



Evaluación de la musculatura flexora y extensora de la articulación de la rodilla en personas mayores en función de su nivel de actividad física anterior

Assessment of the knee flexor and extensor muscles in older people according to their previous physical activity level

Heredia, J.¹, Rodríguez-Matoso, D., Mantecón, A., Sarmiento, S., García-Manso, J.M., Rodríguez-Ruiz, D.

¹Laboratorio de Análisis y Planificación del Entrenamiento Deportivo
Departamento de Educación Física
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Dirección de contacto:

David Rodríguez Ruiz : drodriguez@def.ulpgc.es

Fecha de recepción: 12 de Diciembre de 2011

Fecha de aceptación: 22 de Diciembre 2011

RESUMEN

El propósito de nuestro estudio fue evaluar, mediante la Tensiomiografía (TMG), el desplazamiento radial máximo del vientre muscular (Dm) y la velocidad de respuesta normalizada (Vm) de la musculatura flexora y extensora de la articulación de la rodilla, específicamente de los músculos Vasto Lateral (VL) y Biceps Femoral (BF), en dos grupos de edad similares pero con niveles de actividad física anterior diferente. Se evaluaron 47 varones divididos en dos grupos de edades similares pero diferente nivel de actividad física: 21 Adultos con una actividad física moderada ($56,2 \pm 4,16$) y 26 exfutbolistas profesionales de la Unión Deportiva Las Palmas en Primera División ($61,7 \pm 6,81$). Los resultados obtenidos muestran una velocidad de respuesta muscular (Vm) superior en el grupo de exfutbolistas, tanto para el VL como para BF. Mostrándose más claras en el BF, siendo estadísticamente significativas en la piernas derecha ($p < 0,02$) y mostrando una tendencia en la pierna izquierda. Por otro lado, el desplazamiento radial del vientre muscular (Dm) o *stiffness* muestra también diferencias entre los dos grupos. Observándose que el grupo de exfutbolistas (F) presentan una rigidez muscular mayor, tanto en VL como en BF. Siendo más clara en BF, con diferencias estadísticamente significativas en la pierna derecha ($p < 0,003$).

Palabras Clave: tensiomiografía, envejecimiento, respuesta muscular.

ABSTRACT

The aim of our study was assessment maximum muscle belly radial displacement (Dm) and normalized response velocity (Vrn) of the Vastus Lateralis (VL), Vastus Medialis (VM), Rectus Femoris (RF) and Biceps Femoris (BF) by Tensiomyography (TMG), in two groups of similar age but with previous physical activity levels differently. The study comprised 47 men divided into two groups of similar age but different physical activity levels: 21 adults with moderate physical activity (56,2 +/- 4,16) and 26 exprofessional football players from Union Deportiva Las Palmas in the First Division (61,7 +/- 6,81). The data obtained show a muscular response speed (Vrn) better in exprofessional football players group, for both VL and for BF. Shown more clearly in the BF, being statistically significant in the right leg ($p < 0.02$) and showed a trend in the left leg. On the other hand, the maximum muscle belly radial displacement (Dm) or *stiffness* also shows differences between the groups. Being observed that the exprofessional football players group have a higher muscular stiffness in VL and BF. Being more clearly in BF, with statistically significant differences in the right leg ($p < 0.003$).

Keywords: tensiomyography, aging, muscle response.

INTRODUCCIÓN

El bajo nivel de masa muscular en las personas mayores es uno de los mayores responsables de las limitaciones funcionales y discapacidades que se asocian al envejecimiento (Leenders, 2003), siendo la causa principal de la reducción de la fuerza que se observa entre los 25 y los 80 años de edad (Mcardle et al., 2001). Pero, debemos tener presente que no sólo es debido a la pérdida de masa muscular, pues hay varios factores que interrelacionan y que contribuyen a la pérdida de fuerza conforme avanza la edad: el nivel inicial de fuerza, la disminución de la masa corporal global, el nivel de actividad física bajo, las patologías asociadas a este núcleo de población y las caídas (Forrest, et al., 2007; Goodpaster et al., 2006; Sayer et al., 2008).

Hay que tener presente que de todos los sistemas del organismo, el neuromuscular es el que muestra diferencias más significativas entre una persona sedentaria y otra entrenada. Por tanto, la musculatura que nunca es utilizada, se deteriorará más rápidamente con el paso del tiempo y, al llegar a edades avanzadas, mostrará peores condiciones que las personas que han mantenido un entrenamiento adecuado (Buckwalter, 1997; González & Vaquero, 2002, Wilmore & Costill, 2004).

Además, la fuerza muscular de los miembros inferiores disminuye más rápidamente que en la porción superior del cuerpo (Janssen et al., 2000), sin deferencia de sexo (Camiña et al., 2001; Janssen et al., 2000), lo que constituye un serio problema en personas mayores frágiles por el riesgo de sufrir caídas (Schrager et al., 2003). Estos cambios morfológicos y funcionales

afectan a la calidad de vida de los sujetos, pues una disminución de la capacidad contráctil del músculo, la pérdida de fuerza y el descenso de la potencia y resistencia muscular, traen consigo problemas que afectan a la forma de afrontar la vida diaria (Hunter et al., 2004).

El propósito de nuestro estudio fue evaluar, mediante la Tensiomiografía (TMG), el *desplazamiento radial máximo del vientre muscular (Dm)* y la *velocidad de respuesta normalizada (Vrn)* de la musculatura flexora y extensora de la articulación de la rodilla, específicamente de los músculos Vasto Lateral (VL) y Bíceps Femoral (BF), en dos grupos de edad similares pero con niveles de actividad física anterior diferente.

METODOLOGÍA

Muestra. Se evaluaron 47 varones divididos en dos grupos de edades similares pero diferente nivel de actividad física:

	Adultos (Actividad física moderada)	Exfutbolistas (Actividad física profesional)
Número	21	26
Edad Media (SD)	56,2 (+/- 4,16)	61,7 (+/- 6,81)

La elección de los sujetos de la muestra responde a que cumplieran los siguientes requisitos: Los adultos debían ser sujetos activos laboralmente y que realizaran actividad física recreativa durante la semana y los exfutbolistas profesionales debían cumplir el requisito de haber sido profesionales de la Unión Deportiva Las Palmas en Primera División. Los músculos analizados fueron Vasto Lateral (VL) y Bíceps Femoral (BF), por entender que son los más relevantes en la flexión-extensión de la articulación de la rodilla y representa la comparación entre un músculo postural, BF y otro no postural VL.

Todos los participantes, fueron informados de las características del estudio y firmaron el consentimiento escrito, siguiendo los criterios propuestos en la Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos (Adoptada por la 18ª Asamblea Médica Mundial de Helsinki en 1964 y modificada por la 59ª Asamblea General celebrada en Seúl en 2008).

Procedimiento de medición. La TMG mide la respuesta muscular mediante un sensor de presión colocado sobre el vientre muscular del músculo seleccionado, asegurándonos de que se encuentra colocado perpendicularmente al vientre muscular (Valencic y Knez, 1997) y con la posición del segmento a evaluar siguiendo las recomendaciones del fabricante (Djordjevic et al., 2000; Gorelick y Brown, 2007; Simunic y Valencic et al., 2001). Para provocar la contracción se aplica una corriente eléctrica bipolar (100 mA) y un milisegundo de duración, a través de dos electrodos situados en los extremos proximal y distal del músculo, no afectando a los tendones de inserción (Knez y Valencic, 2000; Simunic, 2003; Valencic, 2002) y con una pausa entre estímulo para evitar el fenómeno de activación post-tetánica (Belic et al., 2000; Rodríguez-Matoso et al. 2010ª; Simunic, 2003). La reproducibilidad del método y la validez del protocolo experimental que emplea la TMG han sido estudiadas en diferentes trabajos presentándose como una herramienta de alta precisión (Belic et al., 2000; Dahmane et al., 2000; Krizaj, 2008; Rodríguez-Matoso et al., 2010b; Simunic, 2003; Simunic et al., 2010; Simunic y Valencic, 2001; Tous-Fajardo et al., 2010).

Una vez evaluado el músculo deseado, se dispone de información numérica sobre la magnitud de los desplazamientos radiales de las fibras transversales musculares y del momento en que estos se producen (Simunic, 2003; Valencic y Knez, 1997). De todos los datos obtenidos nos centramos en el estudio de los parámetros de *desplazamiento radial máximo del vientre muscular (Dm)* y *la Velocidad de respuesta normalizada (Vrn)*.

El Desplazamiento máximo (Dm) viene dado por el desplazamiento radial del vientre muscular expresado

en milímetros. Representa y evalúa el *stiffness* (rigidez) muscular, variando en cada sujeto por cada grupo muscular en función de sus características morfofuncionales y de la forma en que esas estructuras han sido trabajadas mediante el entrenamiento. Valores bajos, respecto a los valores medios de los presentados en una población tipo, nos indican un elevado tono muscular y un exceso de rigidez en las estructuras del músculo, mientras que, valores mayores, indican una falta de tono muscular o un grado elevado de fatiga (Dahmane et al., 2001; García-Manso et al., 2011; Hunter et al., 2006; Krizaj et al., 2008; Quiroga et al., 2009, Rodríguez-Ruiz et al., 2009; Valencic et al., 2001).

La *Velocidad de respuesta normalizada (Vrn)* representa la relación entre la diferencia del desplazamiento radial entre el 10% y el 90% de Dm (Δd_r) y el incremento del tiempo de contracción muscular (Δt_c) entre esos mismos valores (Eq.1). Valencic y Knez (1997) y Rodríguez-Ruiz et al. (2011) nos dicen que para poder comparar los valores obtenidos en músculos diferentes debemos normalizar este incremento de tiempo. La forma de conseguirlo es dividir la ecuación realizada anteriormente por el Dm de cada músculo (Eq. 2). Los autores no dicen que Δd_r es igual a 0,8 por Dm. Por tanto, la velocidad respuesta normalizada sería igual a 0,8 partido por el incremento de tiempo de contracción muscular entre el 10 y 90% de Dm (Eq. 3):

$$\text{Eq. 1.} \quad V_r = \frac{\Delta d_r}{\Delta t_c} \left[\frac{mm}{s} \right]$$

$$\text{Eq. 2.} \quad V_{rn} = \frac{V_r}{Dm} = \frac{\Delta d_r}{\Delta t_c} \left[\frac{mm}{mm \cdot s} \right]$$

$$\text{Eq. 3.} \quad V_{rn} = \frac{0,8}{t_c} \left[\frac{mm}{s} \right]$$

Análisis Estadístico. Tras el análisis de normalidad (Shapiro-Wilk) se realizó una comparación de medias (*t-student*) para muestras independientes para los datos de VL y BF de ambas piernas (con nivel de significación de $p \leq 0.05$). Para el tratamiento estadístico se utilizó el paquete SPSS-v17 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

RESULTADOS

Los datos obtenidos muestran un nivel superior de velocidad respuesta muscular (*Vrn*) en el grupo F, tanto para el VL como para BF. Mostrándose más claras en el BF, siendo estadísticamente significativas en la piernas derecha ($p < 0,02$) y mostrando una tendencia en

la pierna izquierda, si bien no alcanza los valores de significación.

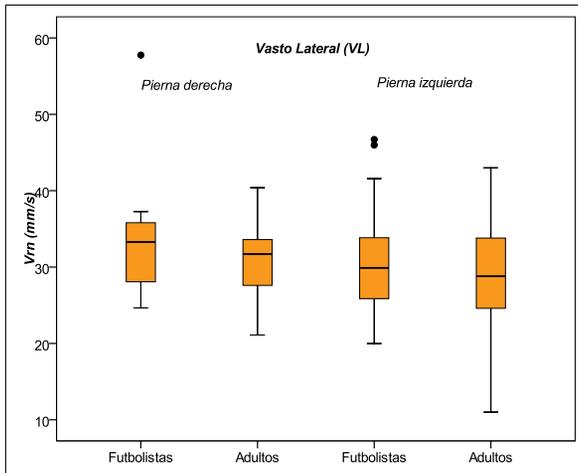


Figura 1: Box-plot de la Velocidad de Respuesta Normalizada (Vrn) enunciadas en mm/s en el Vasto Lateral (VL) de ambas piernas los dos grupos analizados.

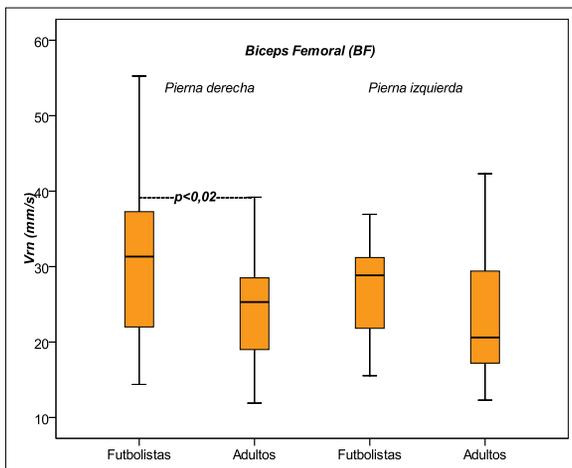


Figura 2: Box-plot de la Velocidad de Respuesta Normalizada (Vrn) enunciadas en mm/s en el Biceps Femoral (BF) de ambas piernas los dos grupos analizados

Por otro lado, el desplazamiento radial del vientre muscular (Dm) o stiffness muestra también diferencias entre los dos grupos. Observándose que el grupo de exfutbolistas (F) presentan una rigidez muscular mayor, tanto en VL como en BF. Siendo más clara en BF, con diferencias estadísticamente significativas en la pierna derecha ($p < 0,003$).

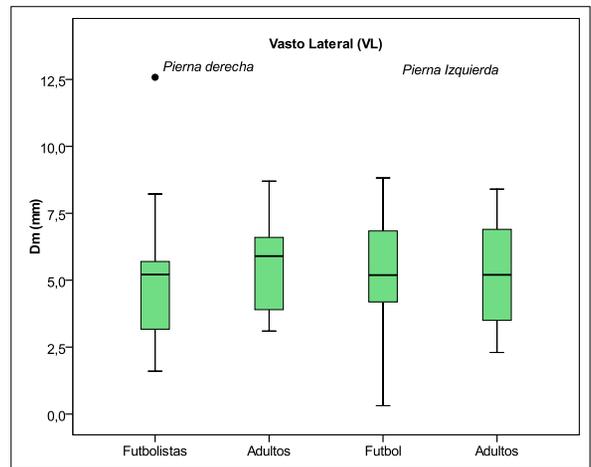


Figura 3: Box-plot del máximo desplazamiento radial o stiffness (Dm) enunciados en mm en el Vasto Lateral (VL) de ambas piernas los dos grupos analizados

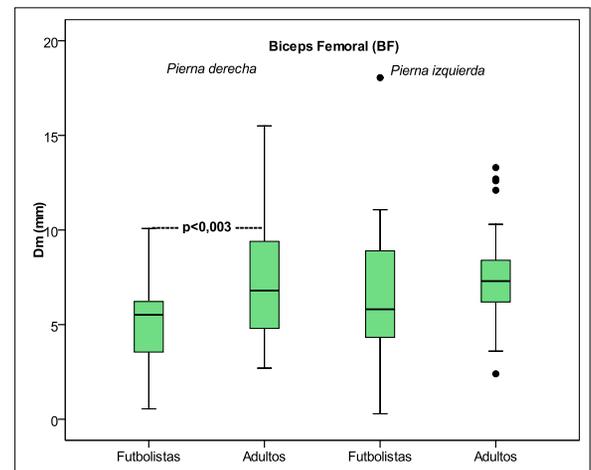


Figura 4: Box-plot del máximo desplazamiento radial o stiffness (Dm) enunciados en mm en el Biceps Femoral (BF) de ambas piernas los dos grupos analizados

DISCUSIÓN

Los sujetos de nuestra muestra presentan una velocidad de respuesta muscular (Vrn) superior en el grupo de exfutbolistas, tanto para el VL como para BF. Mostrándose más claras en el BF, siendo estadísticamente significativas en la pierna derecha ($p < 0,02$) y mostrando una tendencia en la pierna izquierda, si bien no alcanza los valores de significación. Por otro lado, el desplazamiento radial del vientre muscular (Dm) o stiffness muestra también diferencias entre los dos grupos. Observándose que el grupo de exfutbolistas presentan una rigidez muscular mayor, tanto en VL como

en BF. Siendo más clara en BF, con diferencias estadísticamente significativas en la pierna derecha ($p < 0,003$).

En estudios anteriores realizados en nuestro laboratorio y que están a punto de ser publicados: la pérdida de Velocidad de respuesta (V_{rn}), con el incremento de la edad, en la musculatura flexora y extensora de la rodilla, se comporta como un indicador de los cambios en la respuesta muscular que tienen lugar por efecto del envejecimiento. Su magnitud estaría asociada a la pérdida de masa muscular; a la disminución de elementos contráctiles (Aargard et al., 2010; Larsson et al., 1996; Trappe et al., 2004; Young et al., 1984), alteraciones neuromusculares (Antonutto et al., 1999; McArdle et al., 2001; Stolberg et al., 1982) y cambios en el balance funcional (Enoka, 2003).

No obstante, Pisot et al. (2008) sugieren distinguir entre los cambios que ocurren a nivel muscular y los que se observan a nivel de las fibras musculares que están asociados a cambios en la composición de la cadena pesada de miosina (MHC). A nivel fibrilar está claramente demostrado que la atrofia afecta más a las tipo II que a las tipo I (Akima et al., 2000; Andersen et al., 2005; Klitgaard et al., 1990; Kosek et al., 2006; Singh et al., 1999), si bien, otros trabajos encuentran similares cambios en las fibras de tipo I y II (Essén-Gustavsson & Borges, 1986).

Este nivel de alteración de la musculatura, y su capacidad de respuesta, está directamente vinculada al nivel de actividad física de los sujetos, siempre que no exista otra patología que condicione la capacidad funcional del mismo. Para los dos grupos de nuestra muestra el volumen de actividad física ha descendido de los niveles iniciales cuando se encontraban entre los 20 y 40 años. En este sentido, Aagard et al., (2010) señalan que las personas mayores presentan una adaptación de la plasticidad en los músculos esqueléticos y en la respuesta del sistema neuromuscular al entrenamiento mejorando la capacidad funcional incluso en los mayores más viejos. Por tanto, a medida que disminuye el nivel de actividad aumentan a las pérdidas de Velocidad de respuesta del VL y BF en personas de estas edades. Estos resultados también son reportados por estudios precedentes (Buckwalter, 1997; González & Vaquero, 2002; Wilmore & Costill, 2004).

Los cambios que la edad y el nivel de actividad física generan en la velocidad de respuesta muscular de los sujetos de nuestra muestra, coinciden con los encontrados por Clark et al. (2010) al estudiar mayores con limitación de movimiento; mayores sin limitaciones y sujetos de mediana edad. Las disminuciones de velocidad eran superiores en los mayores con motricidad limitada y menores entre los sujetos de mediana edad. Las caídas de velocidad eran más elevadas en los músculos extensores de la articulación rodilla (VL, VM y

RF) que en los músculos flexores de la misma articulación (BF y ST).

En otro estudio, Asaka & Wang (2008) plantean que, con los años, durante el movimiento el centro de masas se desplaza hacia delante haciendo necesario un reequilibrio constante de la postura por acción de los músculos flexores de la rodilla. En este caso los citados músculos compensan la pérdida progresiva de fuerza con los músculos extensores de la articulación de la rodilla. Atendiendo a las consideraciones de los autores anteriores, en los sujetos de nuestra muestra hemos encontrado que el nivel de V_{rn} como Dm del grupo de exfutbolistas presenta unos valores en BF más acordes con la posibilidad de actuar como compensatorios de la pérdida progresiva de fuerza con los músculos extensores de la articulación de la rodilla.

Existe un consenso generalizado en aceptar que la capacidad de realizar movimientos veloces (fuerza dinámica) declina más rápidamente con la edad que la capacidad de mantener el equilibrio estático o fuerza estática (Hwang et al., 2006; Izquierdo et al., 1999; Lanza et al., 2003; Skelton et al., 1994; Valour et al., 2003). También parece demostrado que alteraciones en la velocidad de desplazamiento aumentan el riesgo de caídas en personas mayores (Holbein et al., 2007; Maciaszek, 2010; Melzer et al., 2004). Por tanto, los sujetos del grupo de exfutbolistas, se encuentran con una mejor calidad de respuesta muscular que les ayudaran a vivir con autonomía e independencia, tan sólo condicionada por las posibles lesiones acaecidas en su época profesional.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran una velocidad de respuesta muscular (V_{rn}) superior en el grupo F, tanto para el VL como para BF. Mostrándose más claras en el BF, siendo estadísticamente significativas en la pierna derecha ($p < 0,02$) y mostrando una tendencia en la pierna izquierda, si bien no alcanza los valores de significación. Por otro lado, el desplazamiento radial del vientre muscular (Dm) o *stiffness* muestra también diferencias entre los dos grupos. Observándose que el grupo de exfutbolistas (F) presentan una rigidez muscular mayor, tanto en VL como en BF. Siendo más clara en BF, con diferencias estadísticamente significativas en la pierna derecha ($p < 0,003$).

Por último, la TMG se muestra como una herramienta útil para evaluar la eficacia funcional de la musculatura flexora y extensora de la rodilla mediante la evaluación de la Velocidad de respuesta normalizada (V_{rn}) y el desplazamiento radial del vientre muscular (Dm) en sujetos de edad avanzada y que se muestran como indicadores eficaces de la pérdida de calidad en los movimientos dinámicos y, por tanto, de autonomía e independencia de las personas mayores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aagard, P., Suetta, C., Caserotti, P., Magnusso, S.P. & Kjaer, M. (2010). Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20 (1), 46-64.
- Akima, H., Kawakami, Y., Kubo, K., Sekiguchi, C., Ohshima, H., Miyamoto, A. & Fukunaga, T. (2000). Effect of short-duration spaceflight on thigh and leg muscle volume. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 1743-1747.
- Andersen, L., Andersen, J., Magnusson, P., Suetta, C., Madsen, J., Christensen, L. & Aagaard, P. (2005). Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *J Appl Physiol*, 99, 87-94.
- Asaka, T. & Wang, Y. (2008). Effects of Aging on Feedforward Postural Synergies. *Journal of Human Kinetics*, 20, 63-70.
- Belic, A., Knez, N., Karba, R. & Valencic, V. (2000). Validation of the human muscle model. Proceedings of the 2000 Summer Computer Simulation Conference, 16. - 20. July 2000, Vancouver, British Columbia. Session 1: Issues on Whole Body Modeling.
- Buckwalter, J.A. (1997). Decrease mobility in elderly: the exercise antidote. *The Physician and Sports Medicine*, 25 (9).
- Camiña Fernández, F., Cancela Carral, J.M. & Romo Pérez, V. (2001). La prescripción del ejercicio físico para personas mayores. Valores normativos de la condición física. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 1 (2), 136-154.
- Clark, D.J., Patten, C., Reid, K.F., Carabello, R.J., Phillips, E.M. & Fielding, R.A. (2010). Impaired Voluntary Neuromuscular Activation Limits Muscle Power in Mobility-Limited Older Adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 65A (5), 495-502.
- Dahmane, R., Knez, N., Valencic, V. & Erzen, I. (2000). Tensiomyography, a non-invasive method reflecting the percentage of slow muscle fiber in human skeletal muscles. Book of Abstract: Life Sciences 2000, Gozd Martuljek, Slovenia, September 28th to October 1st, 2000, pp./str. 29.
- Djordjevic, S., Valencic, V., Knez, N., Dahmane, R., Jurcic-Zlobec, B., Bednarik, J., Simunic, B., Kersevan, K. & Godina, N. (2000). Contractile properties of skeletal muscles of two groups of sportsmen-sprinters and cyclist measured by Tensiomyography. 2000 Pre-Olympic Congress. Brisbane, Australia, Abstract 220.
- Essen-Gustavsson, B. & Borges, O. (1986). Histochemical and metabolic characteristics of human skeletal muscle in relation to age. *Acta Physiol. Scand*, 126, 107-114.
- Forrest KY, Zmuda J & Cauley J. (2007). Patterns and correlates of muscle strength loss in older women. *Gerontology*, 53, 140-147.
- García-Manso, J.M., Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., de Saa, Y., Sarmiento, S. & Quiroga, M. (2011). Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG). *Journal of Sports Sciences*, 29 (6), 619- 625.
- González, J.M. & Vaquero, M. (2000). Indicaciones y sugerencias sobre el entrenamiento de fuerza y resistencia en ancianos. *Int J Med Sci Physic Activity Sport*, 1, 41-48.
- Goodpaster, B.H., Park, S.W., Harris, T.B., Kritchevsky, S.B., Nevitt, M., Schwartz, A.V., Simonsick, E.M., Tylavsky, F.A., Visser, M., Newman, A.B. (2006). The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 61, 1059-1064.
- Gorelick, M.L. & Brown, J.M. (2007). Mechanomyographic assessment of contractile properties within seven segments of the human deltoid muscle. *Eur J Appl Physiol*, 100 (1), 35-44.
- Holbein, J., Mary, J.A., McDermott, K., Shaw, C. & Demchak, J. (2007). Validity of functional stability limits as a measure of balance in adults aged 23-73 years. *Ergonomics*, 50 (5), 631-646.
- Hunter, G.R., McCarthy, J.P. & Bamman, M.M. (2004). Effects of resistance training on older adults. *Sports Med*, 34 (5), 329-348.
- Hwang, I.S., Huang, C.T. & Cherg, C.C. (2006). Postural fluctuations during pointing from a unilateral or bilateral stance. *Hum. Mov. Sci*, 25, 275-291.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Gorostiaga, E., Garrues, M., Zuñiga, A., Antón, A., Larrión, J.L. & Hakkinen, K. (1999). Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol Scand*, 167, 57-68.
- Janssen, I., Heymsfield, S.B., Wang, Z., Ross, R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol*, 89, 81-88.

- Klitgaard, H., Mantoni, M., Schiaffino, S., Ausoni, S., Gorza, L., Laurent-Winter, C., Schnohr, P. & Saltin, B. (1990). Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta Physiol Scand*, 140, 41-54.
- Knez, N. & Valencic, V. (2000). Proceedings of the ninth Electrochemical and Computer Science Conference ERK 2000, 21-23, September 2000, Portoroz, Slovenia. Ljubljana : IEEE Region 8, Slovenian section IEEE, Vol. B, pp. 301-304.
- Kosek, D., Kim, J., Petrella, J., Cross, J. & Bamman, M. (2006). Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults. *J Appl Physiol*, 101, 531-544.
- Krizaj, D., Simunic, B. & Zagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18, 645-651.
- Lanza, I.R., Towse, T.F., Caldwell, G.E., Wigmore, D.M. & Kent-Braun, J.A. (2003). Effects of age on human muscle torque, velocity, and power in two muscle groups. *J Appl Physiol*, 95, 2361-2369.
- Leenders, N. (2003). The elderly, en Ehrman J.K.; Gordon, P.M.; Visich, P.S. & Keteyian, S.J. (edits.): *Clinical Exercise Physiology*. Champaign (IL, USA): Ed. Human Kinetics.
- Maciaszek, J. (2010). Muscle Strength and Aerobic Endurance as Factors Differentiating Falling and Non-Falling Men over 70 Years. *Journal of Human Kinetics*, 25, 35-40.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, F.L. (2001). *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance* (5th ed.). Hagerstown, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Melzer, I., Benjuya, N. & Kaplanski, J. (2004). Postural stability in the elderly: a comparison between fallers and non-fallers. *Age Ageing*, 33 (6), 602-607.
- Pisot, R., Narici, M.V., Simunic, B., De Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., Biolo, G. & Mekjavic, I.B. (2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed-rest. *Journal of Applied Physiology*, 104 (2), 409-414.
- Quiroga, M.E., Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., Losa, J., de Saá, Y. & García-Manso, J.M. (2009). Evaluación de las características mecánicas del músculo mediante la tensiomiografía. Estudio de casos. VIII Congreso Internacional sobre Entrenamiento en Voleibol. Junta de Castilla y León. Valladolid, 10-12 de octubre
- Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Quiroga, M.E., Sarmiento, S., De Saá, 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., Da Silva-Grigoletto, M.E. & García-Manso, J.M. (2010b). Reproducibility of muscle response measurements using tensiomyography in a range of positions. *Rev Andal Med Deporte*, 3 (3), 81-86.
- Rodríguez-Ruiz, D., Quiroga, M.E., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., Losa, J., De Saá, Y. & García-Manso, J.M. (2009). Aplicación de la tensiomiografía (tmg) en jugadores de voleibol. Estudio de caso. (pp. 121-130). En O. Usabiaga, J. Castellano & J. Etxebeste (Eds.) *Investigando para innovar en la actividad física y el deporte*. Vitoria: Ed. Gidekit.
- Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., Quiroga, M.E., Sarmiento, S., Da Silva-Grigoletto M.E. & García-Manso, J.M. (2011). Study of mechanical characteristics of the knee extensor and flexor musculature of volleyball players. *European Journal of Sport Science*, iFirst: 1-9. DOI:10.1080/17461391.2011.568633.
- Sayer, A.A., Dennison, E.M., Syddall, H.E., Jameson, K., Martin, H.J. & Cooper, C. (2008). The developmental origins of sarcopenia: Using peripheral quantitative computed tomography to assess muscle size in older people. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 63 (A), 835-840.
- Schrager, M., Bandinelli, S., Maggi, S. & Ferrucci, L. (2003). Sarcopenia: Twenty open questions for research agenda. *Basic Appl Myol*, 13 (4), 203-208.
- Simunic, B. (2003). *Model of longitudinal contractions and transverse deformations in skeletal muscles*. Doctoral Thesis. Ljubljana.
- Simunic, B., Krizaj, D., Narici, M. & Pisot, R. (2010). Twitch parameters in transversal and longitudinal biceps brachii response. *Annales Kinesiolgiae*, 1, 61-80.
- Simunic, B. & Valencic, V. (2001). *Proceedings of X Electrochemical and Computer Science Conference*. IEEE Region 8, Slovenian Section IEEE, Vol. B, pp: 363-366. 24-26 de septiembre de 2001. Portoroz (Eslovenia).
- Singh, M.A.F., Ding, W., Manfredi, T., Solares, G., O'Neill, E., Clements, K., Ryan, N., Kehayias, J., Fielding, R. & Evans, W. (1999). Insulin-like growth factor I in skeletal muscle after weight-lifting exercise in frail elders. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 277, E137-E143.

- Skelton, D.A., Greig, C.A., Davies, J.M. & Young, A. (1994). Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65-89 years. *Age Ageing*, 23, 371-377.
- Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Doutres, D.M. & Maffiuletti, N.A. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20 (4), 761-766.
- Valencic, V. (2002). Method for selective and non-invasive detection of skeletal muscles contraction process. International Application Published under the Patent Cooperation Treaty (PCT). N° WO 02/074167 A1.
- Valencic, V. & Knez, N. (1997). Measuring of the skeletal muscles dynamic properties. *Artific Org*, 21, 240-242.
- Valencic, V., Knez, N. & Simunic, B. (2001). Tenziomyography: Detection of skeletal muscle response by Means of radial muscle belly displacement. *Biomedical Engineering*, 1, 1-10.
- Valour D, Ochala J, Ballay Y & Pousson M. (2003). The influence of ageing on the force-velocity-power characteristics of human elbow flexor muscles. *Exp Gerontol*, 38, 387-395.
- Wilmore, J. H. & Costill, D. L. (2004). *Physiology of sport and exercise* (3rd ed.). Champaign: Human Kinetics.