

Relación entre la fuerza y la electromiografía (EMG) del vasto interno del cuádriceps, en movimientos de media sentadilla con carga

A. GARCÍA-FOGEDA, R. USACH MINGUILLÓN.
Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña.
Lleida.

Resumen

El objetivo del presente trabajo es analizar la relación existente entre la señal electromiográfica (EMG) del vasto interno del cuádriceps y los registros de fuerza vertical en una plataforma de fuerzas, durante un movimiento repetitivo y continuo de media sentadilla, con una carga del peso corporal (PC). Para cuantificar dicha relación se ha estimado el coeficiente de correlación bivariada de Pearson con el software SPSS v.11 tanto en la totalidad del movimiento, como por separado en fases excéntricas y concéntricas. Los resultados muestran una buena correlación lineal media de $0,818 \pm 0,125$ para el movimiento global, y $0,813 \pm 0,143$ para la media del excéntrico y $0,823 \pm 0,108$ para la del concéntrico. Dichos resultados están de acuerdo con algunos estudios que muestran una relación lineal y en desacuerdo con otros que muestran una relación no lineal (más compleja). Faltan estudios con movimientos repetitivos y continuos, que son los más habituales en el entrenamiento deportivo.

Palabras clave: EMG, fuerza, excéntrico, concéntrico, relación

Introducción

Está ampliamente aceptado que la señal electromiográfica (EMG) está relacionada con la tensión muscular o fuerza ejercida por un músculo, pero es difícil de definir cuantitativamente [9,10]. La fuerza muscular no puede ser medida directamente [6], pero la EMG se puede obtener por electrodos de superficie o de cable (inserción) [18,19]. A priori, podríamos esperar una relación directa entre EMG y fuerza [9,10], ya que la actividad eléctrica del músculo está determinada por el número de fibras y su frecuencia de excitación [4], los mismos factores que determinan la fuerza muscular [9,10].

A pesar de la multitud de estudios que han pretendido cuantificar dicha relación, todavía hay

controversia acerca de su linealidad [2,4,19,21]. Algunos motivos de esta discrepancia son: las diferencias en las técnicas de medición, los procedimientos, los equipos de medición, la variedad de músculos investigados, el tipo de contracción, el tipo de electrodos y su ubicación, las técnicas de normalización y suavizado [9,10,18,22]. Todas estas variables han dado como resultado en contracciones isométricas o isotónicas a velocidad constante [18], relaciones EMG-fuerza lineales [3,7,12-16,22], y relaciones no lineales [8,14,22], pudiendo ser estas cuadráticas, parabólicas o funciones más complejas [17,19]. Hay que recalcar el factor de la composición muscular, ya que en los músculos con predominancia de fibras tipo I (como el sóleo y aductor del pulgar), la relación EMG-fuerza es de tipo lineal, no siendo así en los de composición mixta (bíceps y tríceps braquial) [5,9,14,18,20,22]. Estos mismos autores apuntan que dicha relación depende del ratio de fuerza de la contracción, siendo lineal hasta el 30-40% de la contracción máxima voluntaria.

Otro factor de confusión, ha sido el deseo de extraer conclusiones en la interpretación de los

Correspondencia:

A. García-Fogeda, Prof. Titular de Biomecánica:

agfogeda@inefc.es

R. Usach Minguillón, Becario Departamento C. Salud y

Condición Física:

robusach@hotmail.com

resultados, en muchos de los primeros estudios no se especifican como se procesó la señal EMG, tan solo pretendían demostrar la eficacia del uso de la EMG para describir la señal muscular [1,9,10].

Por lo que respecta a movimientos dinámicos, se añade la dificultad de los cambios momentáneos de la musculatura en la relación músculo-piel [9,18]. En un estudio antiguo, ya se encontró relación lineal entre la EMG integrada (iEMG) y la velocidad en el movimiento concéntrico, y en cambio, el excéntrico la iEMG era independiente de la velocidad [3,13].

Desde un punto de vista fisiológico, se encontró que la relación más importante que mostraba la iEMG era con el trabajo mecánico [6,7]. Otro modelo estudiado, relacionado con la ecuación de Hill, mostraba que la relación iEMG-fuerza parecía encontrar una transformación no lineal mejor que la lineal, especialmente en contracciones rápidas [11]. En relación a este modelo basado en la ecuación de Hill, se encontró que durante acciones excéntricas, la magnitud de la EMG era independiente de manera relativamente constante de la velocidad de contracción, y que para cualquier fuerza generada, la magnitud de la EMG fue generalmente mayor durante una acción concéntrica que durante una excéntrica a la misma velocidad [3,13].

En definitiva, aunque parece haber evidencias de la existencia de una relación algebraica simple entre la iEMG y la respuesta muscular (fuerza, trabajo) en tareas isométricas, no parece que sea igual en condiciones dinámicas [19]. Las dinámicas del movimiento del miembro, las relaciones no lineales de la fuerza-velocidad, contribuyen a extender la no linealidad entre la iEMG y la fuerza [9].

Así pues, el propósito del estudio fue analizar la relación EMG-fuerza en un movimiento dinámico repetitivo, comparando dichas evoluciones por eventos separados (excéntricos y concéntricos). Somos conscientes de que la medición de la EMG se ha realizado de forma analítica del músculo Vasto interno, mientras que la medición de la fuerza se ha hecho de un movimiento global, en el que participan diversos músculos, entre ellos el Vasto interno, como motor primario tanto en la fase excéntrica como en la concéntrica.

Métodos

Los sujetos fueron 4 estudiantes varones del Inefc-Lleida acostumbrados a entrenar con sobrecarga, cuya edad media era $22,5 \pm 1,29$ años, talla de $184,0 \pm 4,83$ cm, y masa de $81,3 \pm 6,71$ kg.

El material utilizado fue un cicloergómetro Monark® para el calentamiento, una barra olímpica (condicionada para la nuca) con sus topes, 350 Kg (en discos), soportes para la barra, cinturones de halterofilia, electromiógrafo Myosystem 2000 de la casa Noraxon® con 4 canales, y el software Myo 2000, electrodos, plataforma de fuerzas Dinascan 600® y el software DINASCAN IBV v.8., un sistema de sincronismo mediante señales TTL, que activa simultáneamente un LED luminoso, el registro de la plataforma de fuerzas y el electromiógrafo, 3 PCs y el paquete informático office 2003 y el software SPSS v.11.

Siempre se requirió de 2 colaboradores por cuestiones de seguridad en trabajos con pesos libres. La metodología utilizada fue directa, ya que los aparatos utilizados registran directamente la fuerza aplicada sobre el suelo y la señal electromiográfica de superficie. Respecto a los procedimientos, el día del test los sujetos siguieron un protocolo de calentamiento común consistente en 5 minutos en el cicloergómetro a 50 watts de potencia y a 60 rpm, movilidad articular de tobillos, rodillas y cintura pélvica, 20 repeticiones de sentadilla sin carga, 15 repeticiones de sentadilla con una carga de 1/3 del peso corporal, estiramientos de tren inferior: gemelos, isquiotibiales, cuádriceps y aductores.

Seguidamente se procedió al pesaje del sujeto en la plataforma de fuerzas, y la colocación de los electrodos, limpiando y rasurando la superficie cutánea, los electrodos alineados según la orientación de las fibras en el vientre muscular del vasto interno del muslo derecho, separados 2cm, el cableado sujeto en la cadera, por dentro de las mallas, de manera que los movimientos de baja frecuencia quedaron minimizados.

Finalmente se ejecutó el test, 4 repeticiones de media sentadilla con una carga del peso corporal (PC), y durante la ejecución se procedió al registro de la EMG, con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz, y al registro de la fuerza con una frecuencia de muestreo de 500 Hz. Se requirió de dos colaboradores para levantar la barra y ayudar a situar en posición al sujeto que realizaba el test.

Resultados

Se muestra, a modo de ejemplo (Fig.1), la comparación gráfica de la EMG y la fuerza de uno de los eventos realizados por un sujeto en las 4 repeticiones (entendemos evento, como parte del movimiento global, o sea, cada movimiento de 4 repeticiones contiene 8 eventos: 4 excéntricos y 4 concéntricos).

Se muestra también los resultados de las correlaciones lineales divariadas de Pearson realizada con el software SPSS v.11 para cada evento de cada sujeto (Tabla 1), así como un

resumen con la media de las correlaciones y las desviaciones estándar (DE), tanto de manera global, como separando las categorías de los eventos excéntrico-concéntrico (Tabla 2).

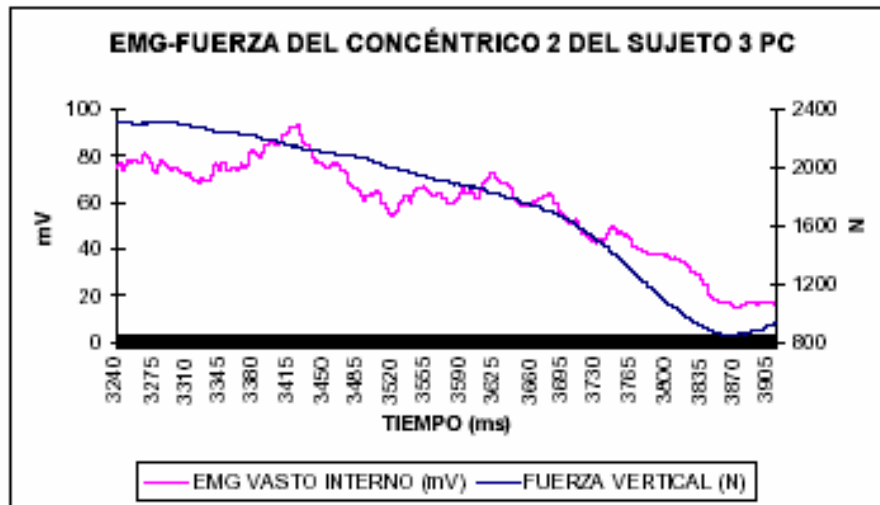


Figura 1. Evolución a través del tiempo de la EMG y la fuerza en el evento 2º concéntrico del movimiento del sujeto 3. La escala de la izquierda corresponde a la EMG (mV) y la de la derecha a la fuerza (N).

CORRELACIONES EMG-FUERZA				
	EXC 1	CON 1	EXC 2	CON 2
SUJETO 1 PC	0,925	0,814	0,540	0,531
SUJETO 2 PC	0,738	0,934	0,839	0,772
SUJETO 3 PC	0,845	0,886	0,920	0,951
SUJETO 4 PC	0,854	0,842	0,906	0,942
	EXC 3	CON 3	EXC 4	CON 4
SUJETO 1 PC	0,672	0,788	0,450	0,793
SUJETO 2 PC	0,850	0,786	0,904	0,668
SUJETO 3 PC	0,933	0,819	0,903	0,836
SUJETO 4 PC	0,844	0,897	0,878	0,912

Tabla 1. Correlaciones lineales entre las evoluciones de la EMG y la fuerza de cada evento de cada sujeto.

RESUMEN	MEDIA	DE
Todos datos	0,818	0,125
Sólo Exc	0,813	0,143
Sólo Con	0,823	0,108

Tabla 2. Resumen de las medias y las desviaciones estándar (DE) de todos los eventos, y agrupados por categorías de excéntricos y concéntricos.

Discusión

Como ya se ha apuntado, la relación EMG-fuerza depende de la composición muscular (tipo de fibras musculares) [5,9,14,18,20,22], y en el caso de nuestro estudio, el músculo analizado ha sido el vasto interno del muslo derecho, así que comparamos nuestros resultados (existe una correlación lineal de $0,818 \pm 0,125$) con los informes existentes que han estudiado dicha la musculatura del cuádriceps [9]. Moritz, Svantesson y Haffajee (1973), citado en [9], Komi y Vitasalo (1976), citado en [9], Thorstensson et al (1976), citado en [9], Komi y Karlsson (1978), citado en [9], Hakkinen y Komi (1983), citado en [9], todos ellos en contracciones isométricas, encuentran relaciones no lineales, en cambio, otros estudios han encontrado relaciones lineales como en nuestro caso: Bigland-Ritchie y Woods (1974), citado en [9],[22], Seyfert y Kunkel (1974), citado en [9], Giroud y Gonon (1986), citado en [9], siendo el primero en situación isotónica y el resto en isométrica.

Por lo que respecta a la diferencia entre registros en régimen excéntrico y régimen concéntrico, nosotros no encontramos diferencias en la relación existente entre ellos ($0,813 \pm 0,143$ para el excéntrico y $0,823 \pm 0,108$ para el concéntrico), así que no coincidimos con la afirmación de que para cualquier fuerza generada, la magnitud de la EMG es generalmente mayor durante una acción concéntrica que durante una excéntrica [3,13]. No se ha podido comparar los resultados con otros estudios dinámicos y repetitivos como el nuestro por no hallarse en la bibliografía, esta, refleja multitud de estudios en situaciones isométricas [9,10], pero pocos en situaciones dinámicas y menos aún con ciclos de estiramiento acortamiento (CEA) repetitivos y continuos.

Conclusiones

Hemos hallado una correlación lineal suficientemente alta ($0,818 \pm 0,125$) entre la señal EMG y la fuerza registrada en movimientos de media sentadilla repetitivos y continuos, y no se ha hallado diferencias apreciables en dicha correlación entre las fases excéntricas ($0,813 \pm 0,143$) y concéntricas ($0,823 \pm 0,108$).

Existe también una fuerte variabilidad entre los sujetos, ya que en algunos eventos, el sujeto 1 da correlaciones muy por debajo de la media.

Creemos que hay que investigar más en el camino del estudio en movimientos repetitivos continuos, ya que es difícil encontrarlos en la

bibliografía existente, y en el ámbito del entrenamiento, son los movimientos más utilizados.

Bibliografía

1. **Basmajian JV, Clifford HC, McLeod WD, Nunnally HN.** Computers in electromyography. Baltimore: Butterworths, 1975.
2. **Basmajian JV, De Luca CJ.** Muscles alive: their functions revealed by electromyography. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985.
3. **Bigland B, Lippold OC.** The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscles. *J Physiol.* 1954;123-213.
4. **Bigland-Ritchie B.** EMG/force relations and fatigue of human voluntary contractions. *Exer Sport Sci Rev.* 1981;9:75-117.
5. **Bigland-Ritchie B, Kukulka CG, Lippold OC, Woods JJ.** The absence of neuromuscular transmission failure in sustained maximal voluntary contractions. *J Physiol (Lond).* 1982;330:265-78.
6. **Boussiet S.** EMG and muscle force in normal motor activities. *New developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology.* 1973:547-83.
7. **Boussiet S, Goubel F.** Integrated electromyographical activity and muscle work. *J Appl Physiol.* 1973;35(5):695-702.
8. **Bronks R, Brown, JM.** IEMG/force relationships in rapidly contracting human hand muscles. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 1987;27(8):509-15.
9. **Cabri J, Claris JP.** Evaluation of neuromuscular tests currently in use with special reference to isokinetic dynamometry and kinesiological electromyography. Documento interno inédito. Vrije Universiteit Brussel, Faculty of Medicine & Pharmacy, Dept Experimental Anatomy. Bruselas, 1992.
10. **Claris JP, Cabri J.** Electromyography and the study of sports movements: A review. *J Sports Science.* 1993;11:379-448.
11. **Hof MJ, van den Bergh JW.** The linearity between the weighted sum of the EMGs of the human triceps surae and the total torque. *J Biomechanics.* 1977;10:529-39.
12. **Inman VT, Ralston HJ, Saunders CM, Feinstein B, Wright EW.** Relation of human electromyogram to muscular tension. *EEG Clin Neurophysiol.* 1952;4:187-94.
13. **Komi, PV.** Measurement of the force-velocity relationship in human muscle under concentric and eccentric contractions. *Biomechanics* 1973;III:224-9.
14. **Lawrence JH, De Luca CJ.** Myoelectric signal vs. force relationship in different human muscles. *J Appl Physiol.* 1983;54:1653-9.
15. **Lippold OCJ.** The relation between integration action potentials in a human muscle and his isometric tension. *J Physiol.* 1952;117:492-9.
16. **Milner-Brown HS, Stein RB.** The Relation Between the Surface Electromyogram and Muscular Force, *J Physiol.* 1975;246:549-69.

17. **Nightingale A.** The graphic representation of movement. II. relationship between muscle force and the EMG in the stand-at-ease position. *Ann. Phys. Med.* 1960;5:187-ss.
18. **Onishi H, Yagi R, Akasaka K, Momose K, Ihashi K, Handa Y.** Relationship between EMG signals and force in human vastus lateralis muscle using multiple bipolar wire electrodes. *J Electromyography and Kinesiology.* 2000;10:59-67.
19. **Perry J, Bekey GA.** EMG-force relationship in skeletal muscle. *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering.* 1981;12:1-22.
20. **Solomonow M, Guzzi A, Baratta R, Shoji H, D'Ambrosia R.** Emg-force model of the elbows antagonistic muscle pair. *American J of Physical Medicine.* 1986;65(5):223-44.
21. **Solomonow M et al.** Electromyogram power spectra frequencies associated with motor unit recruitment strategies. *J Appl Physiol.* 1990;68:177-85.
22. **Woods JJ, Bigland-Ritchie B.** Linear and non-linear surface EMG/force relationships in human muscles: An anatomical/functional argument for the existence of both. *American J of Physical Medicine.* 1983;62(6):287-99.