3,4$ ml/kg/min⁻¹), al reportado por Lucía et al. (2001) entre 70 y 80 ml/kg/min⁻¹, y al de los especialistas rodadores, $74,4 \pm 3,0$ ml/kg/min⁻¹, evaluados por Mújika and Padilla (2001). Sin embargo, resulta inferior a los relatados por estos últimos autores en los especialistas todo terreno ($78,9 \pm 1,9$ ml/kg/min⁻¹), en los especialistas contrarreloj ($79,2 \pm 1,1$ ml/kg/min⁻¹), y en los especialistas escaladores ($80,9 \pm 3,9$ ml/kg/min⁻¹).

La correlación positiva entre $VO_{2\max}$ y W_{\max} de los ciclistas estudiados está en consonancia con los hallazgos de Lee et al. (2002) que evidenciaron la relación lineal entre la potencia de pedaleo y el consumo de oxígeno en ciclistas profesionales de carretera y ciclistas de mountain bike, y también con el uso del W_{\max} como predictor del $VO_{2\max}$ que realizan Hawley and Noakes (1992) a través de la ecuación $VO_{2\max} = 0,01141 \cdot W_{\max} + 0,435$ en ciclistas entrenados.

Los resultados muestran que el parámetro DM del BF correlaciona de forma positiva con ambos potenciales indicadores del rendimiento. El BF se activa junto con la musculatura extensora de la rodilla para facilitar la acción del pedaleo entre los 45° y los 180° (Hug and Dorel, 2009). Esta situación se produce en los movimientos circulares rítmicos de la pierna, donde los músculos extensores de la rodilla actúan conjuntamente con sus antagonistas, en una acción concéntrica, que favorece la extensión de cadera. Esta activación de los flexores, que aparece en la parte final de esta fase, propiciará que al acercarse a los 180°, se faciliten las condiciones necesarias para la elevación del pedal. En concreto, la cabeza larga del BF, que ha sido la evaluada con TMG, está involucrada tanto en la extensión de la cadera como en la flexión de rodilla, dada su condición de músculo biarticular.

El hecho de que sea el DM del RF (extensor de rodilla y flexor de cadera) el otro músculo que haya obtenido una correlación con el VO_{2max} , sugiere que la misión asignada a estos músculos biarticulares en el pedaleo, recogida en el trabajo de Hug and Dorel (2009): contribuir a la estabilidad articular, o a la transferencia de energía entre articulaciones en momentos críticos dentro del ciclo de pedaleo, y en el control de la dirección en el pedal de la fuerza producida, podría resultar fundamental para conseguir unos buenos valores de VO_{2max} y W_{max} y por tanto poder llegar a obtener una mejora del rendimiento deportivo.

Estos resultados sugieren que la evaluación y control del DM, es decir, del tono muscular y la sección transversal del vientre muscular y del tendón, de los BF y de los RF de los ciclistas profesionales, puede ser relevante para realizar el seguimiento de su estado de forma y su nivel de rendimiento deportivo. No obstante, el TC no parece ser relevante en este caso, aunque su relación con la distribución de los diferentes tipos de fibras determinados por método histoquímico, a través de biopsia (Dahmane et al., 2001; Dahmane et al., 2005; Šimunič et al., 2011) mostrase a priori lo contrario, sobre todo en el músculo VL, ya que la eficacia necesaria en el pedaleo durante el esfuerzo prolongado parece ser posible debido al mayor porcentaje de fibras tipo I que se encuentran en el VL, que estaría asociado con un bajo consumo de oxígeno submáximo lo que aumentaría de forma considerable la eficacia (Faria et al., 2005). Esta eficacia sería el reflejo de aumentar el metabolismo aeróbico y la potencia del músculo.

En este sentido, no resulta explicada de forma definitiva la relación que hay entre los parámetros de la TMG y los potenciales indicadores del rendimiento de los ciclistas profesionales. Tal y como señalan Lucía, Hoyos, Pardo and Chicharro (2000) existe un aumento a lo largo de la temporada del reclutamiento de unidades motoras en los músculos activados, es decir se producen adaptaciones neuromusculares, por lo que sería necesario realizar un seguimiento a lo largo de toda la temporada para determinar cómo varía la relación entre los parámetros TMG y los potenciales indicadores del rendimiento. Para comprender estas posibles relaciones es necesario asumir

que se está tratando de relacionar el resultado de una prueba involuntaria, estática, en condiciones isométricas y con una duración muy pequeña, con otras voluntarias y dinámicas, que exigen continuas contracciones isotónicas a lo largo de un tiempo prolongado. Por todo ello parece necesario seguir contrastando la relación entre los parámetros de TMG y potenciales indicadores del rendimiento de los ciclistas profesionales.

Por otro lado también sería interesante estudiar otros grupos musculares que participan en la cadena cinética del pedaleo, y utilizar la potencia alcanzada por separado en cada pierna para buscar relaciones más específicas, ya que las asimetrías de potencia de pedaleo entre ambas piernas pueden tener lugar en los ciclistas de elite (Swart, Tucker, Lamberts, Albertus-Kajee, and Lambert, 2008) y parece que son altamente variables según los sujetos y sus características (Smak, Neptune and Hull, 1999).

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que el DM puede ser un parámetro relevante del estado de los músculos de los ciclistas, y también sugieren la confirmación del importante rol que los músculos biarticulares BF y RF tienen en el pedaleo de los ciclistas profesionales, ya que, en los ciclistas de esta muestra, este parámetro en estos músculos ha mostrado estar relacionado con potenciales indicadores del rendimiento deportivo como son VO_{2max} y W_{max} .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dahmane, R., Valenčič, V., Knez, N. and Erzen, I. (2001). Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 39(1), 51-55.
- Dahmane, R., Djordjevič, S., Šimunič, B. and Valenčič, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle: histochemical and tensiomiographical evaluation. *Journal of Biomechanics*, 38(12), 2451-2459.
- Delagi, E.F., Perotto, A., Lazzeti, J. and Morrison, D. (1975). *Anatomic guide for the electromyographer: the limbs*. Springfield: Charles C. Thomas
- Faria, E.W., Parker, D.L. and Faria, I.E. (2005). The science of cycling: physiology and training. *Sports Medicine*, 35(4), 285-312.
- García-García, O., Hernández-Mendo, A., Serrano-Gómez, V., Morales-Sánchez, V. (2013). Aplicación de la teoría de la generalizabilidad a un análisis de tensiomiografía en ciclistas profesionales de ruta. *Revista de Psicología del Deporte*, 22(1), 53-60.
- Hawley, J.A. and Noakes, T.D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 65, 79-83.
- Hug, F. and Dorel, S. (2009). Electromyographic analysis of pedaling: A review. *J Electromyogr Kinesiol*, 19, 182-199.

- Krizaj, D., Šimunič, B. and Zagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4), 645-651.
- Lee, H., Martin, D.T., Anson, J.M., Grundy, D. and Hahn, A.G. (2002). Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *Journal of Sport Sciences*, 20, 1001-1008.
- Lucía, A., Hoyos, J., and Chicharro, J.L. (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Med*, 31(5), 325-337.
- Lucía, A., Hoyos, J., Pardo, J., and Chicharro, J.L. (2000). Metabolic and Neuromuscular adaptations to endurance training in professional Cyclist: a longitudinal study. *Jpn J Physiol*, 50, 381-388.
- Mujika, I. and Padilla, S. (2001). Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports Med*, 31(7), 479-487.
- Padilla, S., Mujika, I., Cuesta, G., Polo, J.M. and Chatard, J.C. (1996). Validity of a velodrome test for competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 73, 446-451.
- Padilla, S., Mujika, I., Cuesta, G. and Goiriena, J.J. (1999). Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 31, 878-885.
- Pišot, R., Kerševan, K., Djordjevič, S., Medved, V., Završnik, J. and Šimunič, B. (2004). Differentiation of skeletal muscles in 9-year-old-children. *Kinesiology*, 36, 90-97.
- Pišot, R., Narici, M.V., Šimunic, B., De Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., Biolo, G. and Mekjavic, I.B. (2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *European Journal of Applied Physiology*, 104(3), 409-414.
- Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruíz, D., Quiroga, M.E., Sarmiento, S., De Saa, Y. y García-Manso, J.M. (2010a). Tensiomiografía, utilidad y metodología en la evaluación muscular. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 10(40), 620-629.
- Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., Vaamonde, D., Silva-Grigoletto, M.E. y García-Manso, J.M. (2010b). Reproducibility of muscle response measurements using tensiomyography in a range of positions. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 3(3), 81-86.
- Sassi, A., Impellizzeri, F.M., Morelli, A., Menaspá, P. and Rampinini, E. (2008). Seasonal changes in aerobic fitness indices in elite cyclists. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 33, 735–742.
- Šimunič, B., Degens, H., Rittweger, J., Narici, M.V., Mekjavic, I.B. and Pišot, R. (2011). Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 43, 1619-1625.
- Smak, W., Neptune, R.R. and Hull, M.L. (1999). The influence of pedaling rate on bilateral asymmetry in cycling. *Journal of Biomechanics*, 32(9), 899-906.
- Swart, J., Tucker, R., Lamberts, R.P., Albertus-Kajee, Y. and Lambert, M.I. (2008). Potential causes of chronic anterior knee pain in a former winner of the Tour de France. *International SportMed Journal*, 9(4), 162-171.

- Tous-fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Moreno, D. and Maffioletti, N.A. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4), 761-766.
- Valenčič, V. and Djordjevič, S. (2001). Influence of acute physical exercise on twitch response elicited by stimulation of skeletal muscles in man. *Biomedical Engineering*, 2, 1-4.
- Valenčič, V., Knez, N. and Šimunič B. (2001). Tenziomyography: detection of skeletal muscle response by means of radial muscle belly displacement. *Biomedical Engineering*, 1, 1-10.

Referencias totales / Total references: 25 (100%)

Referencias propias de la revista / Journal's own references: 1 (4%)