

Rodríguez-Matoso, D.; Rodríguez-Ruiz, D.; Quiroga, M.E.; Sarmiento, S.; De Saa, Y. y García-Manso, J.M. (2010). Tensiomiografía, utilidad y metodología en la evaluación muscular. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 10 (40) pp. 620-629. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista40/artcaracteristicas186.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista40/artcaracteristicas186.htm)

ORIGINAL

TENSIOMIOGRAFÍA, UTILIDAD Y METODOLOGÍA EN LA EVALUACIÓN MUSCULAR

TENSIOMYGRAPHY, UTILITY AND METHODOLOGY IN THE MUSCULAR ASSESSMENT

Rodríguez-Matoso, D.; Rodríguez-Ruiz, D.; Quiroga, M.E.; Sarmiento, S.; De Saa, Y. y García-Manso, J.M.

Departamento de Educación Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España.
dariorodriguezmatoso@gmail.com, droduiguez@def.ulpgc.es, mquiroga@def.ulpgc.es,
samu.sarmiento@gmail.com, yvesdesaa@gmail.com, jgarciamanso@gmail.com

Código UNESCO: 9915 medicina deportiva

Clasificación del Consejo de Europa: 11 Medicina del deporte

Recibido 16 de julio de 2009

Aceptado 14 de mayo de 2010

RESUMEN

La Tensiomiografía (TMG) es un método que se utiliza para evaluar el tono muscular (rigidez o stiffness) y el balance entre estructuras musculares, cadenas musculares (flexora-extensora) o extremidades (derecha e izquierda), a través del análisis de las características mecánicas y de la capacidad contráctil de los músculos superficiales mediante la medición del desplazamiento radial de las fibras transversales del vientre muscular, en función del tiempo en que se produce la contracción. Muestra una elevada reproducibilidad, pero precisa seguir fielmente un protocolo previamente fijado para cada evaluación: colocación y presión inicial del sensor de desplazamiento; duración del estímulo, así como la separación en tiempo entre cada uno; angulación adecuada para cada articulación; incrementos de los estímulos eléctricos y que en la interpretación de los datos debe seguir los criterios de individualidad del deportista y el de especificidad del deporte.

PALABRAS CLAVES: Tensiomiografía, deporte, evaluación, rigidez.

ABSTRACT

The Tensiomyography (TMG) is a method used to assess muscle tone (stiffness) and the balance between muscular structures, chains muscles

(flexor-extensor) and extremities (right and left), by analyzing the mechanical characteristics and contractile capacity of superficial muscles by measuring the radial displacement of the transversal fibers in the muscle belly, according to the time at which the contraction. Shows a high repeatability, but we need to follow protocol previously established for each assessment: placement and initial pressure of the sensor displacement; duration of stimulation, and the separation between each one; angle for each joint; increases the electrical stimuli and the interpretation of data must follow the criteria of the individual athlete and the specificity of sport.

KEY WORDS: Tensiomyography, sport, evaluation, stiffness.

INTRODUCCIÓN

La Tensiomiografía (TMG) es un método de evaluación, desarrollado en la Faculty of Electrical Engineering de la University of Ljubljana (Eslovenia), a principios de los años 1990, por el profesor Valencic. Su objetivo era evaluar el tono muscular en los pacientes con patologías neuromusculares (Valencic, 1990). Se trasladó al campo del deporte con los trabajos realizados en la mencionada universidad (Laboratory of Biomedical Visualization and Muscle Biomechanics y el Laboratory for Computacional Electromagnetics de la Universidad de Ljubljana). Sus estudios se intensificaron cuando empezaron a colaborar con el equipo olímpico esloveno durante su preparación para los Juegos Olímpicos de Sydney 2000 y los Juegos Olímpicos de Invierno de Salt Lake City 2002.

Desde la perspectiva de la actividad física, lo más interesante de la técnica es que resulta un método de evaluación no invasivo en el que no se requiere ningún esfuerzo por parte del sujeto que se evalúa. Este aspecto es positivamente valorado por deportistas y entrenadores que demandan siempre la utilización de test de evaluación que sean rápidos, precisos y que no interfieran en el trabajo diario.

Se utiliza para evaluar el tono muscular (rigidez) mediante el análisis de las características mecánicas y de la capacidad contráctil de los músculos superficiales (Valencic & Knez., 1997; Dahmane et al., 2000; Valencic et al., 2000, Valencic et al. 2001). Mide los cambios geométricos (desplazamiento radial) que tienen lugar en el vientre muscular cuando se produce una contracción generada por un estímulo eléctrico externo. Estos parámetros, expresados por el desplazamiento del sensor y por el tiempo en que se produce la deformación, son utilizados para evaluar (Figura 1) la rigidez muscular y el balance entre estructuras musculares, cadenas musculares (flexora-extensora) o extremidades (derecha e izquierda).

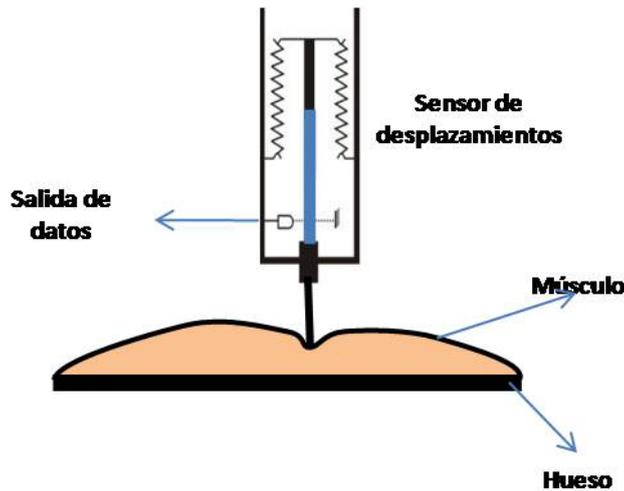


Figura 1. Colocación del sensor de desplazamiento sobre el músculo y proceso de recogida de datos por efecto del estímulo eléctrico aplicado.

Los parámetros que aporta la TMG han sido correlacionados con diferentes mecanismos condicionales, morfológicos o neuromusculares. Así, Valencic & Knez (1997) y Simunic (2003) relacionan el torque con la deformación del vientre muscular (D_m). Por su parte, Dahamane et al., (2000) encontraron una correlación positiva ($r=0.93$) entre el porcentaje de fibras de contracción lenta (fibras tipo-I), determinadas mediante análisis histoquímico, y el tiempo de contracción muscular (T_c). También se ha demostrado la relación lineal entre los valores de deformación transversal (D_m) de las fibras y la onda M (Kersevan et al., 2002). Esto ha permitido a diversos investigadores utilizar esta herramienta para: observar la atrofia que se produce, en amputados, de la musculatura situada por encima de la articulación de la rodilla (Burger et al., 1996); también se ha utilizado en el seguimiento de pacientes con problemas neuromusculares (Grabljevec et al., 2004); evaluar los procesos de adaptación de las propiedades contráctiles musculares en sujetos sometidos a un programa de entrenamiento (Djordjevik et al., 2000; Kersevan et al., 2002); y controlar los efectos de un determinado de trabajo sobre la musculatura entrenada (Praprotnik et al., 2000).

La validez del método ha sido estudiada en diversos autores. Krijaz et al. (2008) estudiaron la reproducibilidad de la TMG en sujetos sanos (13 varones; edad entre 19 y 24 años) encontrando que, al evaluar el biceps braquial existe un bajo nivel de error (0,5 a 2%) y un coeficiente de correlación entre clases de 0,86.

En cualquier caso, pensamos que de no seguirse un riguroso protocolo, la utilidad del método se reduce significativamente. Es por esto, que en este trabajo, nosotros planteamos revisar los aspectos más importantes que deben ser tenidos en cuenta en el momento de efectuar una evaluación muscular con Tensiomiografía (TMG).

CRITERIOS A SEGUIR EN LA UTILIZACIÓN DE LA TMG

La TMG utiliza un sensor de presión colocado sobre el vientre del músculo seleccionado. Para provocar la contracción se aplica una corriente

eléctrica bipolar, mediante electroestimulador, a través de dos electrodos situados en los extremos proximal y distal del músculo, evitando que su colocación afecte a los tendones de inserción de dichas estructuras (Figura 2).



Figura 2. Colocación del los electrodos y el sensor de desplazamiento.

Para una correcta evaluación del músculo, los electrodos deben estar separados entre 2 y 5 centímetros (cm.), según músculo, respecto al punto de medición (Valencic, 2002; Simunic, 2003).

La posición del sujeto evaluado tiene que asegurar la completa relajación de la musculatura analizada, por lo que se debe colocar al sujeto sobre una camilla o sobre una silla, buscando lograr los ángulos articulares, entre segmentos, que recomiendan los fabricantes. Para ello, es recomendable disponer de los cojines diseñados para dicho proceso (Figura 3).

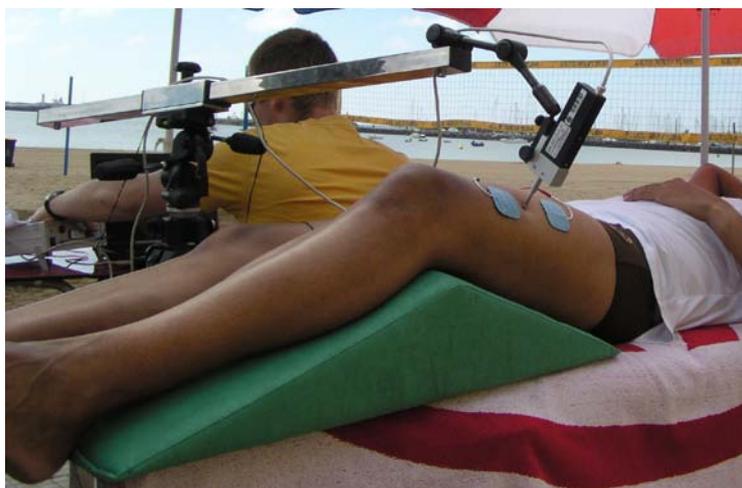


Figura 3. Cojines diseñados para estandarizar el grado de flexión de la articulación de la rodilla.

La duración de dicho estímulo eléctrico debe estandarizarse en 1 milisegundo (ms.), ya que tanto estímulos de mayor como de menor duración, alteran el tiempo de reacción (Knez & Valencic, 2000).

Pese a la elevada reproducibilidad que muestra este método (Krizaj et al., 2008), es necesario seguir fielmente un protocolo previamente fijado para cada evaluación. En este sentido, en nuestro laboratorio comprobamos que ligeras modificaciones en la colocación del sensor, respecto al extremo distal y proximal del músculo, conllevan a cambios en el nivel de deformación muscular (Rodríguez-Matoso et al., 2009). En el estudio citado, los autores observaron que midiendo la respuesta muscular en tres posiciones diferentes, equidistantes entre sí 1 y 2 centímetros, no determinaban cambios significativos en los tiempos de contracción o de relajación, pero, sin embargo, el nivel de deformación muscular si se veía estadísticamente afectado.

Es necesario asegurarse de que el sensor se coloque perpendicularmente al vientre muscular (Valencic et al., 1997) y ejerciendo una presión aproximada de $1.5 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ sobre un área de 113 m^2 (Dahmane et al., 2001). Este procedimiento es fundamental para la recogida de datos por parte el sensor de desplazamiento durante la contracción muscular (Figura 4).

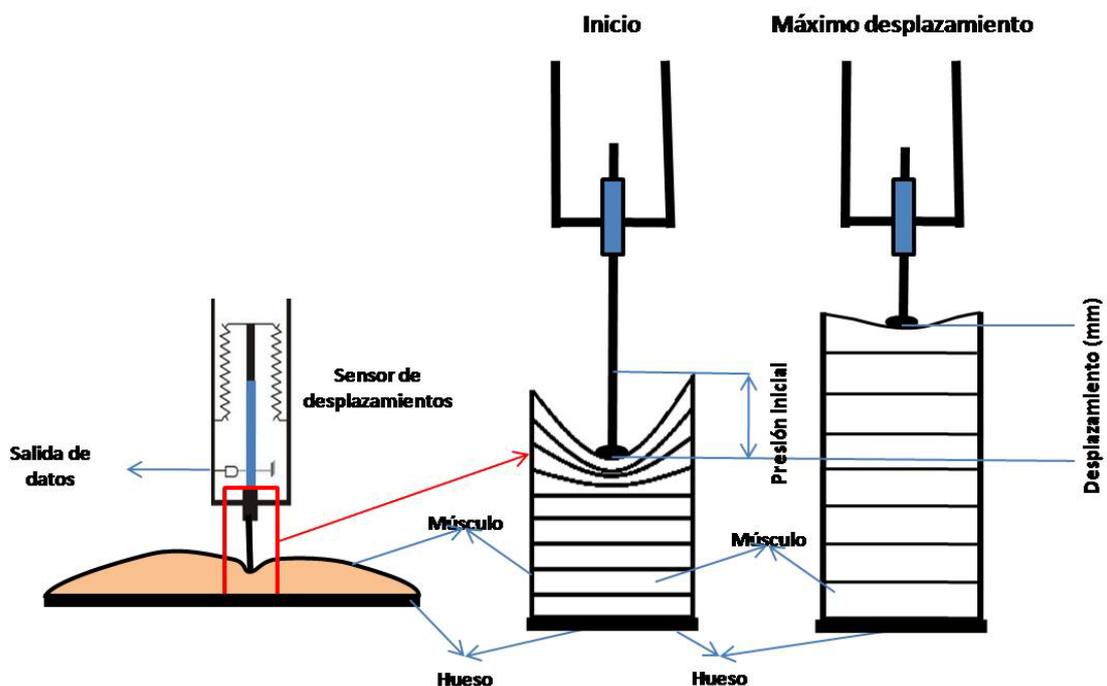


Figura 4. Desplazamiento del sensor durante la contracción muscular, después de la estimulación eléctrica.

Nuestra experiencia nos dice, que es aconsejable marcar el sensor de desplazamiento con el fin de estandarizar la presión inicial que se ejerce contra el vientre muscular.

INFORMACIÓN APORTADA POR LA TMG

Una vez cumplidos los criterios metodológicos descritos, estamos en condiciones de realizar la evaluación. Con ella dispondremos de una información gráfica y numérica de la respuesta muscular estudiada. Los datos aportados, correspondientes a la máxima respuesta observada, permiten obtener un informe de valores correspondientes a cuatro intervalos que caracterizan la respuesta mecánica muscular (Figura 5). El primer intervalo representa el tiempo que tarda el músculo en responder al estímulo y que, dependiendo de las características y las posibles patologías de las fibras musculares, oscila entre 20 y 60 ms. El segundo intervalo, sucede cuando la contracción se acelera rápidamente hasta alcanzar la máxima deformación. En ese momento, nos encontramos en el tercer intervalo, donde se produce una estabilización de la respuesta, para, finalmente, empezar, en el cuarto intervalo, un descenso de la misma (Valencic et al., 2001).

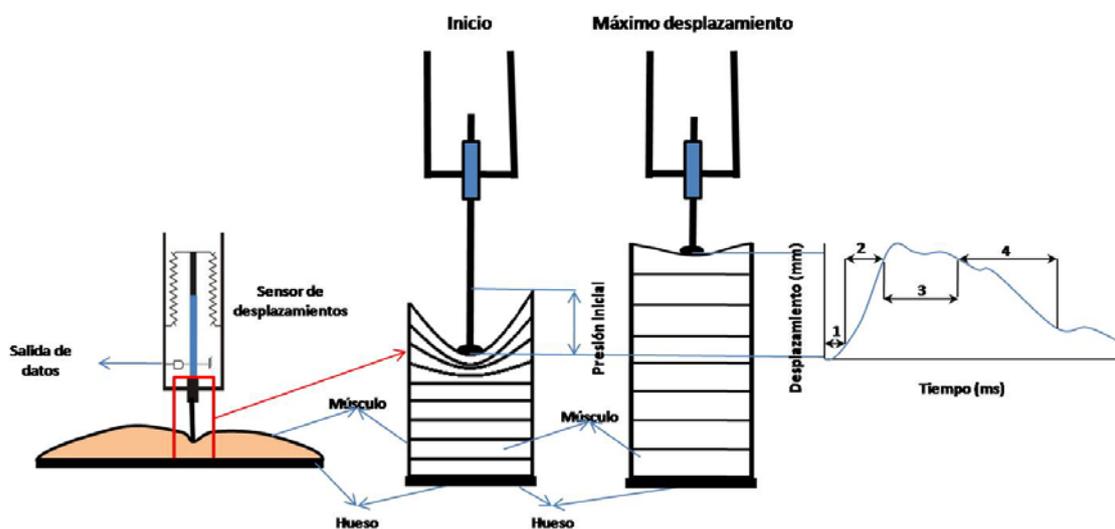


Figura 5. Gráfica de la respuesta muscular a un estímulo eléctrico obtenida mediante TMG, donde 1 representa el tiempo de reacción al estímulo, 2 representa el intervalo cuando la contracción se acelera rápidamente hasta alcanzar la máxima deformación, 3 estabilización de la respuesta y 4 un descenso de la misma.

Atendiendo a la evolución de la gráfica, se deducen los cinco parámetros que se utilizan en este tipo de evaluación y que dependen de la magnitud de los desplazamientos radiales de las fibras transversales musculares y del momento en que estos se producen (Valencic & Knez, 1997; Simunic, 2003). Los parámetros a los que hacemos referencia son (Figura 6): Deformación o desplazamiento máximo radial del vientre muscular (D_m), Tiempo de contracción (T_c), Tiempo de reacción (T_d), Tiempo que mantiene la contracción (T_s) y Tiempo de relajación (T_r).

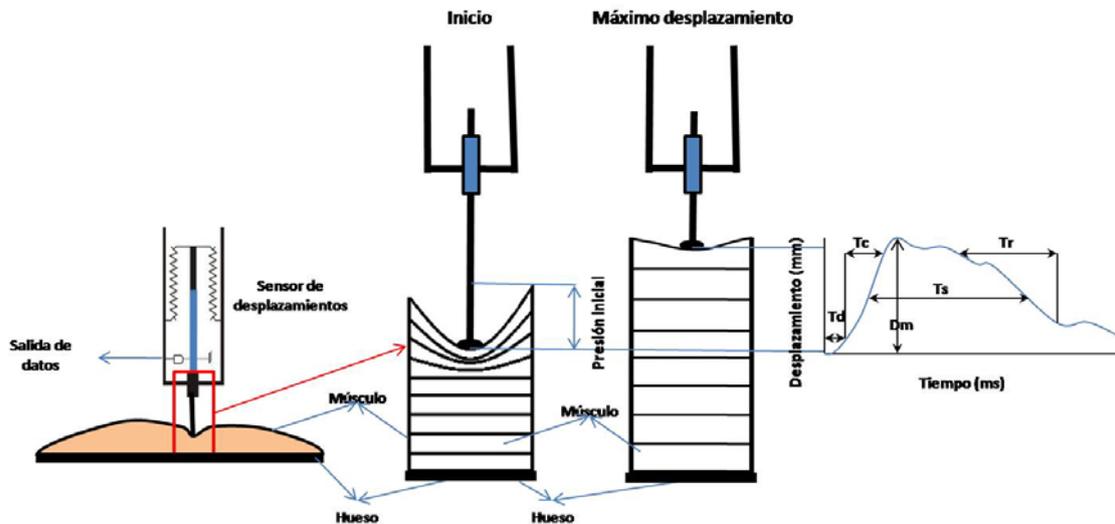


Figura 6. Gráfica de la respuesta muscular a un estímulo eléctrico obtenida mediante TMG. Donde D_m representa la deformación muscular máxima, T_d el tiempo de reacción al estímulo, T_c es el tiempo de contracción, T_s indica el tiempo de mantenimiento de la contracción y T_r representa el tiempo de relajación.

La *Deformación máxima* (D_m) viene dada 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 entrenadas. 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 (Valencic et al., 2001; Dahmane et al., 2001 y Krizaj et al., 2008).

El *Tiempo de reacción* (*retardo o activación* - T_d), representa el tiempo que tarda la estructura muscular analizada en alcanzar el 10% del desplazamiento total observado, tras una estimulación. Como es lógico, su valor dependerá del tipo de fibra dominante en esa estructura, de su estado de fatiga y de su nivel de potenciación y activación (Dahmane et al., 2005).

El *Tiempo de contracción* (T_c) se obtiene en esta metodología, determinando 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, en este caso, el tiempo teórico que se mantiene la contracción. En la TMG se calcula determinando el tiempo que transcurre desde que la deformación inicial 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. En este sentido, existe una correlación importante entre el desplazamiento del vientre muscular y los procesos de contracción muscular, atendiendo a la

dinámica de comportamiento del Calcio Ca^{2+} en el músculo (Belic et al., 2000) y de la relación y actividad de la enzima kinasa de las cadenas ligeras de miosina (KCLM) y la fosfatasa de esas misma proteína, responsables ambas de los procesos de potenciación muscular y recuperación de la situación de partida. Tal mecanismo se ve comprometido en situaciones de fatiga muscular (Requena, 2005).

SOBRE LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Entendemos que no podemos terminar este trabajo sin recordar que es necesario tener en cuenta que la interpretación de los datos y la metodología a emplear en la evaluación, responden a los criterios de individualidad (perfil individual del deportista) y especificidad (características de la modalidad deportiva). Respecto al concepto de individualidad, Krizaj et al. (2008) observaron que el grado de adaptación del sujeto al estímulo eléctrico determina los incrementos de los estímulos (impulsos eléctricos) a emplear en la evaluación, ya que aspectos como: el umbral de activación, la conductancia, el grosor de la piel, la hidratación muscular, la temperatura, etc., influyen, en cada sujeto, sobre la respuesta muscular. En este trabajo, se señala que una elevada sensibilidad impide alcanzar altos niveles de estimulación que impiden evaluar de forma correcta la respuesta muscular. Desde un punto metodológico, los autores recomiendan que, para evitar la fatiga muscular, los tiempos mínimos que deben transcurrir entre cada incremento de estímulo, deben ser superiores a los 10 segundos. En nuestro caso, hemos observado en algunos sujetos el fenómeno contrario, es decir, su elevada tolerancia al dolor hacía que se pudiera llegar a elevados niveles de aplicación del estímulo sin que aparentemente se hubiera alcanzado su respuesta mecánica.

Por lo tanto, la Tensiomiografía (TMG) se muestra como un método de evaluación del tono muscular, no invasivo, fiable y de fácil reproducibilidad que no requiere ningún esfuerzo por parte del sujeto al que se aplica. Se utiliza para evaluar la rigidez, las características mecánicas y la capacidad contráctil de los músculos superficiales mediante la medición del desplazamiento radial de las fibras transversales del vientre muscular, en función del tiempo en que se produce la contracción. Pese a la elevada reproducibilidad que muestra este método, es necesario seguir fielmente un protocolo previamente fijado para cada evaluación: colocación y presión inicial del sensor de desplazamiento; duración del estímulo, así como la separación en tiempo entre cada uno; angulación adecuada para cada articulación; incrementos de los estímulos eléctricos. La interpretación de los datos debe seguir los criterios de individualidad (perfil individual del deportista) y el de especificidad (características de la modalidad deportiva).

BIBLIOGRAFÍA

Belic, A., Knez, N., Karba, R. y 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.

- Burger H, Valencic V, Marincek C. y Kogovsek N. (1996). Properties of musculus gluteus maximus in above-knee amputees. *Clinical Biomechanics*; 11(1): 35–8.
- Dahmane, R., Knez, N., Valencic, V. y 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.
- Dahmane, R., Valencic, V., Knez, N. y 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 and Biological Engineering Computing*, 39: 51-55.
- Dahmane, R., Djordjevic, S., Simunic, B. y Valencic, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle Histochemical and tensiomyographical evaluation. *Journal of Biomechanics*, 38: 2451-2459.
- Djordjevik, S., Valencic, V., Knez, N., Dahmane, R., Jurcic-Zlobec, B., Bednarik, J. Simunic, B., Kersevan, K. y 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.
- Grabljevec K., Simunic B., Kersevan K., Krizaj D., Kosorok V. y Gregoric, M. (2004). Detection of contractile properties of chronically spastic muscles in subjects after traumatic brain injury with tensiomyography (TMG) method. Rehabilitation sciences in the new millenium 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.
- Kersevan, K., Valencic, V., Djordjevic, S. y Simunic, B. (2002). The muscle adaptation as a result of pathological changes or specific training procedures. *Cellular and Molecular Biologic Letters*; 7(2):367–9.
- Knez, N. y Valencic, V. (2000). Influence of impulse duration on skeletal muscle belly response. Proceedings of the ninth Electrocehnical and Computer Science Conference ERK 2000, 21. - 23. September 2000, Portoroz, Slovenia. Ljubljana : IEEE Region 8, Slovenian section IEEE, Vol. B, pp. 301-304.
- Krizaj, D., Simunic, B. y Zagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18: 645-651.
- Praprotnik, U., Valencic, V., Coh, M., Djordjević, S., Knez, N., Simunic, B., Krenker, A. y Kersevan, K. (2000). Modifications of muscle vastus lateralis belly response to twitch stimulation after high intensity exercise. Proceedings of the ninth Electrocehnical and Computer Science Conference ERK 2000, 21. - 23. September 2000, Portorož, Slovenia. Ljubljana : IEEE Region 8, Slovenian section IEEE, Vol. B, pp. 313-316.
- Requena, B. (2005). Efectos de la aplicación de estimulación eléctrica percutánea en relación con la potencia postetánica y la manifestación de la fuerza y la potencia muscular. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- Rodríguez-Matoso, D., Quiroga, M.E., da Silva-Grigoletto, M., Bautista, P., Sarmiento, S. y García-Manso, J.M. (2009). Evaluación de la reproducibilidad de la TMG. II Congreso Internacional de Ciencias de la

- Actividad Física y del Deporte: de la UCAM: "El deporte a la luz de los sistemas complejos". 17-19 de mayo de 2009. Murcia.
- Simunic, B. (2003). Model of longitudinal contractions and transverse deformations in skeletal muscles. Doctoral Thesis. Ljubljana.
- Valencic, V. (1990). Direct measurement of the skeletal muscle tonus. *Advances in External Control of Human Extremities*, 10: 575-584.
- Valencic, V. y Knez, N. (1997). Measuring of skeletal muscles dynamic properties. *Artificial Organs*. 21: 240-242.
- Valencic, V., Djordjevic, S., Knez, N., Dahmane, R., Coh, M, Jurcic-Zlobec, B., Praprotnik, U., Simunic, B., Kersevan, K., Bednarik, J. y Gomina, N. (2000). Contractile properties of skeletal muscles detection by tensiomyographic measurement method. *2000 Pre-Olympic Congress*, Brisbane, Australia, Abstract 507.
- Valencic, V., Knez, N. y Simunic, B. (2001). Tenziomyography: Detection of skeletal muscle response by Means of radial muscle belly displacement. *Biomedical Engineering*, 1: 1-10.
- Valencic, V. (2002). Method for selective and non-invasive detection of skeletal muscles contraction process. International Application Published under Patent Cooperation Treaty (PCT). N° WO 02/074167 A1.