

RESPUESTA TENSIOMIOGRÁFICA AGUDA ASOCIADA AL ENTRENAMIENTO MUSCULAR CON SOBRECARGA EXCÉNTRICA EN JÓVENES FUTBOLISTAS DE ÉLITE



Autor: Antonio Vallejo Espinosa

Titulación: Grado en Ciencias de la
Actividad Física y del Deporte

Curso: 4º



Índice

| | |
|--|----|
| 1. Resumen | 3 |
| 2. Justificación-Marco Teórico..... | 4 |
| 3. Material y Métodos | 8 |
| 3.1. Diseño del estudio y procedimiento | 8 |
| 3.2. Muestra | 8 |
| 3.3. Ejercicios y dispositivos de entrenamiento..... | 9 |
| 3.4. Test de potenciación máxima | 10 |
| 3.5. Parámetros tensiomiográficos | 10 |
| 3.6. Análisis estadístico..... | 12 |
| 4. Desarrollo | 12 |
| 4.1. Resultados | 12 |
| 4.2. Discusión | 13 |
| 5. Referencias Bibliográficas..... | 15 |

1. RESUMEN

El objetivo principal de este estudio es el de medir la respuesta tensiomiográfica aguda en jóvenes futbolistas de élite tras un entrenamiento de fuerza enfocado a la musculatura de la rodilla, con sobrecarga excéntrica. Para ello, un total de dieciocho jugadores de fútbol (edad = 17 ± 1.2 años; altura = $178 \pm 2,34$ cm; peso = 71 ± 4.56 kg; IMC = 19.12 ± 2.45) pertenecientes a la cantera de un equipo profesional de fútbol de la liga española realizaron tres sesiones de entrenamiento: una situación control, con un calentamiento en cicloergómetro (CON), un entrenamiento de fuerza con sobrecarga excéntrica, mediante tecnología Yo-Yo®, focalizado en la musculatura isquiosural (EXP-ISQ) y un entrenamiento de las mismas características que el anterior, pero enfocado a la musculatura cuadricepsal (EXP-Q). Inmediatamente después de cada una de las sesiones, se realizó una tensiomiografía (TMG), analizando una curva desplazamiento-tiempo sobre el vasto medial (VM) tras EXP-Q y sobre el bíceps femoral (BF) tras EXP-ISQ. Los resultados reflejaron un descenso de todos los tiempos de contracción, resultando significativos sólo Tc ($p < 0.01$), Ts ($p < 0.01$) y Td ($p = 0.001$) para el VM y en Tr ($p < 0.05$) y Td ($p < 0.05$) en el caso del BF. En base a estos datos podemos concluir que la carga planificada para el entrenamiento permite una activación de la musculatura implicada, no desarrollándose en ningún caso una respuesta tensiomiográfica asociada a fatiga muscular local.

Palabras clave: entrenamiento de fuerza, sobrecarga excéntrica, tensiomiografía.

2. JUSTIFICACIÓN-MARCO TEÓRICO.

La fuerza es una cualidad física básica que determina la eficacia del rendimiento en el deporte (Hicks et al., 2011). Son numerosos los autores que coinciden en el desarrollo de esta cualidad como base de la preparación en la mayoría de las disciplinas deportivas. En este sentido, Seirul-lo (1998) la define como la única capacidad condicional o la base de todas las demás cualidades. Para Cometti (1999), la fuerza se trata del agente del progreso de todos los deportes explosivos, entre ellos el fútbol. Por su parte, Tous-Fajardo (2007) llega a la conclusión de que la fuerza es la única cualidad física básica y solo a partir de su desarrollo pueden llegar a expresarse las demás.

Cada deporte varía en sus exigencias de fuerza. Así, la mayoría de las acciones frecuentes en los deportes de equipo, entre ellos el fútbol, se realizan aplicando una fuerza a una intensidad submáxima (Tous-Fajardo, 2007). De esta forma, en el caso del fútbol, son frecuentes acciones de alta intensidad como aceleraciones, sprints, saltos, cambios de dirección..., donde la fuerza juega un papel fundamental (Requena et al. 2009). Atendiendo a las demandas y exigencias de esta cualidad dentro del ámbito deportivo, son numerosos los estudios que demuestran la eficacia de los entrenamientos de fuerza para optimizar el rendimiento deportivo general (Baker, 1996), así como en acciones específicas de fútbol, como el pueden ser el chut (Taïana et al., 1993) o el sprint y los saltos (Wisløff et al., 2004).

Por otro lado, existen estudios que demuestran la relación directa que existe entre el entrenamiento de fuerza y una reducción del índice de lesiones deportivas (Caraffa et al., 1996; Alkner et al., 2003; Zebis et al., 2008; Barendrecht et al., 2011), sobre todo, tras la inclusión de sobrecargas de tipo excéntrico en dichos programas de entrenamiento (Askling et al., 2003; Petersen et al., 2011). Así, la importancia del trabajo excéntrico dentro del ámbito lesivo, tanto en la prevención (Proske y Morgan, 2001; Askling et al., 2003; Romero y Tous-Fajardo, 2010), como en la recuperación (Purdam et al., 2004; Rees et al., 2008; Meyer, Tumilty y Baxter, 2009) de las lesiones musculares fundamentalmente, está ampliamente constatado. De esta forma, los beneficios del entrenamiento excéntrico han sido estudiados desde el punto de vista del rendimiento deportivo (Sheppard et al., 2008; Friedmann-Bette et al., 2009), la

prevención de lesiones (Askling et al., 2003; Gabbett, 2000) y la rehabilitación de diversas patologías (Greenwood et al., 2007).

En base a lo expuesto, los beneficios o efectos que el trabajo muscular excéntrico puede tener en el ámbito deportivo se pueden concretar en dos aspectos fundamentales: a) existe una mejor “*adaptación neural*” que con el entrenamiento concéntrico (Hortobagyi et al. 1996; Colliander y Tesch, 1990), incluso después de muy pocas sesiones (Seynnes et al., 2007; Higbie et al., 1996); b) ejerce un “*efecto protector*” a nivel del tejido conectivo, denominado “*repeated bout effect*” (Clarkson et al., 1992; Friden et al., 1983; Hori et al., 2007; Hortobagyi et al., 1996). Este efecto tendría su base en que, tras una primera sesión de ejercicio excéntrico y después de una recuperación completa, la repetición de otra sesión del mismo ejercicio causa un daño muscular mínimo. De este modo el umbral de rotura del músculo aumenta así como la capacidad de absorber cargas, produciendo un efecto protector que lo hace menos vulnerable a las roturas (Tous-Fajardo, 2005).

Si nos centramos en el ámbito lesivo, sobre todo en fútbol, diversos estudios han estimado como por cada 1000 horas de práctica se producen hasta 50 lesiones (Rahnama, Reilly y Lees, 2002). En cuanto a la tipología de estas lesiones, un estudio realizado por Woods et al. (2002) evaluó las lesiones existentes a lo largo de dos temporadas (1997-1998 y 1998-1999) en 91 equipos de la liga inglesa, analizando las diferencias entre período de pretemporada y temporada, así como las lesiones más comunes. Las conclusiones más significativas que se extraen son que la lesión con mayor porcentaje de incidencia se produce a nivel muscular (37%). El 89% de las lesiones afectaban al miembro inferior, siendo el muslo la estructura más afectada (23%). Así, se diferenció entre los músculos involucrados con mayor asiduidad según el período de la temporada, llegando a la conclusión de que, durante la pretemporada, éstos eran el recto anterior (29%), seguido del aductor largo (12%) y del bíceps femoral (11%), mientras que durante el período competitivo, el bíceps femoral era el más frecuente (21%), seguido del aductor largo (15%) y del recto anterior (14%). En referencia a esto, son el chut, los sprints o aceleraciones (cambios de ritmo o de dirección) y las frenadas bruscas, los principales mecanismos lesionales de la musculatura nombrada anteriormente (Romero y Tous, 2010; Potier et al., 2009; Mjølsnes et al., 2004), produciéndose en un alto porcentaje de los casos dichas lesiones durante la fase excéntrica de éstos movimientos (Hibbert, 2008).

En cuanto a los medios habitualmente utilizados para el entrenamiento excéntrico, Pol (2011) nos indica algunas tecnologías inerciales como la polea cónica excéntrica, o los dispositivos Yo-Yo®, los cuales nos pueden ayudar en el trabajo de fuerza, así como a la prevención de lesiones (Askling et al. 2003). Así, Tous-Fajardo (2010) define la tecnología Yo-Yo® como un mecanismo basado en un volante de inercia cuyo eje está fijado a una estructura de soporte. Uno de los extremos de una cincha de transmisión se enrolla alrededor de dicho eje, mientras que el otro se fija a distintas piezas (agarres, chalecos, etc.) desde los cuales se puede ejercer tracción. Al tirar de la cincha durante una acción muscular concéntrica, el volante de inercia gira y al finalizar el recorrido (concéntrico) de la cincha, la rueda sigue girando gracias a su inercia. Esto hace que la cincha retroceda y tire de la extremidad del ejecutante en sentido contrario. Después de dejar que la cincha “rebobine” inicialmente, el ejecutante ha de empezar a ejercer resistencia para desacelerar la rueda hasta que la energía cinética previamente acumulada se disipe y la rueda se pare por completo. Debido a que esta acción excéntrica se realiza en un desplazamiento angular menor que en la acción concéntrica, el torque excéntrico es superior al concéntrico, por lo que se produce una sobrecarga excéntrica (Alkner, 2005). Así, son numerosos los estudios que analizan el efecto de dicha tecnología, observando su eficacia tanto en el ámbito de prevención de lesiones (Askling et al., 2003; Romero-Rodríguez et al., 2010; Proske y Morgan, 2001; Mjølsnes et al., 2004), así como en la mejora del rendimiento (Seynnes et al., 2007; Norrbrand et al., 2008).

Atendiendo a la importancia del trabajo de fuerza en deportes como el fútbol, así como al papel que juega el entrenamiento muscular excéntrico en la prevención de lesiones, éste es habitualmente usado dentro las sesiones de entrenamiento de fuerza (Tous-Fajardo, 2010). En este sentido, es necesario adaptar la carga usada con objeto de conseguir los objetivos propuestos (Weineck, 2005) y, al mismo tiempo, evitar cualquier situación de rigidez, fatiga local o alteración de las propiedades contráctiles del músculo que puedan provocar un riesgo a corto plazo de sufrir una lesión muscular (Mjølsnes et al., 2003; Potier. et al., 2009). Así, son numerosos los autores que han tratado este tema, y que han llegado la conclusión de que uno de los métodos de evaluación más efectivos para este tipo de análisis es la tensiomiografía (TMG) (Rodríguez-Matoso et al., 2012; García-Manso et al., 2010; Tous-Fajardo et al., 2010).

La TMG es un método de valoración muscular desarrollado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Ljubliana (Eslovenia) para fines médicos pero que, en los últimos años, es utilizada en el campo deportivo de forma cada vez más frecuente y efectiva. Mide, en condiciones isométricas, la deformación radial del vientre muscular cuando es activada por un estímulo eléctrico de intensidad controlada (García-Manso et al., 2010). Se trata de un método que ha ganado popularidad durante los últimos años debido a su sencillez, fiabilidad, inocuidad y sus elevadas prestaciones (Rodríguez-Matoso et al., 2012). El dispositivo es útil para el control de aspectos relacionados con las características morfológicas y funcionales de las estructuras musculares analizadas. Entre los factores más relevantes que podemos analizar con esta metodología destacan: a) las características histoquímicas del tipo de fibra dominante en el músculo; b) el estado de fatiga neural o estructural; c) la activación muscular; d) el tono muscular; e) las propiedades contráctiles del músculo y f) el balance muscular (García-Manso et al., 2010). De esta forma, en los últimos años, las mediciones de los diferentes tiempos de contracción mediante TMG han sido aplicadas con éxito en diferentes grupos musculares (Valencic y Knez, 1997) para investigar la atrofia muscular (Burger et al., 1996), la resistencia muscular (Grabljeve et al., 2005) y la rigidez del vientre muscular (Pisot et al., 2008). Además, algunos de los parámetros contráctiles medidos por TMG se han correlacionado con la fuerza desarrollada por el mismo músculo (Valencic y Knez, 1997) y con la distribución espacial de los tipos de fibra muscular (Dahmane et al., 2001, 2005). Esta técnica también ha sido ampliamente utilizada como una herramienta de prevención de lesiones en deportes de élite como el fútbol (Reilly y Mujika, 2006) y para la detección de desequilibrios y asimetrías musculares (Tous-Fajardo et al., 2010).

En base a lo expuesto el principal objetivo de este trabajo es analizar los efectos agudos que tiene un programa de entrenamiento de fuerza con ejercicios de “leg curl” y “½ squat” en un dispositivo Yo-Yo® que permite aplicar una sobrecarga excéntrica, sobre las propiedades contráctiles musculares medidas con TMG en jóvenes futbolistas de élite.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. Diseño del estudio y procedimiento

Para la presente investigación se procedió mediante un estudio randomizado cruzado consistente en tres intervenciones. Los sujetos participantes en el estudio (n=18) participaron en tres sesiones de entrenamiento separadas cada una de ellas por una semana. De esta forma, realizaron un entrenamiento muscular con carga de pico de potencia máxima y sobrecarga excéntrica mediante un ejercicio de leg curl para isquiotibiales (EXP-ISQ), el mismo tipo de entrenamiento con ejercicio de ½ squat para cuádriceps (EXP-Q), o bien una situación control donde sólo se procedió ejecutando el calentamiento (CON). En ambas situaciones experimentales el protocolo supuso 4 series de 6 repeticiones con un descanso entre series de 90 s. La carga utilizada en ambos casos fue individualizada, de forma que una semana previa al inicio del estudio, durante la fase de familiarización, se realizó un test para el cálculo de la carga con la que se desarrollaba la máxima potencia en fase concéntrica, siendo ésta calculada para los dos ejercicios de entrenamiento en dos sesiones separadas por 72 h. En las tres sesiones programadas se llevó a cabo un calentamiento estandarizado en cicloergómetro (80 W y 80 rpm) con una duración de 5 min. Todas las sesiones se llevaron a cabo con una separación de una semana y siempre desarrollándose al menos 72 h después del partido. Inmediatamente después de la realización de cada sesión programada se llevó a cabo la medición de la respuesta tensiomiográfica.

3.2. Muestra

Un total de dieciocho jugadores de fútbol (edad = 17 ± 1.2 años; altura = $178 \pm 2,34$ cm; peso = 71 ± 4.56 kg; IMC = 19.12 ± 2.45) pertenecientes a la cantera de un equipo profesional de fútbol de la liga española participaron en el estudio. Se consideró como criterio de exclusión la presencia de algún tipo de lesión en el momento del inicio del estudio o con una antelación inferior a un mes. Esta intervención se llevó a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial y fue aprobado por el Comité Ético de la Universidad de Sevilla.

3.3. Ejercicios y dispositivos de entrenamiento.

Los dos dispositivos de entrenamiento utilizados para los entrenamientos planificados se caracterizan por permitir la sucesión de acciones concéntricas y excéntricas, siendo en ambos casos un ergómetro con volante de inercia YoYo™ (YoYoTechnology AB, Estocolmo, Suecia). Estos dispositivos se basan en la realización de una acción concéntrica muscular que permite el movimiento de un volante de inercia, seguidamente el sujeto debe desacelerar este volante frenando el movimiento contrario gracias a una acción muscular de tipo excéntrico. El hecho de realizar la acción excéntrica sobre un desplazamiento angular menor, y por tanto, con un mayor torque que durante la acción concéntrica, el ejercicio se lleva a cabo con sobrecarga excéntrica (Askling et al., 2003). En este sentido, en el caso del ejercicio de leg curl, los sujetos desarrollaron un flexión de rodilla bilateral en posición de decúbito prono (Figura 1), acelerando el volante por la acción concéntrica de los isquiotibiales y seguidamente desacelerado con una acción excéntrica de este mismo grupo muscular. La instrucción fue la de aplicar el máximo esfuerzo desde una posición de extensión de rodilla hasta una flexión de 130-140°. A continuación, durante la fase de vuelta al inicio se comienza la fase de frenado al pasar la posición de 90°, continuando con la fase excéntrica hasta que las rodillas están en la posición de extensión. Respecto al ejercicio de ½ squat la fase excéntrica se produjo hasta una posición de 90° gracias a la acción bilateral de ambos cuádriceps fundamentalmente, para, seguidamente, mediante una acción a máxima velocidad proceder con la acción concéntrica hasta que ambas rodillas se encontraban en posición de máxima extensión (Figura 2). En ambos casos cuando el volante se paraba se comenzaba el siguiente ciclo.



Figura 1. Dispositivo isoinercial para leg curl (yoyo® Technology AB, Estocolmo, Suecia) descrito en la metodología.



Figura 2. Dispositivo isoinercial para $\frac{1}{2}$ squat (yoyo® Technology AB, Estocolmo, Suecia) descrito en la metodología.

3.4. Test de potencia máxima.

Una semana antes al inicio del estudio, durante la fase de familiarización con los dispositivos, se llevó a cabo un test con cada uno de los ejercicios para calcular la carga de entrenamiento con la que cada sujeto desarrollaba la máxima potencia durante la fase concéntrica del movimiento. Cada volante de inercia utilizado tenía un peso de 4.2 kg, una densidad de $1.4 \text{ kg} \times \text{cm}^3$, un diámetro de 380 mm, un grosor de 20 mm, resultando un momento de inercia de 0.11. Con objeto de conocer el número de volantes de inercia con el que cada jugador desarrollaba la máxima potencia se procedió con un protocolo incremental. De esta forma, en ambos ejercicios cada sujeto ejecutó un total de 4 repeticiones por carga y registrándose el mejor de los resultados. Seguidamente se incrementaba la carga hasta que la potencia desarrollada en la fase concéntrica descendía. Entre cada serie el tiempo de descanso establecido fue de 180 s. Para el cálculo de la potencia se utilizó un encoder angular (SmartCoach™, SmartCoachEurope AB, Estocolomo, Suecia).

3.5. Parámetros tensiomiográficos.

La medición de las propiedades contráctiles del músculo se llevó a cabo mediante el análisis de la curva desplazamiento-tiempo utilizando la técnica de tensiomiografía (TMG) (Valencic&Knez, 1997). La validez de los parámetros de TMG ha sido reportada por estudios previos (Krizaj et al., 2008; Pisot et al., 2008). A pesar de esta validez, es necesario tener presente una serie de limitaciones que se han constatado con

esta técnica. Así, por ejemplo, los parámetros derivados de la TMG son muy sensibles a las modificaciones en las posiciones de los electrodos y del sensor sobre la piel, provocando repuestas musculares muy diferentes y, afectando, por tanto, a la reproductibilidad de las medidas. Además, otros factores intrínsecos como la conductividad de la piel, el grosor de la capa subcutánea o la derivación motora del nervio que se afecte puede afectar también a la variabilidad inter-individual (Tous-Fajardo et al., 2010). De esta forma, con objeto de garantizar la reproductibilidad de la medida, en la presente investigación se procedió de acuerdo con las indicaciones propuestas por Tous-Fajardo et al. (2010). Las principales variables medidas en la presente investigación fueron: el desplazamiento radial máximo (Dm), el tiempo desde que se produce el estímulo eléctrico hasta el 10% del Dm (Td), el tiempo desde el 10 al 90% del Dm durante la fase ascendente de la curva (Tc), el tiempo entre el 50% del Dm en ambas partes de la curva (Ts) y el tiempo desde el 90 al 50% del Dm en la fase descendente de la curva (Tr) (Figura 3). Todos estos parámetros han sido previamente analizados por la literatura científica, de forma que un descenso del Dm tras un entrenamiento supone una mayor rigidez muscular (Dahmane, Valencic, Knez, &Erzen, 2001; Krizaj et al., 2008; Valencic, Knez, &Simunic, 2001; Rey et al., 2012; Hunter et al., 2012), mientras que un incremento en los tiempos de contracción indica fatiga muscular y un descenso activación muscular (Dahmane, Djordjevic, Simunic, &Valencic, 2005; Garcia-Manso et al., 2011).

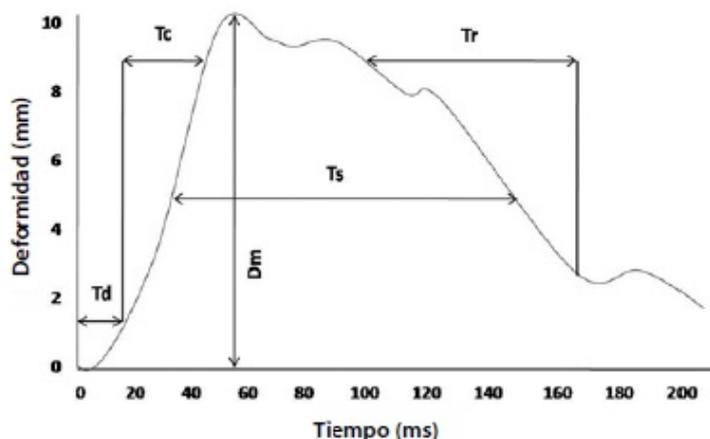


Figura 3. Gráfica de la respuesta muscular a un estímulo eléctrico obtenida mediante TMG, en el BF a una amplitud de 110 mA y una duración de 1 ms.

En todos los casos el desplazamiento radial fue medido en una posición de relajación del músculo. Así para las mediciones tras el ejercicio de ½ squat se utilizó el vasto medial del cuádriceps (VM), colocándose el sujeto en decúbito supino con la rodilla flexionada en un ángulo de 20° (correspondiendo la extensión completa a 0°). En el caso del ejercicio de leg curl, el músculo utilizado fue el bíceps femoral (BF), situándose, en esta ocasión, el sujeto en decúbito prono con una flexión de rodilla de 20°. Para las mediciones se utilizó un transductor digital de desplazamiento (GK®, Panoptikd.o.o., Liubliana, Eslovenia), el cual incorpora un resorte de 0.17 N·mm⁻¹. Éste se colocó perpendicular al músculo a medir con objeto de adquirir el desplazamiento radial. La localización del sensor fue determinada de acuerdo a las indicaciones anatómicas de Delagi, Perotto, Iazzetti y Morrison (1975) y marcando ésta con un lápiz dérmico. A ambos lados del sensor, sobre el vientre muscular, se colocaron dos electrodos adhesivos (COMPEX Medical S.A., Ecublens, Suiza) de forma simétrica con una separación de 5 cm (\pm 3 cm) con respecto al sensor.

Para inducir la corriente eléctrica se utilizó un estimulador TMG-S1 (EMF-Furlan and Co. d.o.o., Liubliana, Eslovenia). Durante la semana de familiarización se calculó la intensidad con la que cada músculo desarrollaba el máximo Dm. De esta forma, se aplicaron pulsos de 1 ms, partiendo de una intensidad de 50 mA y subiendo la intensidad progresivamente (10 mA) hasta que el Dm alcanzara su pico máximo. Entre mediciones consecutivas el periodo de descanso establecido fue de 15 s con objeto de minimizar la posible aparición de fatiga. Durante las sesiones se utilizó directamente dicha intensidad calculada con anterioridad para cada uno de los sujetos y grupos musculares analizados. En ningún caso los participantes en el estudios informaron de discomfort como consecuencia de la corriente eléctrica.

3.6. Análisis estadístico

Para cada variable analizada se calculó la media y la desviación estándar de la media (SD). La prueba de Kolmogorov-Smirnov mostró la normalidad de los datos. Se procedió mediante un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas con objeto de comparar los resultados entre protocolos (CON, EXP-ISQ y EXP-Q). El nivel de significación se estableció para un valor de $p < 0.05$. Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico SPSS v.18 (SPSS Inc., Chicago, IL).

4. DESARROLLO.

4.1. Resultados.

El análisis de la respuesta tensiomiográfica reflejó un descenso de todos los tiempos de contracción para el vasto medial tras el entrenamiento de ½ squat y para el bíceps femoral tras el entrenamiento de leg curl. No obstante, esta respuesta fue estadísticamente significativa sólo para Tc (-5.69 ± 8.20 ms; $p=0.009$), Ts (-51.54 ± 61.34 ms; $p=0.002$) y Td (-2.28 ± 2.34 ms, $p=0.001$) en el caso del VM y para Tr (-6.78 ± 5.47 ; $p=0.05$) y Td (-4.09 ± 6.82 ms; $p=0.018$) en el BF. La figura 4 muestra los valores obtenidos en los tiempos de contracción en las diferentes situaciones de entrenamiento planificadas. Respecto al Dm, en el caso del VM tras la situación CON el valor de éste fue de 4.76 ± 1.67 mm, mientras que para la situación EXP-Q el valor fue de 5.67 ± 2.02 mm, si bien estas modificaciones no fueron estadísticamente significativas. Una respuesta similar fue observada para el BF, mostrando un valor de 6.43 ± 3.39 mm tras CON y de 6.87 ± 3.14 mm tras EXP-ISQ, no siendo tampoco la respuesta estadísticamente significativa.

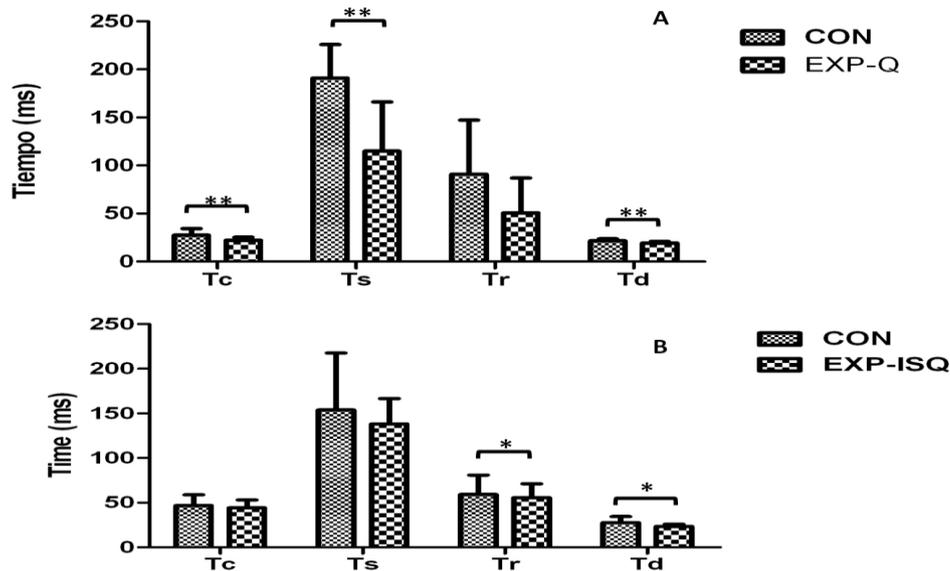


Figura 4. Modificaciones de los diferentes tiempos de contracción asociados a la respuesta tensiomiográfica, después del entrenamiento de cuádriceps para el vasto medial (A) y de isquiotibiales para bíceps femoral (B) (media \pm SD).

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

4.2. Discusión.

El objetivo principal de esta investigación ha sido analizar el efecto agudo de un entrenamiento muscular con sobrecarga excéntrica sobre la musculatura isquiotibial y el cuádriceps. Tras el entrenamiento planteado se observó una disminución de los tiempos de contracción de los músculos implicados. Así, tras el ejercicio de ½ squat se observó un descenso significativo de Tc ($p < 0.01$), Ts ($p < 0.01$) y Td ($p < 0.001$) en el VM y tras el ejercicio de curl femoral, un descenso de Tr ($p < 0.05$) y Td ($p = 0.01$) en el BF.

Diversos autores como Krizaj et al. (2008) indican que los parámetros derivados de la TMG son muy sensitivos a la fatiga muscular y a la potenciación. De acuerdo con esta afirmación, varios trabajos han indicado que el Dm, Ts y Tr son los indicadores más sensibles (Dahmane et al., 2001, 2005; García-Manso et al., 2011; Valencic et al., 2001). Así, un descenso en el Dm después de un ejercicio puede indicar un incremento en el tono muscular y una situación de aumento de la rigidez (Hunter et al., 2012). Igualmente, esta respuesta del Dm también puede ser relacionada con daño muscular, ya que el estiramiento de los miofilamentos durante la contracción excéntrica puede provocar un aumento de la rigidez (Proske y Allen, 2005). Este proceso ocasiona un incremento de la tensión en las estructuras pasivas celulares (Morgan y Proske, 2004) y, consecuentemente un descenso del Dm (Hunter et al., 2012). Además, algunos autores han encontrado una relación entre el descenso del Dm y la fatiga muscular (Carrasco et al., 2011; García-Manso et al., 2011). No obstante, para constatar esta respuesta otros parámetros tensiomiográficos como el Ts y el Tr deberían verse modificados (Krizaj et al., 2008). De esta forma, cuando la fatiga muscular aparece el descenso del Dm se asocia con un incremento de los tiempos de contracción (Krizaj et al., 2008). En este sentido, Simunic et al. (2005), en su estudio encontraron un descenso de los parámetros temporales cuando el ejercicio estudiado no provocó fatiga, mientras que cuando si la hubo dichos parámetros se incrementaron. En la presente investigación el Dm no mostró diferencias significativas en ningún caso, sólo un descenso de alguno de los parámetros temporales tras ambas intervenciones, lo que puede ser interpretado como una leve activación muscular.

Hasta la fecha este es el primer trabajo que analiza los efectos agudos asociados a un entrenamiento muscular excéntrico utilizando como medio de valoración la TMG. No

obstante, existen varios estudios que han evaluado dicha respuesta tensiomiográfica tras una determinada actividad físico-deportiva con el objeto de conocer los principales parámetros musculares que se ven afectados y en qué medida el esfuerzo realizado provoca una alteración. Así, por ejemplo, García-Manso et al. (2011) evaluaron durante una competición oficial cómo evolucionaba el estado del músculo antes e inmediatamente después de un triatlón de ultra resistencia. Las evaluaciones anteriores a la carrera se llevaron a cabo el día previo a la competición y las posteriores al esfuerzo tuvieron lugar 15' después de la finalización de la misma, e iban enfocadas al recto anterior (RA) y el BF de ambas piernas. Tras el estudio se observó una alteración de los parámetros musculares medidos con TMG, a consecuencia de la fatiga del ejercicio. De esta forma, los autores reflejaron un incremento en Tc, Tr y Ts, junto con una moderada disminución en el Td y una caída de la Dm para el BF. En el caso del RA, sólo se encontraron diferencias significativas en Td. Según los autores, esto podría deberse a que el RA sólo adquiere una función relevante durante la etapa de ciclismo, y es menos involucrado durante la carrera, que se trata de la última etapa de la competición. Como se ha podido observar, estos datos contrastan con los presentados en la presente investigación, donde tras ambas intervenciones se observó una disminución de los tiempos de contracción, mientras que en el trabajo de García-Manso et al. (2011) los tiempos mostraron un incremento como consecuencia de la fatiga local. En esta línea también se muestran los resultados obtenidos por Hunter et al. (2012) quienes procedieron mediante 5 series de 10 contracciones isocinéticas excéntricas máximas, con un descanso de 60 s entre series y una velocidad de 30°s^{-1} en un ejercicio de flexión de codo. Tras 24 h se observó una reducción del 31% en el Dm y al sexto día el Dm todavía se encontraba reducido un 17%. Respecto al Tc, éste aumento significativamente, no estabilizándose el registro del mismo hasta dos días después de la intervención.

Una respuesta similar a la de la presente investigación si se observó en el estudio de De Hoyo et al. (2013), donde, después de una intervención con vibraciones mecánicas se constató una activación muscular medida en VM mediante TMG. Así, se observó un incremento del Dm del 22.78% y un descenso de Td del 7.45% en el grupo que se sometió al entrenamiento vibratorio. Los autores vincularon esta respuesta con un fenómeno de activación muscular, no existiendo, en ningún caso, fatiga local. En la presente investigación los tiempos de contracción mostraron un descenso y el

desplazamiento del vientre muscular un incremento, si bien, en el segundo caso la respuesta no fue estadísticamente significativa.

Como conclusión, podemos indicar que el protocolo excéntrico utilizado, tanto para la musculatura isquiotibial como para el cuádriceps, no supuso una sobrecarga excéntrica de magnitud importante, ya que, en ningún caso, la respuesta tensiomiográfica mostró una alteración que pudiera ser relacionada con el fenómeno de fatiga local. No obstante, el descenso de los tiempos de contracción tras la intervención asociado con un incremento relativo del desplazamiento muscular permiten confirmar una mayor activación muscular después del entrenamiento realizado.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Alkner, B., Berg, H., Kozlovskaya, I., Sayenko, D., Tesch, P. (2005). Effects of strength training, using a gravity-indepent exercise system, performed during 110 days of simulated space station confinement. *European Journal of Applied Physiology*, 90 (1-2), 44-49. doi: 10.1007/s00421-003-0850-2

Askling, C., Karlsson, J., & Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports*, 13 (4), 244-250.

Barendrecht, M., Lezeman, H., Duysens, J. & Smits-Engelsman, B. (2011). Neuromuscular training improves knee kinematics, in particular in valgus aligned adolescent team handball players of both sexes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (3), 575-584.

Burger, H., Valencic, V., Marincek, C., Kogovsek, N. (1996). Properties of musculus gluteus maximus in above-knee amputees. *Clinical Biomechanics*, 11 (1), 35-38.

Caraffa, A., Cerulli, G., Projetti, M., Aisa, G., Rizzo, A. (1996). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 4 (1), 19-21.

Carrasco, L., Sañudo, B., de Hoyo, M., Pradas, F., & da Silva, M. E. (2011). Effectiveness of low-frequency vibration recovery method on blood lactate removal,

muscle contractile properties and on time to exhaustion during cycling at $\dot{V}O_{2\max}$ power output. *European Journal of Applied Physiology*, 111 (9), 2271-2279. doi:10.1007/s00421-011-1848-9

Clarkson, P.M., Nosaka, K. y Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24 (5), 12-20.

Cometti, G. (2002). *La preparación física en el fútbol*. Barcelona: Paidotribo.

Dahmane, R., Djordjevič, S., Šimunič, B., Valenčič, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle: Histochemical and tensiomyographical evaluation. *Journal of Biomechanics*, 38 (12), 2451-2459. doi:10.1016/j.jbiomech.2004.10.020

Dahmane, R., Valenčič, V., Knez, N., Eržen, 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 and Computing*, 39 (1), 51-55. doi:10.1007/BF02345266

De Hoyo, M., Carrasco, L., Da Silva-Grigoletto, M., Sañudo, B., Caballero-Villarraso, J., Arriaza, E., Escobar, M. (2013). Impact of acute bout of vibration on muscle contractile properties, creatine kinase and lactate dehydrogenase response. *European Journal of Sport Science*, 00 (00), 1-8. doi: 10.1080/17461391.2013.774052

Ditroilo, M., Hunter, A., Haslam, S., De Vito, G. (2011). The effectiveness of two novel techniques in establishing the mechanical and contractile responses of biceps femoris. *Physiol. Meas.*, 32 (8), 1315-1326. doi: 10.1088/0967-3334/32/8/020

Friden, J., Seger, J., Sjostrom, M. y Eklom, B. (1983). Adaptative response in human skeletal muscle subjected to prolonged eccentric training. *International Journal of Sports Medicine*, 4 (3), 177-183.

Friedmann-Bette, B., Bauer, T., Kinscherf, R., Vorwald, S., Klute, K., Bischoff, D., Müller et al. (2010). Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes. *Eur J Appl Physiol*, 108 (4), 821-836. doi: 10.1007/s00421-009-1292-2

García-Manso, J., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., De Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruíz, D., Da Silva-Grigoletto, M. (2010). La tensiomiografía como herramienta de evaluación muscular en el deporte. *Revista Andal Med Deporte*, 3 (3), 98-102.

García-Manso, J., Rodríguez-Ruíz, 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 Sport Sciences*, 29 (6), 619-625. doi: 10.1080/02640414.2010.548822

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. 39–43

Greenwood, J., Morrissey, M., Rutherford, O., Narici, M. (2007). Comparison of conventional resistance training and the fly-wheel ergometer for training the quadriceps muscle group in patients with unilateral knee injury. *Eur J Appl Physiol*, 101 (6), 697-703.

Hawkins, R. D., Hulse, M. A., Wilkinson, C., Hodson, A., & Gibson, M. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med*, 35(1), 43-47

Hibbert, O., Cheong, K., Grant, A., Beers, A., Moizumi, T. (2008). A systematic review of the effectiveness of eccentric strength training in the prevention of hamstring muscle strains in otherwise healthy individuals. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 3 (2), 67-81.

Hicks, A.L., Martin Ginis, K A; Pelletier, C A; Ditor, D S; Foulon, B; Wolfe, D L. (2011). The effects of exercise training on physical capacity, strength, body composition and functional performance among adults with spinal cord injury: a systematic review. *Spinal Cord*, 49 (11), 1103-1127. doi: 10.1038/sc.2011.62

Higbie, E.J., Cureton, K.J., Warren, G.L. y Prior, B.M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology*, 81 (5), 2173-2181.

Hori, N., Newton, R.U. Andrews, W.A., Kawamori, N., McGuigan, M.R. y Nosaka, K. (2007). Comparison of four different methods to measure power output during the hang power clean and the weighted jump squat. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21 (2), 314-320.

Hortobagyi, T., Hill, J.P., Houmard, J.A., Fraser, D.D., Lambert, N.J. y Israel, R.G. (1996). Adaptative responses to muscle lengthening and shortening in humans. *Journal of Applied Physiology*, 80 (3), 765-772

Hunter, A., Galloway, S., Smith, I., Tallent, J., Ditroilo, M., Fairweather, M., Howatson, G. (2012). Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22 (3), 334-341. doi: 10.1016/j.jelekin.2012.01.009

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 (4), 645-51. doi:10.1016/j.jelekin.2007.01.008

Meyer, A., Tumilty, S., Baxter, G. (2009). Eccentric exercise protocols for chronic non-insertional Achilles tendinopathy: How much is enough? *Scand J Med Sci Sports*, 19 (5), 609-615. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.00981.x

Mjølsnes, R., Arnason, A., Østhaugen, T., Raastad, T., Bahr, R. (2004). A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14 (5), 311-7. doi:10.1046/j.1600-0838.2003.367.x

Norrbrand, L., Fluckey, J.D., Pozzo, M. y Tesch, P.A. (2008). Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *European Journal of Applied Physiology*, 102 (3), 271-281. DOI:10.1007/s00421-007-0583-8

Norrbrand, L., Pozzo, M. y Tesch, P.A. (2010). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *European Journal of Applied Physiology*, 110 (5), 997-1005.

Petersen, J. et al. (2011). Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: A cluster-randomized controlled trial. *Am J Sports Med*, 39 (11), 2296 doi: 10.1177/0363546511419277

Pisot R, Narici MV, Simunic B, De Boer M, Seynnes O, Jurdana M, Biolo G, Mekjavic IB(2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *Eur J Appl Physiol*, 104 (2), 409-14. doi:10.1007/s00421-008-0698-6

Pol, R. (2011). *La preparación ¿física? En el fútbol. El proceso de entrenamiento desde las ciencias de la complejidad*. MC Sports.

Potier, Tara G.; Alexander, Caroline M.; Seynnes, Olivier R., (2009). Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *European Journal of Applied Physiology*, 105(6), 939.

Pozzo, M., Alkner, B., Norrbrand, L., Farina, D., Tesch, P. (2006). Muscle-fiber conduction velocity during concentric and eccentric actions on a flywheel exercise device. *Muscle and Nerve*, 34 (2), 169-177. doi: 10.1002/mus.20574

Proske U, Allen TJ (2005). Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 33(2), 98-104. doi:10.1097/00003677-200504000-00007

Proske, U. & Morgan, D.L. (2011). Muscle damage from eccentric exercise: Mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *Journal of Physiology*, 537 (2), 333-345. doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.00333.x

Purdam, C., Johnsson, P., Alfredson, H., Lorentzon, R., Cook, J.L., Khan, K. (2004). A pilot study of the eccentric decline squat in the management of painful chronic patellar tendinopathy. *Br J Sports Med*, 38 (4), 395-397. doi: 10.1136/bjism.2003.000053.

Rahnama, N., Reilly, T., Lees, A. (2002). Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *Br J Sports Med*, 36 (5), 354-9.

Rees, J.D., Litchwark, G., Wolman, R., Wilson, A. (2008). The mechanism for efficacy of eccentric loading in Achilles tendon injury; an in vivo study in humans. *Rheumatology*, 47 (10), 1493-1497. doi: 10.1093/rheumatology/ken262

Requena, B., González-Badillo, J., Sáez, E., Erelina, J., García, I., Gapeyeva, H., Pääsuke, M. (2009). Functional performances, maximal strength, and power

characteristics in isometric and dynamic actions of lower extremities in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (5), 1391-1401.

Rey, E., Lago-Peñas, C., Lago-Ballesteros, J. (2012). Tensiomyography of selected lower-limb muscles in professional soccer players. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22 (6), 866-872. doi: 10.1016/j.jelekin.2012.06.003

Rey, E., Lago-Peñas, C., Lago-Ballesteros, J., Casáis, L. (2012). The effect of recovery strategies on contractile properties using tensiomyography in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (11), 3081-3088.

Rodríguez-Matoso, D., García-Manso, J., Sarmiento, S., De Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruíz, D., Da Silva-Grigoletto, M. (2012). Evaluación de la respuesta muscular como herramienta de control en el campo de la actividad física, la salud y el deporte. *Rev Andal Med Deporte*, 5 (1), 28-40.

Romero, D. y Tous-Fajardo, J. (2010). *Prevención de lesiones en el deporte. Claves para un rendimiento deportivo óptimo*. Madrid: Panamericana.

Seynnes, O.R., de Boer, M. y Narici, M.V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 102 (1), 368-373.

Taïana, F.; Grehaigne, J., & Cometti, G. (1993). The influence of maximal strength training of lower limbs of soccer players on their physical and kick performances. En T. Reilly, J. Clarys y A. Stibbe (Eds.), *Science and Football* , 2, 98-103. London: E & FN Spon.

Tous, J. (2005). Strength training at FC Barcelona. *Insight Live* 2005; 11.July.

TOUS, J. (2007). *Entrenamiento de la fuerza en los deportes colectivos. Máster profesional en alto rendimiento en deportes de equipo*. Barcelona: Mastercede.

Tous-Fajardo, J., Maldonado, R. A., Quintana, J. M., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2006). The flywheel leg-curl machine: offering eccentric overload for hamstring development. *Int J Sports Physiol Perform*, 1(3), 293-298.

Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Moreno, D., Maffiuletti, N. (2010). Inter-rate reliability of muscle contractile property measurements using non-

invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20 (4), 761-766. doi: 10.1016/j.jelekin.2010.02.008

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.

Valenčič, V., Knez, N. (1997). Measuring of Skeletal Muscles' Dynamic Properties. *Artificial Organs*, 21 (3), 240-242. doi:10.1111/j.1525-1594.1997.tb04658.x

Weineck, J. (2005). *Entrenamiento total*. Barcelona: Padiotribo

Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med*, 38 (3), 285-288. doi:10.1136/bjism.2002.002071

Woods, C., Hawkins, R., Hulse, M., Hodson, A. (2002). The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football-analysis of preseason injuries. *Br J Sports Med*, 36 (6), 436-441.

Zebis, M.K. et al. (2008). The effects of neuromuscular training on knee joint motor control during sidcutting in female elite soccer and handball players. *Clin J Sports Med*, 18 (4), 329-337.