

Benítez Jiménez, A.; Fernández Roldán, K.; Montero Doblas, J.M. y Romacho Castro, J.A. (2013) Fiabilidad de la tensiomiografía (tmg) como herramienta de valoración muscular / Reliability of tensiomyography (tmg) as a muscle assessment tool. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 13 (52) pp. 647-656. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista52/artfiabilidad398.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista52/artfiabilidad398.htm)

ORIGINAL

FIABILIDAD DE LA TENSIOMIOGRAFÍA (TMG) COMO HERRAMIENTA DE VALORACIÓN MUSCULAR

RELIABILITY OF TENSIOMIOGRAPHY (TMG) AS A MUSCLE ASSESSMENT TOOL

Benítez Jiménez, A.¹; Fernández Roldán, K.²; Montero Doblas, J.M.³ y Romacho Castro, J.A.⁴

¹ Departamento Educación Física y Deporte, Universidad de Sevilla, España, abeji_88@hotmail.com

² Departamento Educación Física y Deporte, Universidad de Sevilla, España, kevferrol@gmail.com

³ Departamento Educación Física y Deporte, Universidad de Sevilla, España, jmmontero7@gmail.com

⁴ Departamento Educación Física y Deporte, Universidad de Sevilla, España, jromachocastro@gmail.com

Código UNESCO / UNESCO code: 2406.04 Biomecánica / Biomechanics

Clasificación del Consejo de Europa / Council of Europe classification: 3. Biomecánica del deporte / Biomechanics of sport

Recibido 1 de julio de 2011 **Received** July 1, 2011

Aceptado 8 de octubre de 2013 **Accepted** October 8, 2013

RESUMEN

La tensiomiografía (TMG) es una innovadora técnica creada para evaluar las características de la contracción muscular de forma no invasiva. El objetivo del presente estudio es comprobar la fiabilidad de la TMG como método de valoración muscular en el recto femoral (RF) y el gastrocnemio medial (GM).

La TMG se utilizó para medir el desplazamiento del vientre muscular tras la aplicación de un estímulo eléctrico en 32 sujetos. Los parámetros medidos fueron: desplazamiento muscular máximo (Dm), tiempo de reacción (Td), tiempo de contracción (Tc), tiempo de mantenimiento de la contracción (Ts) y tiempo de relajación (Tr). Los resultados mostraron alta correlación en los

parámetros del RF y del GM, exceptuando el Tr del GM, lo que demuestra que la TMG es un método fiable de valoración muscular.

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que la TMG es un método fiable de valoración muscular, si bien el protocolo es fundamental, porque produce diferencias en la respuesta muscular, como ocurrió en nuestro caso respecto a otras investigaciones.

PALABRAS CLAVE: Tensiomiografía, fiabilidad, recto femoral, gastrocnemio medial.

ABSTRACT

Tensiomyography (TMG) is an innovative technique designed to evaluate the characteristics of muscle contraction in a non-invasive. The aim of this study is to test the reliability of the TMG in the measurement of contractile properties of the rectus femoris and medial gastrocnemius.

The TMG was used to measure the muscle belly displacement following the application of electrical stimulation in 32 healthy subjects. The parameters measured were: maximal muscular displacement (Dm), delay time (Td), contraction time (Tc), sustain contraction time (Ts), and relaxation time (Tr). After the analysis of intraclass correlation coefficient (ICC), there was high correlation in the parameters of the rectus femoris and medial gastrocnemius, except the medial gastrocnemius Tr.

According to the results we can conclude that the TMG is a reliable method as muscle assessment tool, even though the protocol is essential, because it produces differences on the muscle response, as happened in our case regarding other researches.

KEYWORDS: Tensiomyography, reliability, rectus femoris, medial gastrocnemius.

INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años se ha estudiado la respuesta muscular, empleando para ello numerosas técnicas entre las que podrían destacarse la resonancia magnética nuclear, la actividad electromiográfica e incluso métodos invasivos como las biopsias, con objeto de analizar la relación entre las propiedades contráctiles e histológicas de los músculos (Harber et al., 2008).

En la década de los 90 aparece la tensiomiografía (TMG), una innovadora técnica desarrollada por el profesor Valenčič, que empieza a emplearse hace unos diez años en la evaluación de deportistas (Rodríguez-Matoso et al., 2010). Se creó como un método de evaluación no invasivo

utilizado para valorar la capacidad contráctil de los músculos superficiales (Dahmane et al., 2000; Rodríguez-Matoso et al., 2010). Mide el desplazamiento radial máximo que tiene lugar en el vientre muscular cuando se produce una contracción generada por un estímulo eléctrico externo (Valenčič et al., 2001; Tous-Fajardo et al., 2010; Rodríguez-Matoso et al., 2010). Es decir, al inducir este estímulo, el vientre muscular sufre cambios geométricos (deformación radial transversal) (Rodríguez-Matoso et al., 2010), que se miden a través de un transductor digital (punta del sensor), que presiona la piel por encima del músculo (Tous-Fajardo et al., 2010). Como consecuencia de la respuesta muscular a ese estímulo, la TMG ofrece información sobre diferentes parámetros (Figura 1): desplazamiento radial (Dm), tiempo de respuesta (Td), tiempo de contracción (Tc), tiempo de mantenimiento de la contracción (Ts) y tiempo de relajación (Tr) (Križaj, Šimunič y Žagar, 2008; García Manso et al., 2009; García Manso et al., 2010; Tous-Fajardo et al., 2010).

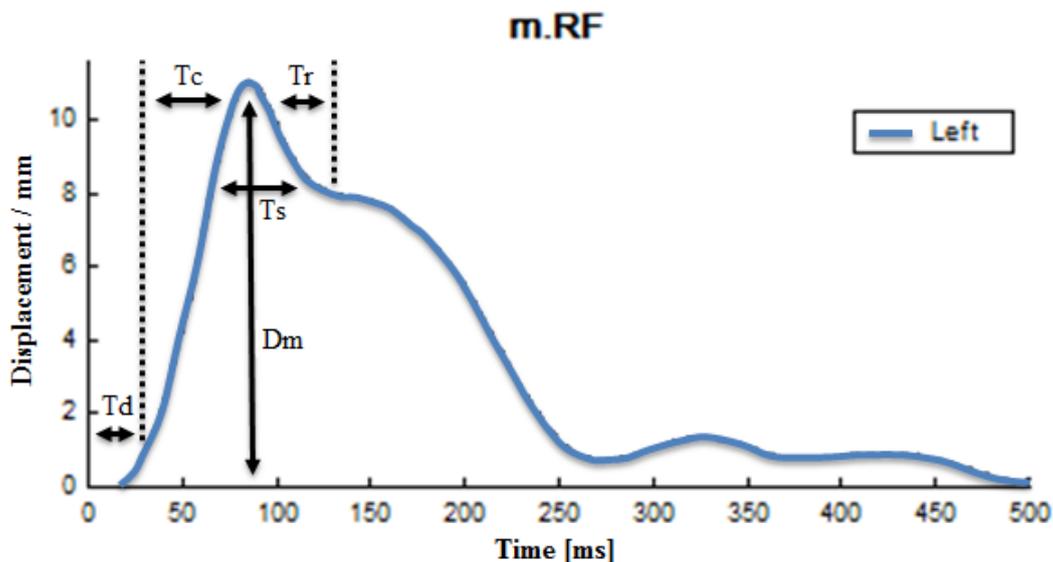


Figura 1. Parámetros de medición TMG. Tomado de García Manso et al.

Como se ha reflejado, las posibles aplicaciones de este método son numerosas. Al tratarse de una técnica no invasiva su aplicabilidad se antoja determinante en el ámbito deportivo, como por ejemplo en la detección de la fatiga muscular provocada por estímulos de entrenamiento, así como posibles descompensaciones musculares, no solo en el ámbito de rendimiento deportivo, sino en otros como el de la salud, la fisioterapia y la rehabilitación de lesiones (Dahmane et al., 2005; García Manso et al., 2010; Tous-Fajardo et al., 2010). Sin embargo, su análisis puede verse afectado por varios aspectos, como la posición del sensor que transmite el impulso eléctrico o la colocación de los electrodos a través de los que se transmite este impulso por la piel (Tous-Fajardo et al., 2010). Por esta razón, y tal como sugieren autores como García Manso et al. (2009, 2010) o Rodríguez Matoso et al. (2010), es necesario ser muy preciso y minucioso con el protocolo al realizar cada una de las mediciones, con el fin de evitar que se provoquen cambios en los resultados

que deriven a su vez en interpretaciones erróneas. Por otro lado, son escasos los estudios que han evaluado la fiabilidad de las mediciones adquiridas mediante TMG (Križaj et al., 2008; Tous-Fajardo et al., 2010) y no se constata la reproducibilidad en diferentes grupos musculares.

Por tanto, el objetivo de este estudio es comprobar la fiabilidad de la TMG como método de valoración muscular, concretamente en el recto femoral (RF) y el gastrocnemio medial (GM).

MATERIAL Y MÉTODO

Muestra

Treinta y dos sujetos (26 hombres y 6 mujeres; media \pm SD: edad 22.41 \pm 1.85 años; altura 174.07 \pm 7.94 cm; masa corporal 72.40 \pm 10.01 kg), sin antecedentes de enfermedades neurológicas o musculares participaron de forma voluntaria en el presente estudio. Todos eran sujetos activos (realizaban una media de 15 h de actividad física semanal) y firmaron su consentimiento para participar tras ser informados del procedimiento a seguir y de los posibles riesgos que podría conllevar la participación en la investigación.

Variables

Los parámetros que aporta la TMG tal y como describen Rodríguez Matoso et al. (2010) son: Dm (desplazamiento radial del vientre muscular expresado en milímetros), Td (tiempo que tarda la estructura muscular en alcanzar el 10% del desplazamiento total), Tc (tiempo que transcurre desde que finaliza el tiempo de reacción hasta el 90% de la deformación máxima), Ts (tiempo teórico que mantiene la contracción) y Tr (tiempo de relajación muscular).

Para medir el desplazamiento muscular se ha utilizado un sensor mecánico de alta precisión (GK 40, Panoptik d.o.o., Ljubljana, Slovenia), colocado de forma perpendicular al vientre del músculo. Para provocar la contracción muscular, se aplicó un estímulo eléctrico a través de un estimulador, TMG-S1 (EMF-Furlan and Co. d.o.o., Ljubljana, Slovenia), conectado a un ordenador portátil, que iniciaba la señal eléctrica. El estímulo eléctrico se transmitía al vientre muscular por medio de dos electrodos (Compex Medical SA, Ecublens, Suiza) colocados simétricamente a 5 cm entre ellos y a 2,5 cm del extremo del sensor (Tous-Fajardo et al., 2010).

Procedimiento

Las evaluaciones se realizaron en el recto femoral (RF) de la pierna izquierda y en el gastrocnemio medial (GM) de la pierna derecha. La elección de ambos responde a la intención de conocer y comparar la respuesta de un grupo muscular muy explosivo (RF) con otro que no lo sea en gran medida

(GM). Por otra parte, el cambio de lateralidad de las piernas evaluadas se debe simplemente a la comodidad del sujeto de estudio, además de permitirnos una mayor precisión en la colocación del instrumental. La posición de los sujetos durante la evaluación debía permitir que la musculatura estuviese completamente relajada. Para ello, cada sujeto se situó sobre una camilla en posición supina para la evaluación del RF y en tendido prono para la evaluación del GM. En ambos casos, se colocó un cojín que facilitase un grado de flexión óptimo para que la musculatura se encontrase relajada (Figura 2).



Figura 2. Posición del sujeto durante la evaluación del RF.

Cada sujeto fue sometido a dos evaluaciones consecutivas en cada grupo muscular. Para la localización del músculo a medir, se pidió al sujeto realizar una contracción voluntaria, tras la que se colocaban dos electrodos separados entre sí a 5 cm. Dicha distancia fue marcada previamente con un lápiz dérmico, con el fin de garantizar una posición idéntica en la siguiente medición. Posteriormente el sensor de la TMG fue colocado en el punto intermedio entre el electrodo distal y proximal (2,5 cm), y profundizando éste en el músculo perpendicularmente hasta 1,5 cm (marcado previamente con un lápiz dérmico).

Para provocar la contracción se aplica una corriente eléctrica bipolar, partiendo de una amplitud inicial de 50 mA. La amplitud de corriente alterna se incrementó progresivamente cada 10 segundos para intentar reducir al mínimo los efectos de fatiga y potenciación (Tous-Fajardo et al., 2010). La magnitud de cada incremento fue de 10 mA hasta llegar al umbral de estimulación más alto permitido por el aparato, 110 mA, o bien hasta que se observaba que el desplazamiento muscular (Dm) no sufría incremento en al menos 2 estimulaciones posteriores. Entre las dos evaluaciones del mismo músculo se fijó un período de descanso de 3 minutos, permitiendo al músculo recuperarse de la posible fatiga muscular localizada producida por el estímulo eléctrico y asegurando, por tanto, que ambas mediciones se afrontasen en plena disponibilidad muscular.

A modo de síntesis, cada sujeto fue evaluado inicialmente del RF, con un periodo de reposo de 10 segundos entre cada estimulación eléctrica, y 3 minutos de descanso entre las 2 mediciones. Posteriormente se evaluaba el GM siguiendo el mismo procedimiento mencionado anteriormente.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el paquete estadístico SPSS, versión 15.0. Para contrastar la fiabilidad de la TMG se calculó el coeficiente de correlación intraclase (ICC) para todas las variables descritas previamente. Un ICC superior a 0,8 entre los diferentes parámetros de TMG fue considerado como fiable tal y como sugirió previamente Tous-Fajardo et al. (2010). Se analizaron valores descriptivos, tendencia central y de dispersión.

RESULTADOS

La fiabilidad de los diferentes parámetros contráctiles entre las dos mediciones fue buena o muy buena para ambos músculos, excepto el Tr en la evaluación del GM, que mostró un valor inferior de ICC (0.429), siguiendo la escala de Sánchez Fernández et al. (2005) (figura 3). Los parámetros con mayor ICC en los dos músculos fueron el desplazamiento radial (0.94-0.98) y el tiempo de contracción (0.92-0.93).

Valor de CCI	Fuerza de la concordancia
> 0,90	Muy buena
0,71-0,90	Buena
0,51-0,70	Moderada
0,31-0,50	Mediocre
□0,30	Mala o nula

Figura 3. Valoración de la concordancia según los valores del coeficiente de correlación intraclase (ICC). Sánchez Fernández P, et al. (2005). Fiabilidad de los instrumentos de medición en ciencias de la salud.

La tabla 1 muestra los resultados del análisis ICC para cada una de las variables de rendimiento muscular analizadas en el RF. Se observó una alta fiabilidad en Tc y Dm (ICC > 0.922), mientras que el resto de parámetros (Ts, Tr y Td) mantienen buenos niveles de correlación (0.788-0.794), similares entre ellos e inferiores a los anteriores. Para las variables Ts, Tr y Td encontramos valores inferiores de ICC alejados de la media (DS: 0.565; 0.573 y 0.618 respectivamente).

Respecto a las variables del GM, la fiabilidad fue muy alta en Tc, Td y Dm (ICC > 0,91), mientras que el Ts reflejó un nivel más bajo de correlación (0.810) que las anteriores. Además, no se encontraron niveles de ICC significativos en el Tr (0,062) (Tabla 2).

Tabla 1. Análisis correlación intraclase en el Recto Femoral.

		ICC (95%)	DS	Sig
RECTO FEMORAL	Tc	0,922	0,840-0,962	0,000
	Ts	0,788	0,565-0,896	0,000
	Tr	0,792	0,573-0,898	0,000
	Td	0,794	0,618-0,894	0,000
	Dm	0,941	0,878-0,971	0,000

Tc: tiempo de contracción; Ts: tiempo de mantenimiento de la contracción; Tr: tiempo de relajación; Td: tiempo de respuesta; Dm: desplazamiento radial; ICC: Índice de correlación intraclase; DS: Desviación Estándar.

Tabla 2. Análisis correlación intraclase en el Gastrocnemio Medial.

		ICC (95%)	DS	Sig
GASTROCNEMIO MEDIAL	Tc	0,928	0,852-0,965	0,000
	Ts	0,810	0,610-0,907	0,000
	Tr	0,429	-0,170-0,721	0,062
	Td	0,913	0,821-0,957	0,000
	Dm	0,981	0,961-0,991	0,000

Tc: tiempo de contracción; Ts: tiempo de mantenimiento de la contracción; Tr: tiempo de relajación; Td: tiempo de respuesta; Dm: desplazamiento radial; ICC: Índice de correlación intraclase; DS: Desviación Estándar.

DISCUSIÓN

El objetivo de presente estudio fue comprobar la fiabilidad de la TMG como método de valoración muscular en el recto femoral y el gastrocnemio medial. Estos músculos fueron seleccionados por las características de sus fibras, ya que el RF es un músculo, a priori, rápido, mientras que el GM es un músculo menos explosivo (Rodríguez-Matoso et al., 2012), por lo que permiten evaluar y comparar la fiabilidad de esta herramienta en la valoración de músculos de diferente morfología y función.

Hasta el momento, pocas investigaciones habían evaluado la fiabilidad de los parámetros de TMG (Križaj et al., 2008; Tous-Fajardo et al., 2010). En la primera de ellas (Križaj et al., 2008) se evaluó su fiabilidad a partir de 30 mediciones consecutivas sobre el bíceps braquial, mostrando elevados niveles de correlación entre mediciones (rango ICC: 0.86-0.98). El presente estudio

mostró resultados similares (rango ICC: 0.78-0.94), algo inferiores en Tr y Ts, probablemente por tratarse de grupos musculares de mayor tamaño.

En la misma línea, Tous-Fajardo et al. (2010) analizaron la fiabilidad de medición del aparato entre diferentes evaluadores y de nuevo los resultados obtenidos fueron muy positivos al emplear la técnica para medir los parámetros contráctiles del vasto interno. Otro reciente estudio analizó la reproducibilidad de esta herramienta para evaluar las propiedades contráctiles del músculo independientemente de la posición del sensor (Rodríguez Matoso et al., 2010). En dicho estudio se realizó la medición sobre el RF obteniéndose elevados coeficientes de correlación para las mediciones en tres posiciones diferentes del músculo, una en el punto medio y las otras dos con una separación de 2 cm de éste. Los coeficientes alfa de Cronbach obtenidos fueron los siguientes: 0.970, 0.920, 0.897, 0.976 y 0.984 para Tc, Dm, Td, Ts y Tr respectivamente (Rodríguez Matoso et al., 2010).

Los resultados de nuestra investigación concuerdan con los de los estudios citados anteriormente, aunque existen pequeñas diferencias metodológicas, por lo que hay que ser cautelosos al comparar los resultados. En cualquier caso, el ICC para los parámetros considerados de la TMG se situó entre 0.78 y 0.94 al realizar la medición en el RF, obteniendo el parámetro Dm el valor más alto de fiabilidad (0.94). Dm y Tc parecen ser los parámetros que muestran una mayor fiabilidad, al igual que ocurrió en el estudio de Tous-Fajardo et al. (2010).

En este sentido es importante resaltar que el parámetro Dm, según diversos autores, parece mostrar los datos más útiles en la evaluación de las propiedades contráctiles de los músculos mediante TMG (Dahmane et al., 2001, 2005; Križaj et al., 2008; Tous-Fajardo et al., 2010). Además, correlaciona positivamente con la activación eléctrica muscular y está determinado por el número y el tipo de fibras musculares reclutados por el estímulo eléctrico. Al igual que en el estudio de Tous-Fajardo et al. (2010), en el presente estudio, los parámetros temporales obtuvieron datos más bajos que el Dm.

En el análisis descriptivo, y al igual que ocurrió en el estudio de Tous-Fajardo et al. (2010), el parámetro Tr para GM no mostró un nivel de fiabilidad significativo, a pesar de que el resto de variables de dicho músculo presentan niveles de fiabilidad incluso mayores que los del RF. Por el contrario, si pudieron encontrarse diferencias significativas en el estudio de Križaj et al. (2008), aunque en grupos musculares diferentes.

Como sugiere Rodríguez Matoso et al. (2010), el Tr puede verse afectado por el tiempo de descanso entre diferentes medidas. Posiblemente el tiempo de reposo de 3 minutos establecido en nuestro protocolo, que se seleccionó en base al procedimiento realizado por Tous-Fajardo et al. (2010), ha resultado insuficiente para recuperar el estado de relajación total del músculo, explicando así la falta de correlación encontrada en este parámetro. El factor más difícil de controlar en medidas repetidas es la posición exacta del

sensor por encima del músculo, ya que la modificación de la posición podría provocar cambios en la respuesta del muscular (Rodríguez Matoso et al., 2010). Tanto en el presente estudio como en el realizado por Tous-Fajardo et al. (2010), el sensor y los electrodos fueron manipulados en cada una de las mediciones realizadas, lo que pudo alterar la fiabilidad de alguno de los parámetros. Ahí radica la importancia de ceñirse a un protocolo de medición que no altere la respuesta del músculo (Rodríguez Matoso et al., 2010).

Además del seguimiento de un protocolo concreto, Tous-Fajardo et al. (2010), señalan la importancia de tener en cuenta las distintas respuestas musculares individuales, motivadas por factores intrínsecos, tales como la conductividad de la piel o el espesor de la grasa subcutánea. Ello provocó que los sujetos necesitasen mayor o menor estimulación en función del músculo intervenido, lo que justifica nuestra elección de músculos fácilmente localizables (RF y GM) para realizar el estudio.

Ninguno de los sujetos presentó molestias en los músculos evaluados durante o tras la intervención, aunque hubo que emplear el máximo amperaje del dispositivo (110 mA), sin la total certeza de que fuese la respuesta muscular máxima. Esto también ocurrió en el estudio de Tous-Fajardo et al. (2010), lo que constituye una de las principales limitaciones de la TMG.

En conclusión, podemos considerar que la TMG es una herramienta fiable y de fácil reproducibilidad para la valoración de la función muscular, puesto que los resultados del presente estudio han mostrado altos niveles de correlación en todos los parámetros evaluados, a excepción del Tr en el GM. No obstante, es necesario definir de forma detallada el protocolo de medición a seguir en cada una de las evaluaciones para evitar interpretaciones erróneas de los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dahmane, R., Djodjevič, S., Šimunič, B. & Valenčič, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle Histochemical and tensiomyographical evaluation. *Journal of Biomechanics*, 38, 2451-2459. doi:10.1016/j.jbiomech.2004.10.020
- Dahmane, R., Valenčič, V., Knez, N. & Eržen, I. (2000). 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, 51-55.
- García-Manso, J.M., Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., Quiroga, M. & Da Silva, M.E. (2009). La tensiomiografía como herramienta de evaluación muscular. *I Congreso de Ciencias de Apoyo al Rendimiento Deportivo*. Editorial y Centro de Formación Alto Rendimiento. Colección de Congresos nº 12.
- García-Manso, J.M., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., De Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D. & Da Silva, M.E. (2010). La tensiomiografía

como herramienta de evaluación muscular en el deporte. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 3(3), 98-102.

Harber, M.P., Crane, J.D., Douglass, M.D., Weindel, K.D., Trappe, T.A., Trappe, S.W. & Fink, W.F. (2008). Resistance Exercise Reduces Muscular Substrates in Women. *International Journal of Sports Medicine*, 29(9), 719-725. doi: 10.1055/s-2007-989442

Križaj, D., Šimunič, B. & Žagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18, 645-651. doi:10.1016/j.jelekin.2007.01.008

Pišot, R., Narici, M., Šimunič, B., De Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., Biolo, G. & Mekjavić, I. (2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 409-414. doi 10.1007/s00421-008-0698-6

Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., Vaamonde, D., Da Silva, M.E. & García-Manso, J.M. (2010). Reproducibility of muscle response measurements using tensiomyography in a range of positions. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 3(3), 81-86.

Sánchez-Fernández, P., Aguilar-de-Armas, I., Fuentelsaz-Gallego, C., Moreno-Casbas, M.T. & Hidalgo-García, R. (2005). Fiabilidad de los instrumentos de medición en ciencias de la salud. *Enfermería Clínica*, 15(4), 227-36.

Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Moreno Doutres, D. & Maffiuletti, N. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 761-766. doi:10.1016/j.jelekin.2010.02.008

Valenčič, V. & Knez, N. (1997). Measuring of Skeletal Muscles' Dynamic Properties. *Artificial Organs*, 21(3), 240-242.

Valenčič, V. & Djodjević, 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. & Simunic, B. (2001). Tensiomyography: Detection of skeletal muscle response by means of radial muscle belly displacement. *Biomedical Engineering*, 1, 1-10.

Referencias totales / Total references: 13 (100%)

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