

TENSIOMIOGRAFÍA. UN MÉTODO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES CONTRÁCTILES DE LOS MÚSCULOS. EVALUACIÓN DE LOS FLEXORES Y EXTENSORES DEL TRONCO EN MUJERES JÓVENES

Oscar García García*, Virginia Serrano Gómez** y Rodolfo I. Martínez Lemos*
Universidad de Vigo y Universidad de A Coruña***

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar las propiedades contráctiles de los músculos *erector spinae* (extensor del tronco), *rectus abdominis*, y *obliques externus* (flexor del tronco) en mujeres jóvenes físicamente activas, utilizando una técnica novedosa como es la tensiomiografía (TMG). La muestra estuvo compuesta de 5 mujeres jóvenes, físicamente activas y en un estado saludable. Se ha realizado un análisis descriptivo, una comparación de medias, mediante la prueba de Wilcoxon, y el test de Kruskal-Wallis. Los resultados muestran que existen diferencias significativas entre los tres músculos evaluados, pero no se han encontrado diferencias significativas entre los lados derecho e izquierdo, ni entre las participantes de este estudio. En conclusión, la TMG permite obtener un patrón de respuesta muscular para cada uno de los músculos evaluados.

PALABRAS CLAVE

Tensiomiografía, evaluación muscular, mujer, propiedades contráctiles

TENSIOMYOGRAPH. A METHOD FOR ASSESS THE CONTRACTILE PROPERTIES OF MUSCLES. EVALUATION OF THE TRUNK FLEXORS AND EXTENSORS IN YOUNG WOMEN.

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the contractile properties of erector spinae muscles (extensor of the trunk), rectus abdominis and obliques externus (flexor of the trunk) in physically active young women, using an innovative technique such as the tensiomyography (TMG). The sample consisted of 5 young women, physically active and in a healthy condition. It was carried out a descriptive analysis, a comparison of averages by means of Wilcoxon test and Kruskal-Wallis test. The results show significant differences among the three muscles tested, but it wasn't found significant differences among left and right sides or among the participants in this study. In conclusion, the TMG allows obtaining a muscular response pattern for each of the muscles evaluated.

KEY WORDS

Tensiomyography, muscle assessment, woman, contractile properties.

INTRODUCCION

La evaluación de las propiedades contráctiles de músculos superficiales aislados es posible realizarla mediante el uso de Tensiomiografía (TMG) (Valencic & Knez, 1997; Dahmane et al, 2001; Valencic & Djodjevic, 2001; Valencic et al, 2001; Dahmane et al, 2005; Zagar & Krizaj, 2005). Este método de diagnóstico no invasivo permite la medición de los parámetros del tiempo y del máximo desplazamiento radial del vientre muscular durante su contracción, producida de forma involuntaria como respuesta a un estímulo eléctrico. Esta técnica asume que el desplazamiento radial del vientre muscular detectado por el transductor digital de desplazamiento es proporcional a la fuerza muscular que es capaz de generar el músculo evaluado (Valencic & Djodjevic, 2001).

Para poder evaluar la relación o equilibrio entre diferentes músculos que actúan sobre una determinada articulación o en diferente lado del cuerpo, se puede recurrir a diversas técnicas y herramientas, como la realización de un test comparativo de fuerza máxima, o la comparación de la potencia desarrollada por cada grupo muscular medida con un encoder rotatorio como se ha sugerido desde el trabajo de Demura & Yamaji (2006). No obstante, estos métodos no permiten discriminar entre los músculos que realizan una misma función, por ejemplo extensión de rodilla. En este sentido, la TMG permite detectar y analizar por separado las propiedades de los músculos superficiales de cada individuo, obteniendo información sobre el grado de equilibrio entre los diferentes músculos. El equilibrio articular y muscular se ha señalado como un indicador fundamental, junto con la prevención de lesiones, el dopaje, el control nutricional, dietético y ergogénico, y el control de la composición corporal, para optimizar el rendimiento deportivo y mantener un estado saludable en deportistas activos (García-García y cols, 2009).

El protocolo de evaluación a través de TMG, consiste en aplicar sobre el sujeto relajado, un estímulo eléctrico que provoca una contracción involuntaria, evitando así el factor motivacional. El estímulo va aumentando gradualmente hasta conseguir el máximo desplazamiento radial del músculo (DM) en el menor tiempo de contracción posible (TC), detectado por el sensor magnético digital que recibe la información. Este sensor dispone de un calibrado de gran precisión que permite diferenciar variaciones mecánicas en el vientre muscular de hasta 4 micrómetros (Krizaj et al, 2008).

El objetivo de este estudio es evaluar las propiedades contráctiles de los músculos *rectus abdominus*, *obliques externus* (flexores del tronco) y *erector spinae* (extensor del tronco), a través de los parámetros de tiempo y desplazamiento medidos con tensiomiografía en mujeres jóvenes saludables y físicamente activas. En concreto se trata de determinar la relación que puede existir entre el comportamiento mostrado por los flexores y los extensores del tronco, entre el lado derecho y el lado izquierdo, y en qué medida esta relación es individual en cada participante.

MÉTODOS

Participantes

La muestra estuvo formada por cinco mujeres jóvenes (edad 25 ± 0.7 años, peso 57.2 ± 3.76 kg, altura 162.8 ± 5.93 cm), físicamente activas y en un estado saludable, que dieron su consentimiento después de ser informadas sobre el proceso y los posibles riesgos. Se registró el desplazamiento radial del vientre muscular de los músculos flexores del tronco *Rectus Abdominus* (RA) y *Obliques Externus* (OE), y del músculo extensor del tronco *Erector Spinae* (ES) de ambos lados. El protocolo de investigación siguió, a nivel internacional, las directrices marcadas por la conferencia de Helsinki sobre Investigaciones Biomédicas en Humanos (18th Medical Assembly, 1964; revisada en 1983 en Italia y en 1989 en Hong Kong), y el Acuerdo para la Conservación de los Derechos Humanos y la dignidad respecto a las aplicaciones biológicas y médicas (IR1999; B.O.E. 251, 1999), a nivel nacional.

Protocolo de medición

Las mediciones se realizaron por un experto en el uso de la tensiomiografía, en posición estática y relajada, en posición tumbada supina para medir los flexores del tronco (imagen 1), y en posición tumbada prono para medir el extensor de tronco (imagen 2). La evaluación tuvo lugar después de haber tenido un periodo de descanso de su actividad física habitual de al menos 48 horas.

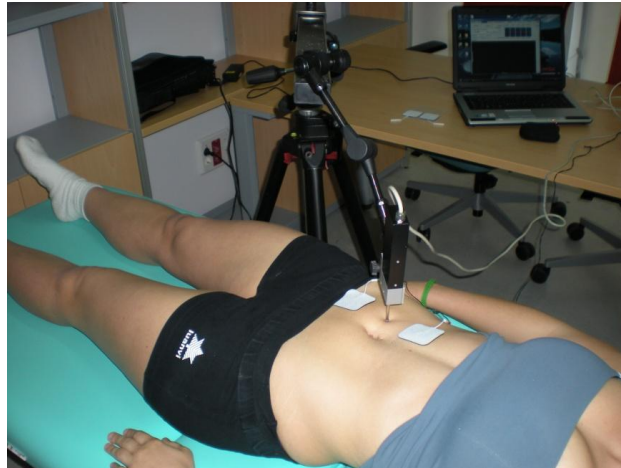


Imagen 1. Punto de medición del RA en posición relajada tumbada supina.

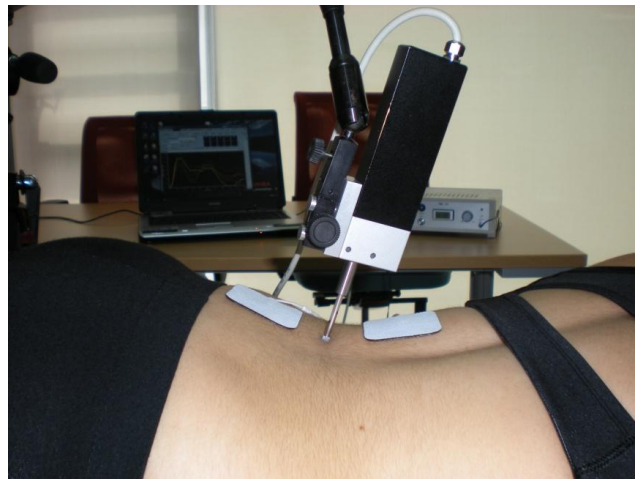


Imagen 2. Punto de medición del ES en posición relajada tumbada prono.

Para medir el desplazamiento radial de cada músculo evaluado se colocó un transductor digital de desplazamiento (GK 40, Panoptik d.o.o., Ljubljana, Slovenia) que dispone de un resorte de 0.17 N mm^{-1} de forma perpendicular a la parte más gruesa del vientre muscular, calibrado para ejercer una presión inicial aproximada de $1.5 \times 10^{-2} \text{ N mm}^{-2}$ en un área de 113 mm^2 como se ha señalado desde el trabajo de Dahmane et al (2001). La situación del sensor fue determinada de forma individual en cada músculo evaluado debido a la existencia de diferencias anatómicas individuales señaladas ya por Valencic et al (2001). La parte más gruesa del vientre muscular fue determinada visualmente y por palpación en una contracción concéntrica voluntaria, y siguiendo las indicaciones anatómicas de Delagi et al (1975). Una vez determinada fue marcada con un lápiz dermatológico. La posición de los electrodos autoadhesivos ($5 \times 5 \text{ cm}$, 2 mm/h . Conlin Medical Supply Co., Ltd, China) fue situada de forma simétrica a 5 cm respecto al sensor, el electrodo positivo por encima del punto de medición en la parte proximal, y el electrodo negativo por debajo del punto de medición en la parte distal. La elección de la distancia de los electrodos al sensor fue debida a que se consigue una mayor respuesta muscular a 5 cm que a 3 cm, lo que

podría ser debido a un mayor reclutamiento de fibras musculares (Tous-Fajardo et al, 2010). Además, el punto de máximo desplazamiento del vientre muscular fue comprobado en todas las medidas a través de la obtención de la curva óptima característica de cada músculo, utilizando algunas mediciones con baja intensidad en el área determinada. Fue usado un electroestimulador TMG-S2 (EMF-FURLAN & Co. d.o.o., Ljubljana, Slovenia).

La evaluación de tensiomiografía se realizó por medio de un estímulo eléctrico de 1 milisegundo de duración cuya intensidad se fue incrementando de 10 en 10mA desde los 40mA hasta encontrar la máxima respuesta del músculo o alcanzar los 110mA (maximal stimulator output). Entre estímulos consecutivos se dejó un tiempo de espera de 10 segundos para evitar efectos de fatiga en el músculo, tal y como se indica en el trabajo de Krizaj et al (2008). En cada medición se obtuvieron los parámetros: máximo desplazamiento radial del músculo (Dm) medido en mm, tiempo de contracción (TC) determinado entre el 10% y el 90% de la máxima respuesta, medido en ms, tiempo de reacción (TD) determinado entre el 0 y el 10% de la máxima respuesta, tiempo de sustentación (TS), determinado entre el 50% de la máxima respuesta de la curva ascendente hasta volver al 50% de la respuesta, durante la relajación en la curva descendente, y tiempo de relajación (TR) determinado entre el 90% y el 50% de la respuesta máxima en la curva descendente.

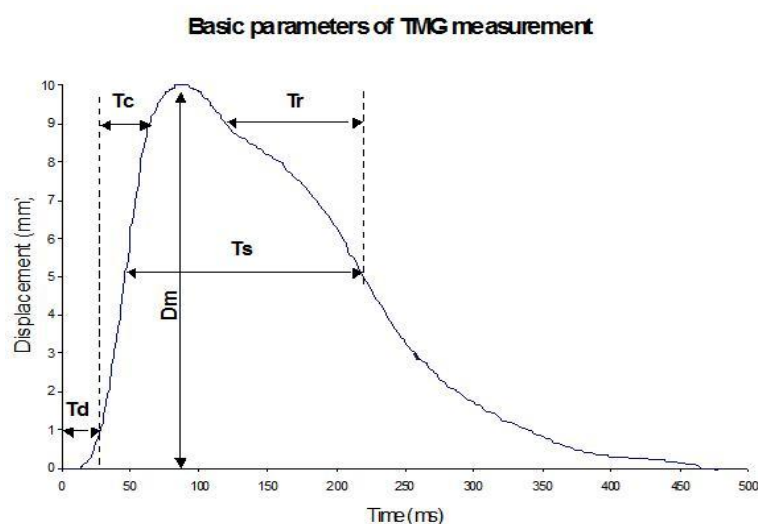


Figura 1. Parámetros de medición de TMG

Estos parámetros han mostrado tener una buena fiabilidad y reproductibilidad en su medición con un coeficiente de correlación intraclase (ICC) de 0.98 para Dm, 0.97 para TC, 0.94 para TD, 0.89 para TS, y 0.86 para TR, mostrando una media normalizada de error de entre 0.5-2% (Krizaj et al, 2008). En esta línea, Tous-Fajardo et al (2010) encontraron un ICC de 0.97 para Dm, 0.92 para TC, 0.86 para TD, 0.96 para TS, y 0.77 para TR, obteniendo una buena reproductibilidad para todos los parámetros excepto para TR, y siendo el Dm el parámetro con el intervalo de confianza al 95% más alto (0.92-0.99). También Rodríguez-Matoso et al (2010) han informado de un alto nivel de reproductibilidad en las tres mediciones realizadas en el recto femoral, en 25 sujetos moderadamente activos, con fuertes correlaciones de $r \geq 0.9$ para TC, TS y TR y de $r \geq 0.8$ para Dm y TD.

ANÁLISIS DE DATOS

Se presentan los estadísticos descriptivos, media y desviación típica. Para la comparación de medias, debido al reducido tamaño de la muestra ($n=5$) y al no cumplimiento del supuesto de normalidad, se aplicó la prueba de Wilcoxon ($P<0.05$), y la prueba de Kruskal-Wallis para contrastar los valores entre las participantes ($P<0.05$). Los datos fueron analizados por el

paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences; SPSS Inc., Chicago, IL, USA) para Windows versión 17.0.

RESULTADOS.

A nivel descriptivo, se presenta en la tabla 1, los valores medios y sus desviaciones típicas de todos los parámetros recogidos en este trabajo.

Tabla 1. Valores descriptivos de ambos lados, medidos en milisegundos (TC, TD, TS y TR) y en milímetros (DM). Media y desviación típica.

TIEMPO Y DESPLAZAMIENTO						
	Lado	TC	DM	TD	TS	TR
ERECTOR SPINAE	Derecho	15.22 ± 1.69	4.44 ± 0.93	18,76 ± 3.03	39.86 ± 13.53	19.72 ± 8.83
	Izquierdo	15.98 ± 1.71	4.64 ± 0.35	18.46 ± 1.95	92.38 ± 38.47	69.56 ± 33.83
RECTUS ABDOMINIS	Derecho	33.72 ± 3.51	7.1 ± 3.53	22.14 ± 2.21	185.26 ± 66.46	106.06 ± 43.38
	Izquierdo	32.62 ± 8.18	8.78 ± 4.37	22.66 ± 0.83	187.42 ± 46.95	110.90 ± 43.61
OBLIQUES EXTERNUS	Derecho	31.68 ± 8.58	5.56 ± 2.46	23.72 ± 2.84	178 ± 85.87	95.60 ± 64.94
	Izquierdo	34.42 ± 7.94	5.88 ± 1.77	23.66 ± 1.92	176.92 ± 78.78	124.74 ± 74.85

Los resultados de la tabla 1 muestran que los *Erector Spinae* son los que menor tiempo de contracción tienen y por tanto los más rápidos. Los *Rectus Abdominis* y los *Obliques Externus* parecen presentar un tiempo de contracción muy similar. En cuanto al DM, el músculo que más desplazamiento radial presenta son los *Rectus Abdominis*, por el contrario, son los *Erector Spinae* los que menor desplazamiento radial presentan. El tiempo de reacción, el tiempo de mantenimiento de la contracción, y el tiempo de relajación (TD, TS y TR), es inferior en los ES que en los RA y OE, presentando los dos flexores de tronco valores similares.

No se han encontrado diferencias significativas entre el lado derecho e izquierdo (tabla 2) de cada uno de los músculos. Tan sólo el TS y el TR del *Erector Spinae* muestran una ligera tendencia a ello ($Z=-1,753$; sig=,080).

Tabla 2. Estadísticos de contraste de Wilcoxon para lado derecho-lado izquierdo.

CONTRASTE ENTRE LADO DERECHO Y LADO IZQUIERDO						
	Wilcoxon	TC	DM	TD	TS	TR
ERECTOR SPINAE	Z	-0.405	-0.271	-0.365	-1,753	-1,753
	Sig.	0.686	0.786	0.715	0.080	0.080
RECTUS ABDOMINIS	Z	-0.135	-1,483	-0.674	-0.405	-0.000
	Sig.	0.893	0.138	0.500	0.686	1.000
OBLIQUES EXTERNUS	Z	-0.405	-0.677	-0.271	-0.135	-0.674
	Sig.	0.686	0.498	0.786	0.893	0.500

En la siguiente tabla (tabla 3) se puede observar que no existen diferencias significativas entre las cinco participantes de esta muestra, sólo el TD y el DM del *Erector Spinae* tienen cierta tendencia a ello.

Tabla 3. Estadísticos de contraste de Kruskal-Wallis para los participantes del estudio

		CONTRASTE ENTRE PARTICIPANTES				
		TC	DM	TD	TS	TR
ERECTOR SPINAE	Chi-cuadrado	5.301	8.420	8.341	3.055	2.727
	gl	4	4	4	4	4
	Sig.	0.258	0.077	0.080	0.549	0.604
RECTUS ABDOMINIS	Chi-cuadrado	4.582	7.964	4.003	1.745	1.646
	gl	4	4	4	4	4
	Sig.	0.333	0.0903	0.406	0.782	0.800
OBLIQUES EXTERNUS	Chi-cuadrado	6.281	5.673	3.979	0.764	0.764
	gl	4	4	4	4	4
	Sig.	0.183	0.225	0.409	0.943	0.943

A continuación, para probar en qué medida existen diferencias en función del músculo evaluado, se ha realizado una comparación de medias a través de la prueba de Wilcoxon. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 4. Como se puede observar existen diferencias significativas entre el ES y los flexores del tronco, RA y OE, en todas las variables evaluadas, y también entre ambos flexores del tronco respecto a su DM.

Tabla 4. Estadísticos de contraste de Wilcoxon para los músculos

		CONTRASTE ENTRE MÚSCULOS			
		Wilcoxon	RA-ES	OE-ES	OE-RA
TC	Z		-2.803	-2.803	-0.255
	Sig		0.005	0.005	0.799
DM	Z		-2.142	-1.122	-2.075
	Sig		0.032	0.262	0.038
TD	Z		-2.599	-2.599	-1.601
	Sig		0.009	0.009	0.109
TS	Z		-2.701	-2.701	-0.561
	Sig		0.007	0.007	0.575
TR	Z		-2.293	-2.395	-0.051
	Sig		0.022	0.017	0.959

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados muestran que existen diferencias significativas entre los músculos evaluados por lo que la TMG permitiría diferenciar y comparar, entre ellos, las propiedades contráctiles. En este trabajo, los extensores del tronco (ES) es más rápido en su respuesta y su contracción dura menos que los flexores del tronco (RA y OE), que muestran un comportamiento muy similar entre ellos. Dentro de estos parámetros de tiempo, el TC se ha relacionado de forma significativa con la distribución espacial de los diferentes tipos de fibras determinados por método histoquímico (Dahmane et al, 2001; Dahmane et al, 2005), de tal forma que podría ser una buena técnica no invasiva para poder estimar la distribución de fibras.

Los *Erectores Spinae* son los que menos desplazamiento realizan (DM), y en este caso, los flexores del tronco también presentan diferencias significativas entre ellos, consiguiendo mayor desplazamiento el RA respecto al OE. Este parámetro está asociado al tono muscular (muscle stiffness), que fue definido por McNair et al (1992) como la relación del cambio en la fuerza aplicada de un músculo como resultado del cambio de longitud.

Como se ha podido comprobar, no se han encontrado diferencias significativas entre los lados derecho e izquierdo ni entre las participantes de este estudio. Por tanto, parece que la muestra objeto de estudio no presenta ninguna asimetría lateral, en estos músculos del tronco;

quizá susceptible de ser provocada por el entrenamiento intensivo de un deporte, que incita la diferenciación en el desarrollo de unos determinados músculos, fruto de su modelo de rendimiento mecánico, y donde es necesario cuidar más el equilibrio muscular, llegando a establecer unos valores de referencia para optimizar el rendimiento y evitar posibles lesiones.

En definitiva, los resultados obtenidos indican que con el uso de la TMG se puede obtener un patrón de respuesta muscular, en cuanto al tiempo y al desplazamiento, para cada uno de los músculos evaluados, en este caso significativamente distinto, tal y como cabría esperar entre los extensores y los flexores del tronco. Este hecho permite confirmar la necesidad de individualizar la carga de entrenamiento para cada uno de ellos. Por tanto, se trata de un buen método de evaluación, aunque es necesario observar de forma escrupulosa el protocolo de obtención de los valores, ya que, tal y como señalan Rodríguez-Matoso et al (2010), un error en el procedimiento metodológico durante la medición puede causar pequeños cambios en el resultado final.

REFERENCIAS

- 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 & Biological Engineering & Computing*, 39 (1), 51-55.
- Dahmane, R., Djordjevic, S., Simunic, B. y Valencic, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle: histochemical and tensiomiographical evaluation. *Journal of Biomechanics*, 38(12), 2451-2459.
- Delagi, E.F., Perotto, A., Lazzeti, J. y Morrison, D. (1975). *Anatomic guide for the electromyographer: the limbs*. Springfield: Charles C. Thomas.
- Demura, S. y Yamaji, S. (2006). Comparison between muscle power outputs exerted by concentric and eccentric contractions. *Sports Sciences for Health*, 1, 137-141.
- García García, O., Cancela Carral, J.M., Oliveira Nuñez, E. y Mariño Torrado, R. (2009) ¿Es compatible el máximo rendimiento deportivo con la consecución y mantenimiento de un estado saludable del deportista? *Revista Internacional de Ciencias del Deporte (RICYDE)*, 14, 19-31.
- 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(4), 645-651.
- McNair, P.J., Wood, G.A. y Marshall, R. (1992). Stiffness of the hamstring muscles and its relationship to function in anterior cruciate deficient individuals. *Clin Biomech.* 7, 131-137.
- Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., Vaamonde, D., Silva-Grigoletto, M.E. y 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.
- Tous-fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Moreno, D. y 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. y Knez, N. (1997). Measuring of skeletal muscles dynamic properties. *Artificial Organs*, 2(3), 240-242.
- Valencic, V. y Djordjevic, S. (2001). Influence of acute physical exercise on twitch response elicited by stimulation of skeletal muscles in man. *Biomedical Engineering*, 2, 1-4.
- Valencic, V., Knez, N. y Simunic, B. (2001). Tenziomiography: detection of skeletal muscle response by means of radial muscle belly displacement. *Biomedical Engineering*, 1, 1-10.
- Zagar, T. y Krizaj, D. (2005). Validation of an accelerometer for determination of muscle belly radial displacement. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 43(1), 78-84.