



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2010;3(3):98-102

www.elsevier.es/ramd



Revisión

La tensiomiografía como herramienta de evaluación muscular en el deporte

J.M. García-Manso^a, D. Rodríguez-Matoso^a, S. Sarmiento^a, Y. De Saa^a; D. Vaamonde^b, D. Rodríguez-Ruiz^a
y M.E. Da Silva-Grigoletto^c

^aLaboratorio de Análisis y Planificación del Entrenamiento Deportivo. Departamento de Educación Física de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. España.

^bDepartamento de Ciencias Morfológicas. Facultad de Medicina de la Universidad de Córdoba. Córdoba. España.

^cCentro Andaluz de Medicina del Deporte. Córdoba. España.

Historia del artículo:

Recibido el 28 de julio de 2009

Aceptado el 22 de octubre de 2009

Palabras clave:

Tensiomiografía.

Evaluación muscular.

Entrenamiento deportivo.

Key words:

Tensiomyography.

Centralité properties.

Sport training.

RESUMEN

La tensiomiografía (TMG) es un método desarrollado en la década de los 90 para poder realizar valoración muscular de forma no invasiva. Dicha tecnología, originalmente ideada para aplicaciones médicas, se ha introducido en el campo deportivo en el cual se muestra promisorio por ser una técnica fiable y relativamente fácil. Ya que su utilización en el ámbito deportivo es relativamente reciente, a nuestro saber, no existen en la literatura artículos de revisión que puedan recoger y aclarar aspectos importantes de la misma. Por tanto, el objetivo del presente trabajo es recoger y presentar algunos de los aspectos más relevantes para facilitar la utilización de esta herramienta a aquellas personas que decidan emplearla entre sus elementos de control del entrenamiento. Se tratarán aspectos esenciales tales como las ventajas y aplicaciones que proporciona; la explicación del procedimiento de medición; los aspectos que se deben considerar para realizar una evaluación correcta y los criterios para explicar y analizar la información proporcionada.

© 2009 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Tensiomyography as muscle evaluation tool in sports

Tensiomyography (TMG) is a method developed in the 1990s in order to perform non-invasive muscle evaluation. Such technology, designed first for medical applications, has been introduced in the sports field in which is shown as a very promising technique since it is reliable and relatively easy to use. Since its use in the sports field is relatively recent, no review articles are found, to the best of our knowledge, in the literature providing clarification on some important aspects of the technique. Thus, the objective of the present work is to recapitulate and present some of the most relevant factors to ease the use of this tool for those who decide to put it among their training control elements. The paper deals with essential aspects such as advantages and applications it enables; explanation on the measurement procedure; aspects to consider for a correct assessment, and criteria for correctly explaining and analyzing the obtained information.

© 2009 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

J.M. García-Manso.

Campus Universitario de Tafira, s/n.

Edificio de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

35017 Las Palmas de Gran Canaria. Gran Canaria.

Correo electrónico: jgarcia@def.ulpgc.es

Introducción

Una de las claves del éxito en la preparación de un deportista pasa por el control de las cargas de entrenamiento y de los efectos que estas provocan en su organismo¹. En consecuencia, los técnicos deportivos buscan y desarrollan herramientas y protocolos que puedan ser de utilidad y aplicabilidad a su modalidad deportiva².

La tensiomiografía (TMG) es un método de valoración muscular desarrollado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Ljubliana (Eslovenia) para fines médicos pero que, en los últimos años, es utilizada en el campo deportivo de forma cada vez más frecuente y efectiva. Mide, en condiciones isométricas, la deformación radial del vientre muscular cuando es activada por un estímulo eléctrico de intensidad controlada³⁻¹².

Basados en la literatura disponible, según nuestra opinión, existe escasa información científica sobre la utilización de la TMG. Más aún, creemos que esta podría ser la primera revisión, enfocada a la utilización en el ámbito deportivo, de esta herramienta de trabajo. Dado el número de factores relacionados con la aplicación de la técnica, nuestro objetivo es exponer varios de ellos. Así pues, la revisión recogerá los siguientes apartados: a) análisis del método respecto a sus ventajas y aplicaciones; b) explicación detallada de cómo se lleva a cabo el procedimiento de medición; c) resaltar los aspectos metodológicos importantes que hay que tener en cuenta para una evaluación correcta y la manera adecuada de abordarlos y d) cómo explicar y analizar la información que proporciona.

Ventajas y aplicaciones del método

Frente a otras metodologías como la electromiografía, la presoterapia muscular, etc., la TMG se presenta como una herramienta de alta precisión ($\leq 4 \mu\text{m}$)¹⁰⁻¹⁶ para evaluar estructuras musculares. Entre las posibilidades que ofrece esta herramienta destacan:

- 1) La evaluación muscular mediante TMG sigue un protocolo rápido que no requiere la realización de ningún esfuerzo físico al sujeto evaluado. Es decir, se desarrolla sin provocar fatiga ni alterar las rutinas programadas en el entrenamiento del deportista.
- 2) Es una herramienta inocua, no agresiva ni invasiva, en la que el evaluado sólo es sometido a estimulaciones eléctricas de moderada o baja intensidad (de 1 a 110 mA).
- 3) Permite evaluar, de forma individual, todos los músculos superficiales. Se responde así a las demandas específicas de la modalidad deportiva o a las necesidades puntuales del deportista.
- 4) Da información sobre la respuesta aguda y crónica del músculo a las distintas cargas de entrenamiento (fuerza, resistencia, velocidad, flexibilidad, etc.) con independencia de sus características internas, su estado de entrenamiento o de su nivel de aplicación (descansado, fatigado, activado, etc.).
- 5) Es útil para el control de aspectos relacionados con las características morfológicas y funcionales de las estructuras musculares analizadas. Entre los factores más relevantes que podemos analizar con esta metodología destacan: a) las características histoquímicas del tipo de fibra dominante en el músculo^{4,7,11,12}; b) el estado de fatiga neural o estructural^{10,11,17-21}; c) la activación muscular^{4,8,11,19,22-25}; d) el tono muscular^{3,7,8,15,26-28}; e) las propiedades contráctiles del músculo^{4,6,7,9-12,24,29-35} y f) el balance muscular^{17,20,25}.

Procedimiento de medición

La TMG utiliza un sensor mecánico de alta precisión colocado directamente sobre la piel a una presión constante y preestablecida para cada protocolo (0,7-0,8 N/mm²). Este sensor debe estar colocado perpendicularmente al vientre muscular y orientado hacia su potencial desplazamiento (fig. 1). De esta forma aseguramos que se detectan mínimas modificaciones del grosor de un músculo cuando realiza una contracción involuntaria y ajustada a la intensidad del estímulo eléctrico que la provoca.

La contracción responde a una corriente eléctrica bipolar, de un milisegundo de duración, de intensidad constante o creciente según el protocolo utilizado. El estímulo eléctrico llega al músculo a través de dos electrodos situados en los extremos proximal y distal del músculo evaluado tratando de no afectar a los tendones de inserción^{10,29,36}.

Principales aspectos metodológicos que deben ser tenidos en cuenta para una evaluación correcta

La posibilidad de lograr una buena medición con TMG pasa por cumplir una serie de criterios metodológicos que, de no hacerlo, afectarían a los valores de magnitud y modo en que se produce de la deformación. Los aspectos más importantes en la evaluación son:

- 1) Posición de los segmentos que se van a evaluar: cambios en la posición de los segmentos cambian el ángulo de la articulación y modifican la respuesta^{14,31,37}.

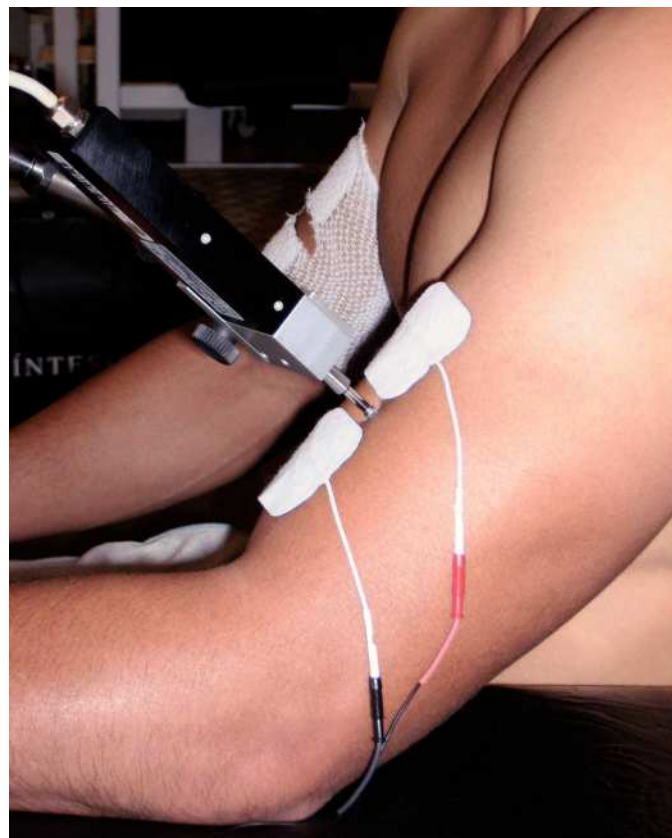


Fig. 1. Ejemplo de colocación del sensor y los electrodos para la evaluación de la porción externa del bíceps braquial.

- 2) Punto de colocación del sensor: el sensor debe estar colocado en la posición más prominente del vientre muscular y en el punto medio entre los dos electrodos por los que recibe el estímulo eléctrico. Sólo en condiciones especiales, y por necesidades de la evaluación, el punto de colocación del electrodo puede modificarse, pero teniendo en cuenta que ello puede afectar a la magnitud de la deformación²¹ del vientre muscular (D_m).
- 3) Recuperación entre cada estímulo: en el caso de que se empleen descargas incrementales hasta alcanzar el máximo valor de D_m , es necesario espaciar cada estimulación para evitar el fenómeno de activación post-tetánica^{10,13,21}. Por tal motivo, en ocasiones como las de evaluación pre- y postintervención, puede resultar beneficioso comparar la respuesta muscular a estímulos previamente establecidos.
- 4) Fatiga muscular: salvo en las ocasiones en las que se quiera evaluar este factor, debemos tener en cuenta que la fatiga supone un elemento distorsionador de la contracción muscular^{10,11,18,20,21}. Además, repeticiones múltiples de un músculo sin tener en cuenta tiempos de recuperación adecuados, pueden provocar estados de fatiga local que podrían afectar a la respuesta.
- 5) Fijación de los segmentos: la evaluación debe corresponder a una contracción isométrica, por lo que no fijar el segmento evaluado puede generar una contracción isométrica que afecta al valor de D_m .
- 6) Temperatura muscular: la experiencia nos muestra que caídas importantes de la temperatura del músculo reducen los valores de velocidad de contracción y deformación, a la vez que tienden a incrementar los valores de mantenimiento de la contracción y tiempo de relajación (fig. 2).

Información que proporciona

La magnitud de estos cambios y el tiempo en el que se producen nos permiten obtener información sobre las características mecánicas y la capacidad contráctil de los músculos superficiales. Aunque el *software* del aparato suministra datos sobre parámetros como la magnitud del desplazamiento radial o D_m , tiempo de respuesta o latencia (T_d), tiempo de contracción (T_c), tiempo de mantenimiento de la contracción (T_s) y tiempo de relajación (T_r) bajo criterios estandarizados e individualizados a cada contracción (fig. 3), la utilización de los valores brutos de cada señal nos permite disponer de valores interesantes para la evaluación y caracterización de grupos deportivos y añadir otras variables entre las que destaca la velocidad de contracción (V_c).

La *deformación máxima* (D_m) viene dada por el desplazamiento radial del vientre muscular expresado en milímetros. Representa y evalúa el *stiffness* muscular, que varía en cada sujeto por cada grupo muscular en función de sus características morfofuncionales y de la forma en que esas estructuras han sido entrenadas. Valores bajos nos indican un elevado tono muscular y un exceso de rigidez en las estructuras del músculo, mientras que valores elevados indican falta de tono muscular o elevada fatiga^{7,8,15}. El tiempo de respuesta o activación (T_d), representa el tiempo que tarda la estructura muscular analizada en alcanzar el 10% del desplazamiento total observado, tras una estimulación. Su valor dependerá del tipo de fibra dominante en esa estructura, de su estado de fatiga y de su nivel de potenciación y activación¹¹. El tiempo de contracción (T_c) es el tiempo que transcurre desde que finaliza el tiempo de reacción (10% de D_m) hasta que alcanza el 90% de la deformación máxima. El tiempo de sustentación (T_s), representa el tiempo que se mantiene la contracción. Se calcula determinando el tiempo que transcurre desde

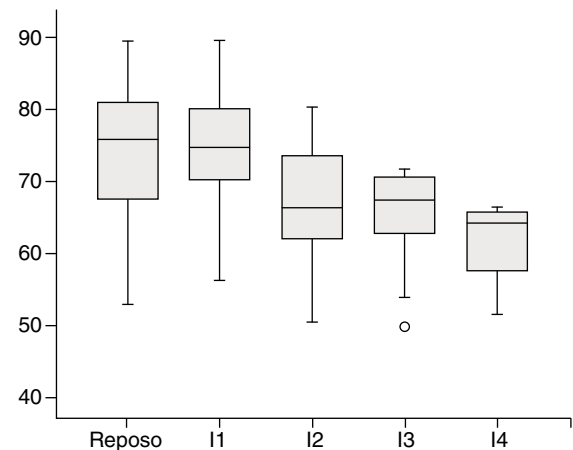


Fig. 2. Evolución de la velocidad de contracción en 12 jugadores profesionales de fútbol antes y después de cuatro inmersiones de las piernas en una pileta de agua fría (4 °C). (Datos propios aún no publicados). I: inmersión.

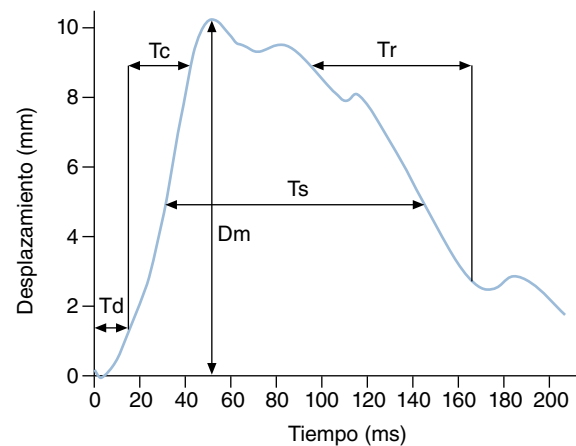


Fig. 3. Gráfica de la respuesta muscular a un estímulo eléctrico obtenida mediante tensiomiografía (TMG9, en el biceps femoral de un jugador de voleibol) a una amplitud de 110 mA y una duración de 1 ms. Donde D_m representa la deformación muscular máxima, T_d el tiempo de reacción al estímulo, T_c es el tiempo de contracción y viene representado por el intervalo que se produce entre el 10 y 90% del desplazamiento. T_s indica el tiempo de mantenimiento de la contracción y T_r representa el tiempo de relajación.

que la deformación alcanza el 50% de su valor máximo hasta que los valores de deformación, durante la relajación, vuelven a valores de un 50% de la deformación máxima. El tiempo de relajación (T_r) aporta información sobre los niveles de fatiga, de forma que valores elevados de este parámetro, respecto a los normales para el sujeto evaluado, indican potenciales estados de fatiga.

Sin embargo, los valores de estos parámetros, que por defecto da el *software* del aparato, no siempre resultan útiles para una correcta evaluación de un deportista. Debemos tener en cuenta que el *software* se desarrolla fundamentalmente para la evaluación de balances y simetrías o asimetrías musculares que, indudablemente, son de gran utilidad para el técnico deportivo, especialmente desde el punto de vista profiláctico o preventivo.

A nuestro entender, en ocasiones es mejor exportar los valores brutos de la señal obtenida y trabajar sobre ellos. De esta forma, nosotros establecemos un protocolo en el que modificamos los datos de T_d y añadi-

mos el parámetro Vc (fig. 4). Así mismo se podrían crear índices y valores de referencia de acuerdo a las necesidades de cada modalidad deportiva.

Habitualmente nosotros determinamos el parámetro de Td en el momento en el que Dm alcanza un valor fijo de 0,5 mm con independencia del sujeto (tiempo de muestreo: 1 dato cada 0,5 ms) y el estado en el que se realiza la evaluación. El parámetro Vc lo determinamos a partir del tiempo y la deformación cuando esta última alcanza un valor de 1,5 mm. Otra posibilidad es dividir Dm/t entre el 10% y el 90% de Dm para determinar la velocidad de contracción. No obstante, estos valores de referencia, respecto a la deformación, quedarían sujetos a las características del músculo, su estado o las peculiaridades de la muestra de estudio.

La utilidad de los valores de Vc es muy elevada en el deporte y permite, entre otras cosas, discriminar perfiles de jugadores, estimar de forma indirecta fibras dominantes en una estructura muscular o niveles de activación y fatiga durante un entrenamiento (fig. 5).

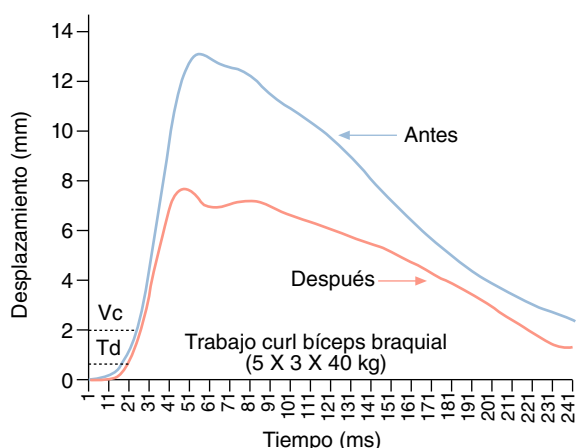


Fig. 4. Ejemplo de dos contracciones del bíceps braquial de un mismo sujeto antes y después de realizar cinco series de tres repeticiones de curl de bíceps con 40 kg.

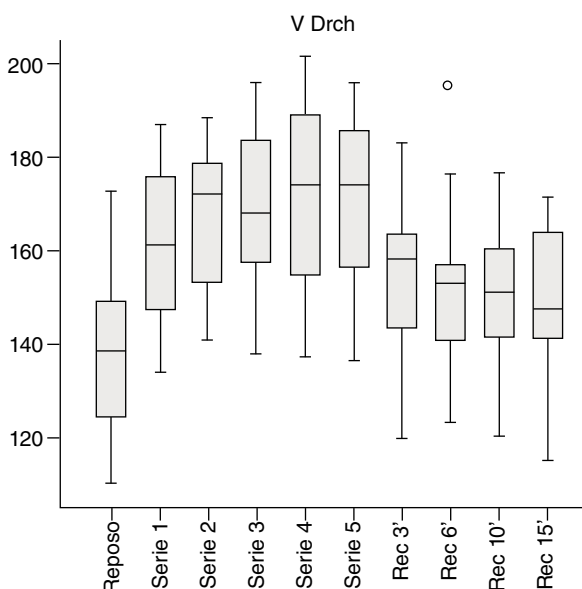


Fig. 5. Evolución de Vc del bíceps braquial derecho en 16 estudiantes de educación física durante la ejecución, y posterior recuperación, de un curl de bíceps con barra plana (5 x 15 x 15 kg)²¹.

Recomendaciones finales

En conclusión, entendemos que, por su sencillez, inocuidad y aplicabilidad, se puede considerar la TMG se como una herramienta válida y fiable, que proporciona una importante cantidad de información para el control de los deportistas y del efecto que proporcionan las cargas de entrenamiento a sus estructuras musculares.

Como recomendación final, y con la intención de lograr optimizar al máximo el potencial de esta herramienta, consideramos necesario conocer detalladamente los procedimientos de medición, por lo que recomendamos a los usuarios seguir escrupulosamente los protocolos que se establecen para cada evaluación, para evitar errores en la estimación de los valores y la apreciación de los resultados.

Bibliografía

- García-Manso JM, Campos J, Lizaar P, Abella CP. El talento deportivo. Formación de élites deportivas. Madrid: Gymnos; 2003.
- García-Manso JM, Navarro-Valdivieso M, Ruiz-Caballero J. Pruebas para la valoración de la capacidad motriz en el deporte. Madrid: Gymnos; 1996.
- Valenčič V. Direct measurement of the skeletal muscle tonus. Advances in external control of human extremities. Nauka, Belgrado. 1990.
- Valenčič V, Knez N. Measuring of the skeletal muscles dynamic properties. Artific Org. 1997;21:240-2.
- Dahmane R, Valenčič V, Knez N, Erzen I. Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response. Med Biol Eng Comput. 2000;38:51-5.
- Valenčič V, Djordjevič S, Knez N, Dahmane R, Coh M, Jurcic-Zlobec B, et al. Proceedings of Pre-Olympic Congress; 2000 Sept 7-12; Brisbane, Australia. Sport Medicine; 2000. p. 507.
- Dahmane R, Valenčič V, Knez N, Erzen I. Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response. Med Biol Eng Comp. 2001;38:51-6.
- Valenčič V, Knez N, Simunic B. Tensiomyography: detection of skeletal muscle response by means of radial muscle belly displacement. Biomed Eng. 2001;1:1-10.
- Pisot R, Valenčič V, Simunic B, Praprotnik U. Proceedings of International Sports Medicine Conference; 2001 Sept; Trinity College Dublin, Dublín. 2001. p. 176-7.
- Simunic B. Modelling of longitudinal and transversal skeletal muscle belly deformation [tesis doctoral]. Facultad de Ingeniería Eléctrica: Ljubljana, Eslovenia. 2003.
- Dahmane R, Djordjevič S, Simunic B, Valenčič V. Spatial fiber type distribution in normal human muscle histochemical and tensiomyographical evaluation. J Biomech. 2005;38(12):2451-9.
- Dahmane R, Djordjevič S, Smerdu, V. Adaptive potential of human biceps femoris muscle demonstrated by histochemical, immunohistochemical and mechanomyographical methods. Med Biol Eng. Comput. 2006;44(11): 999-1006.
- Belic A, Knez N, Karba R, Valenčič V. Validation of the human muscle model. Proceedings of the 2000 Summer Computer Simulation Conference. Session 1: Issues on Whole Body Modeling; 2000 Jul 16-20; Vancouver, Canadá. 2000.
- Simunic B, Valencia V. Proceedings of X Electrochemical and Computer Science Conference. IEEE Region 8, Slovenian Section IEEE; 2001 Sept 24-26; Portoroz, Eslovenia. 2001. Vol. B. p. 363-6.
- Krizaj D, Simunic B, Zagar T. Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. J Electromyogr Kinesiol. 2008;18:645-51.
- Rodríguez-Matoso D, Quiroga M, Da Silva M, Bautista P, Sarmiento S, García-Manso JM. Evaluación de la reproducibilidad del TGM-BCM. II Congreso Internacional de Ciencias del Deporte. El deporte a la luz de los sistemas complejos. "El deporte a la luz de los sistemas complejos". Universidad Católica San Antonio de Murcia; 2009 del 27 al 29 de mayo. 2009.
- García-Manso JM, Rodríguez-Ruiz D, Rodríguez-Matoso D, de Saá Y, Sarmiento S, Quiroga ME. Assessment of muscle fatigue after an ultraendurance triathlon using Tensiomyography (TMG). J Sport Sci. (In press).
- Kerševan K, Valencia V, Knez N. Fatigue proces of type I and Type II muscle fibers. Proceedings of 7^a Vienna International Workshop on Functional Electrical Stimulation. Department of Biomedical Engineering and Physics University; 2001 Sept 12-15; Viena, Austria. 2001. p. 106-9.
- Kerševan K. Comparison of biomechanical and myoelectrical biceps brachii response in men [master thesis]. Faculty of Electrical Engineering. Ljubljana, Eslovenia. 2002.

20. Rodríguez-Ruiz D, Quiroga ME, Rodríguez-Matoso D, Sarmiento S, Losa J, de Saá Y, et al. Aplicación de la tensiomiografía (TMG) en jugadores de voleibol. Estudio de caso. III Congreso Internacional Virtual-presencial de Investigación en la Actividad Física y el Deporte; 2009 octubre; Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad del País Vasco; 2009.
21. Rodríguez-Matoso D, Rodríguez-Ruiz D, Sarmiento S, de Saá Y, Martín-González JM, García-Manso JM. Efecto de la fatiga sobre el comportamiento mecánico muscular tras un entrenamiento intensivo de fuerza. III Congreso Internacional de Ciencias del Deporte y la Educación Física Universidad de Vigo y Sportis; Formación Deportiva; 2010 del 6 al 9 de mayo. Vigo; 2010.
22. Knez N, Valenčič V, Godina N, Djordjević S. Non-invasive measurement of muscle tension and its relevance in sport. Sport kinetic 1999: theories of human motor performance and their reflections in practice: book of abstracts. 1999.
23. Grabljevec K, Simunic B, Kersevan K, Krizaj D, Kosorok V, Gregoric M. Detection of contractile properties of chronically spastic muscles in subjects after traumatic brain injury with tensiomyography (TMG) method. Rehabilitation sciences in the new millennium challenge for multidisciplinary research: collection of works presented at the 8th congress of European federation for research in rehabilitation. Ljubljana, Slovenia. 2004. p. 139-43.
24. Quiroga ME, Rodríguez Ruiz D, Rodríguez Matoso D, Sarmiento S, Losa AJ, de Saá Y, et al. Evaluación de la musculatura flexo-extensora de la rodilla mediante la tensiomiografía. I Congreso de Ciencias de Apoyo al Rendimiento Deportivo. Consell Valencià de l'Esport de la Conselleria de Cultura i Esport y la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte de la Universitat de València. Valencia: Editorial Alto Rendimiento. Colección Congresos; 2009.12.
25. Quiroga ME, Rodríguez-Ruiz D, Rodríguez-Matoso D, Sarmiento S, Losa J, de Saá Y, et al. Evaluación de las características mecánicas del músculo mediante la tensiomiografía. Estudio de casos. VIII Congreso Internacional sobre Entrenamiento en Voleibol; 2009 octubre del 10 al 12; Valladolid: Junta de Castilla y León; 2009.
26. Kogovsek, 1991.
27. Burger H, Valenčič V, Marincek C, Kogovsek N. Properties of musculus gluteus maximus in above-knee amputees. Clin Biomech. 1996;11(1):35-8.
28. Hunter AM, Smith IJ, Watt JM, Yirrell Ch, Galloway SD. The Effect of Massage on Force Production and Tensiomyography. Med Sci Sports Exe. 2006; 38(5):S27.
29. Knez N, Valenčič V. Influence of impulse duration on skeletal muscle belly response. Proceedings of IX Electrochemical and Computer Science Conference; 2000 Sept 21-23; Portoroz, Eslovenia. 2000.
30. Praprotnik U, Valenčič V, Coh M, Djordjević S, Knez N, Simunic B, et al. Proceedings of the ninth Electrochemical and Computer Science Conference ERK. Ljubljana: IEEE Region 8, Slovenian section IEEE; 2000 Sept 21-23; Portoroz, Slovenia. 2000. Vol. B. p. 313-6.
31. Djordjević S, Valenčič V, Knez N, Dahmane R, Jurcic-Zlobec B, Bednarik J, et al. Contractile properties of skeletal muscles of two groups of sportsmen-sprinters and cyclist measured by Tensiomyography. 2000 Pre-Olympic Congress. Brisbane, Australia. Abstract 220.
32. Pisot R, Valenčič V, Simunic B. Influence of biomechanical properties of particular skeletal muscles on child motor development. Ann Ser Hist Nat. 2002;12:99-106.
33. Simunic B, Rozman S, Pisot R. Detecting the velocity of the muscle contraction. III International Symposium of New Technologies in Sport, Sarajevo. 2005.
34. Pisot R, Narici MV, Simunic B, De Boer M, Seynnes O, Jurdana M, et al. Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. Eur J Appl Physiol. 2008;140:409-14.
35. Rusu L, Calina ML, Avramescu ET, Paun E, Vasilescu M. Neuromuscular investigation in diabetic polyneuropathy. Rom J Morphol Embriol. 2009; 50(2):283-90.
36. Rodríguez-Matoso D, Rodríguez-Ruiz D, Sarmiento S, Vaamonde D, da Silva-Grigoletto ME, García-Manso JM. Reproducibilidad a corto plazo de la respuesta muscular mediante tensiomiografía. Rev Andal Med Dep. En prensa.
37. Gorelick ML, Brown JM. Mechanomyographic assessment of contractile properties within seven segments of the human deltoid muscle. Eur J Appl Physiol. 2007;100(1):35-44.