

Ejercicio excéntrico de baja intensidad y daño muscular en mujeres jóvenes. Un estudio piloto

Low intensity eccentric exercise and muscle damage in young women. A pilot study

Raúl Rodríguez-Casares, Xavier Aguado, Luis M. Alegre

Grupo de Investigación de Biomecánica Humana y Deportiva. Universidad de Castilla-La Mancha

CORRESPONDENCIA:

Luis Alegre Durán
Universidad de Castilla La-Mancha
Facultad de Ciencias del Deporte
Avenida Carlos III s/n
45071 Toledo
Luis.Alegre@uclm.es

Recepción: septiembre 2011 • Aceptación: febrero 2012

Resumen

La actividad de los músculos flexores de la rodilla es fundamental para reducir las cargas sobre la rodilla que aumentan el riesgo de lesión en esta articulación. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del ejercicio excéntrico de bajo volumen e intensidad en los flexores de rodilla, sobre los momentos de fuerza-ángulo articular de la musculatura de la rodilla y en los patrones de fuerzas durante amortiguaciones.

Participaron 15 mujeres jóvenes y activas. Realizaron dos sesiones de ejercicio excéntrico de los flexores de la rodilla, de bajo volumen e intensidad, separadas por una semana. Antes y una hora después de cada sesión de ejercicio excéntrico, se recogieron las fuerzas de reacción durante amortiguaciones de caídas, y se evaluó la relación momento de fuerza-ángulo articular de flexores y extensores de rodilla. También se midió el dolor muscular tardío.

No se produjeron cambios significativos en los momentos de fuerza de los flexores o extensores de rodilla (del -4,8 al 2,1%), ni en el ángulo del momento de fuerza máximo (del -3,4 al 5,4%) ni se encontró un patrón estable en las fuerzas verticales o anteroposteriores. Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas en cuanto al dolor muscular, siendo inferior después de la segunda sesión al compararla con la primera sesión.

Estos resultados apuntan a que el ejercicio excéntrico con bajo volumen e intensidad en los flexores de rodilla provoca adaptaciones favorables en indicadores indirectos de daño muscular, protegiendo del daño muscular en las sesiones posteriores de ejercicio excéntrico.

Palabras clave: momento de fuerza, ángulo óptimo, isquiotibiales, fuerzas de reacción del suelo, biomecánica.

Abstract

Knee flexor muscle activity is very important for reducing the loads on the knee joint that increase the risk of injury in this joint. The aim of the present study was to assess the effects of a low-volume, low-intensity eccentric exercise bout of the knee flexor muscles on the muscle function of the knee joint, and on the ground reaction forces during landings from an elevated surface.

Fifteen young, active women volunteered for the study. They performed two low-volume, low-intensity eccentric exercise bouts with the knee flexors, separated by one week. Before and an hour after both exercise sessions, ground reaction forces during landings from elevated surfaces and the moment-angle relationship from knee flexors and extensors were measured. Delayed muscle soreness was also measured.

There were no significant changes in the peak torque of knee flexors and extensors (from -4.8% to 2.1%), nor in the angle of peak torque (from 3.4% to 5.4%). A stable pattern in the changes in the ground reaction forces during landings was not found. However, there were significant differences in the delayed muscle soreness, with a significant decrease after the second eccentric exercise bout, compared with the first one.

The present results suggest that low-volume, low-intensity eccentric exercise of the knee flexor muscles can lead to positive adaptations on indirect markers of muscle damage, with a protecting effect against muscle damage in subsequent bouts of eccentric exercise.

Key words: torque, optimum angle, hamstrings, ground reaction forces, biomechanics.

Introducción

Realizar ejercicios con contracciones excéntricas poco habituales provoca daño muscular, lo que es demostrado por varios indicadores como la pérdida de la fuerza muscular (Bowers, Morgan & Proske, 2004; Clarkson, Nosaka & Braun, 1992; Howatson & van Someren, 2007; McHugh, Connolly, Eston & Gleim, 2000; Nosaka & Newton, 2002b), la pérdida del rango de movimiento (Clarkson & Hubal, 2002; Hirose et al., 2004; McHugh et al., 2000; Nosaka & Newton, 2002b), el dolor muscular de aparición tardía (Brockett, Morgan & Proske, 2001; Nikolaidis et al., 2007) y la inflamación (Brockett et al., 2001; Hirose et al., 2004; Nikolaidis et al., 2007). Sin embargo, sesiones posteriores de los mismos ejercicios excéntricos no producen el mismo daño que la primera sesión (Ebbeling & Clarkson, 1990; Foley, Jayaraman, Prior, Pivarnik & Meyer, 1999; Nosaka & Clarkson, 1996; Nosaka, Clarkson, McGuiggin & Byrne, 1991). A este fenómeno se le conoce como efecto de intentos repetidos o *repeated bout effect* (RBE) (Clarkson et al., 1992; Howatson & van Someren, 2007; McHugh, Connolly, Eston, Gartman & Gleim, 2001; McHugh, Connolly, Eston & Gleim, 1999; Nosaka & Sakamoto, 2001). El efecto protector se caracteriza por una recuperación más rápida de la fuerza muscular y el rango de movimiento (Clarkson et al., 1992; McHugh et al., 1999; Newham, Jones & Clarkson, 1987; Nosaka et al., 1991) y una menor inflamación y dolor muscular (Foley et al., 1999; Nosaka & Clarkson, 1996; Nosaka et al., 1991).

La mayoría de las lesiones del ligamento cruzado anterior de la rodilla (LCA), en torno al 80%, se producen por mecanismos sin contacto, a menudo durante la caída de un salto (Krosshaug et al., 2007; Noyes, Schipplein, Andriacchi, Saddemi & Weise, 1992), desaceleración y giro lateral durante la ejecución (Hewett, 2008). Si el cuádriceps es mucho más fuerte que los isquiotibiales, en las acciones como el aterrizaje o cambios de dirección, el LCA experimenta fuerzas de cizallamiento superior; y si la fuerza de los músculos isquiotibiales es inferior al 60% respecto al cuádriceps, se produce un mayor riesgo de lesión del LCA (Alentorn-Geli et al., 2009a). Por lo tanto, la co-activación de los músculos isquiotibiales es fundamental para reducir los movimientos y las cargas sobre la rodilla que aumentan el riesgo de lesión en el LCA (Withrow, Huston, Wojtys, & Ashton-Miller, 2008), puesto que los isquiotibiales desempeñan un papel importante tanto de forma aislada como en colaboración con la activación del cuádriceps en la protección del LCA (Alentorn-Geli, et al., 2009a). Por ello, una de las intervenciones que se proponen para la prevención de las

lesiones del LCA es el entrenamiento de la musculatura flexora de la rodilla, (Alentorn-Geli et al., 2009b; Gilchrist et al., 2008; Mandelbaum et al., 2005).

Las mujeres que practican deportes de equipo y deportes que implican saltos tienen de 4 a 6 veces más probabilidad de sufrir lesiones de rodilla con respecto a los hombres que participan en el mismo deporte (Arendt & Dick, 1995; Hewett, 2008). En general, existen 3 tipos de factores para explicar las diferencias en cuanto a la tasa de lesiones de rodilla en las mujeres y hombres. El primero de los factores son las diferencias anatómicas: está relacionado con el Ángulo-Q (el ángulo que hay entre el centro de la rótula y la espina iliaca anterosuperior) (Bryan et al., 1999). Autores como Hewett (2000) han argumentado que las diferencias en la estructura de la pelvis y la alineación de la extremidad inferior pueden explicar las diferencias de las lesiones entre los hombres y las mujeres. El segundo grupo de factores son los neuromusculares: las mujeres utilizan diferentes mecanismos de control neuromuscular con respecto a los hombres (Hewett, 2008), siendo estas diferencias neuromusculares el factor que más contribuye a una mayor incidencia de lesión del LCA (Hewett, Stroupe, Nance & Noyes, 1996; McNair, Prapavessis & Callender, 2000). Por último, en la bibliografía también se citan los factores hormonales, ya que también influyen las hormonas sexuales femeninas, puesto que fluctúan durante el ciclo menstrual (Hewett, 2000), aumentando la laxitud de los ligamentos, la cual se generaliza como un factor de riesgo de lesión del LCA (Soderman, Alfredson, Pietila & Werner, 2001). Por lo tanto, la combinación de estos tres factores provoca que las mujeres durante el aterrizaje de un salto tengan un mayor porcentaje de lesión del LCA, debido a que éstas generan un mayor pico de impacto que los hombres en periodos de tiempo más cortos, además de tener un control neuromuscular más pobre de las extremidades inferiores (Briner & Kacmar, 1997; Delfico & Garrett, 1998; Dufek & Bates, 1990; Ferretti, Papandrea, Conteduca & Mariani, 1992).

En la bibliografía ya está demostrado que con grandes volúmenes e intensidades de ejercicios excéntricos se provoca el RBE, con los beneficios que esto conlleva en los marcadores indirectos del daño muscular, como la recuperación más rápida de la fuerza, menor inflamación, dolor muscular... (Bowers et al., 2004; Brockett et al., 2001; McHugh, 2003; McHugh et al., 2001; Sesto, Radwin, Block & Best, 2005), y en la mejora de la función de la musculatura flexora de la rodilla, reduciendo así el riesgo de lesiones musculares y ligamentosas en mujeres. Sin embargo, estos programas muchas veces son demasiado agresivos para

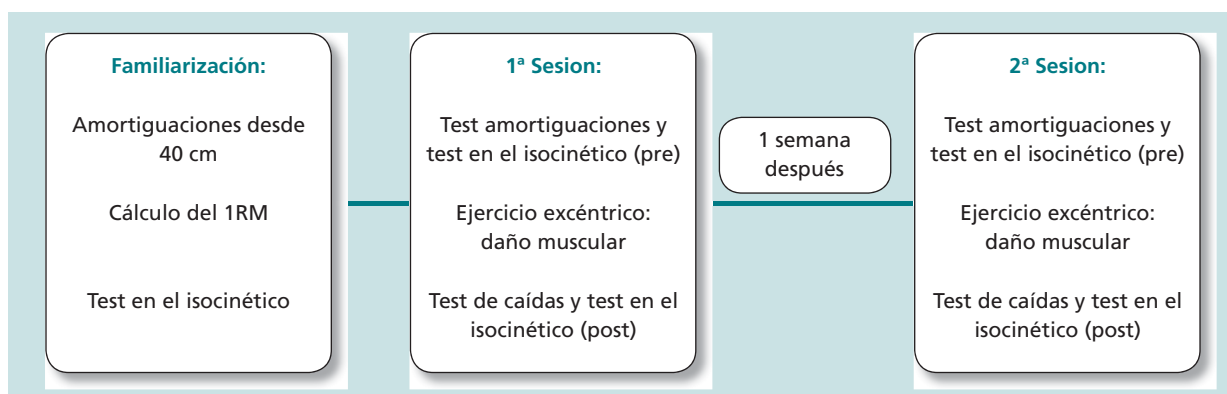


Figura 1. Diseño del estudio.

ser aplicados en personas no entrenadas o en deportistas durante el periodo competitivo. Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio ha sido evaluar los efectos del ejercicio excéntrico de bajo volumen e intensidad en los músculos flexores de rodilla, sobre los momentos de fuerza-ángulo articular de los flexores y extensores de la rodilla, y en los patrones de fuerzas durante amortiguaciones. Un objetivo secundario fue buscar relaciones entre los cambios en la relación fuerza-longitud de flexores y extensores de rodilla y los patrones de fuerzas en amortiguaciones. Nuestras hipótesis eran que las sesiones de ejercicio excéntrico producirían cambios en la función de la musculatura flexora de la rodilla y que estos cambios estarían relacionados con las modificaciones en los patrones de fuerza de las amortiguaciones.

Material y métodos

Participantes

Participaron voluntariamente 15 mujeres jóvenes y activas, estudiantes universitarias, cuyo peso, estatura y edad fueron de $62,1 \pm 9,9$ kg; $1,66 \pm 0,09$ m y $22,0 \pm 2,4$ años, respectivamente. Todas las participantes dieron su consentimiento informado previamente y el estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Las participantes no realizaron ningún entrenamiento previamente, ni tampoco durante la realización de las sesiones del estudio en el cual estuviera implicada la musculatura de las extremidades inferiores.

Material

Se utilizó un cicloergómetro (Monark 818, Suecia) para llevar a cabo el calentamiento previo a las sesiones. Las caídas fueron realizadas sobre la plataforma

de fuerzas AtletJump (IBV, España), que registraba las fuerzas en tres ejes. Los datos fueron grabados con una frecuencia de muestreo de 1.000 Hz AtletScan/IBV versión 2.0.1 (IBV, España). Para realizar los test de los flexores y extensores de la rodilla se utilizó un dinamómetro isocinético Biodex System 3 (Nueva York, Estados Unidos). Los datos fueron grabados con el *software* del propio aparato a 100 Hz, y posteriormente exportados al programa Microsoft Excel 2003 (Microsoft, Estados Unidos) para su análisis. Por último, para llevar a cabo las sesiones de ejercicio excéntrico de los flexores de rodilla se utilizó una máquina de musculación: femoral tumbado, tendido prono (Telju Fitness, España).

Se utilizó una escala visual analógica con los valores del “0” al “10” (donde el “0” significaba nada de dolor y el “10” era un dolor extremo). Existen muchos estudios que igualmente han utilizado la escala visual analógica para hallar el dolor muscular después de las sesiones (Bowers et al., 2004; Brockett et al., 2001; McHugh et al., 2001; Nosaka & Sakamoto, 2001; Sesto et al., 2005; Yeung & Yeung, 2008).

Protocolo

En primer lugar, las participantes realizaron una sesión de familiarización una semana antes de la primera sesión de ejercicio excéntrico (Figura 1), la cual consistía en realizar amortiguaciones desde una superficie elevada a 40 cm de altura de la plataforma de fuerzas, y a una distancia horizontal del 45% de la altura de las participantes (Figura 2).

Después, se calculó una repetición máxima concéntrica (1RM) unilateral de los músculos de los flexores de rodilla de cada pierna en la máquina de musculación y, por último, realizaron ensayos de fuerza máxima de manera concéntrica, tanto para los extensores de rodilla como para los flexores de rodilla, en el dinamómetro isocinético.



Figura 2. Amortiguación de la caída sobre la plataforma de fuerzas (izquierda) y realización del ejercicio excéntrico con la fase concéntrica asistida (derecha).

Se llevaron a cabo dos sesiones de test y de ejercicio excéntrico de los flexores de rodilla, separadas por una semana. Las sesiones estaban organizadas de la siguiente forma:

- Primero, un calentamiento de 5 minutos en un cicloergómetro Monark y 4-5 saltos submáximos para calentar de manera más específica.
- En segundo lugar, se colocaban sobre un cajón a 40 cm de altura y a una distancia de la plataforma de fuerzas del 45% de la estatura de la participante, donde debía colocar sus manos en su cintura, los pies en el borde del cajón y dar un paso hacia delante cayendo con los dos pies sobre la plataforma al mismo tiempo y amortiguando todo lo que pudieran (Figura 2). Se grabaron 3 s de cada caída y las participantes realizaron 3 caídas para después hacer una media entre ellas de las fuerzas verticales y de las fuerzas anteroposteriores.
- Seguidamente, las participantes realizaron los test de fuerza máxima en el dinamómetro isocinético Biodex sólo con la pierna dominante, donde primero realizaron los test concéntricos de los extensores y los flexores de rodilla. El ROM se estableció en $\sim 100^\circ$, exactamente igual para la familiarización y las dos sesiones de test.

Los test consistían en realizar un calentamiento previo de 2 series de 6 repeticiones a $60^\circ \cdot s^{-1}$. El test consistió en realizar 3 series de 6 repeticiones máximas de manera concéntrica (extensores y flexores de rodilla) con un periodo de descanso de 2 minutos entre

cada serie. Para realizar el análisis se eliminaron la primera y la última repetición de las 6 realizadas, y se realizó un ajuste polinómico de cuarto orden de las 4 repeticiones restantes. De la curva generada por el ajuste, se tomaron las variables de estos test.

- En cuarto lugar, realizaron la sesión de ejercicios excéntricos para provocar daño muscular en los flexores de la rodilla. La sesión consistió en realizar 3 series de 6 repeticiones al 80% del 1RM, más 4 series x 4 repeticiones al 100% del 1RM, en total realizaron 34 repeticiones (Figura 2). Aunque la intensidad se midió a través del 1RM (concéntrico) las repeticiones se llevaron a cabo de manera excéntrica, por lo que la intensidad real de las sesiones fue inferior al porcentaje que nos muestran los valores concéntricos. Para que los participantes realizaran sólo la fase excéntrica, el examinador realizaba la parte concéntrica, es decir, elevaba el rodillo y las participantes debían aguantar el peso durante 3 s a la vez que iban dejándolo caer de forma controlada, extendiendo la rodilla (Figura 2). Las sesiones del ejercicio excéntrico se llevaron a cabo primero con la pierna derecha y después con la pierna izquierda, el descanso entre las series fue de 2 minutos.
- Por último, después de una hora de descanso, las participantes repitieron los test de caídas y los test de fuerza máxima en el dinamómetro isocinético para observar las diferencias antes y después de la sesión de ejercicio excéntrico, y se realizó una hora después para que la fatiga muscular no influyera en los resultados.

En los 3 días posteriores a las sesiones de entrenamiento, las participantes midieron su dolor muscular a través de la escala visual analógica cuyos valores estaban comprendidos del “0” al “10” (donde el “0” significaba nada de dolor y el “10” era un dolor extremo), mediante la palpación y la contracción de la musculatura de los flexores de rodilla.

Variables

Independientes:

- Las sesiones de ejercicio excéntrico de los músculos flexores de rodilla.

Dependientes:

- Fuerzas verticales y Fuerzas anteroposteriores, en Newtons y en veces el peso corporal (BW). Se usó el valor medio de las 3 repeticiones.
- Tiempo en el cual se producen las fuerzas verticales y anteroposteriores, en Newtons por metro. Se usó el valor medio de las 3 repeticiones.
- Fuerza máxima concéntrica de los músculos de los extensores de rodilla, en Newtons por metro.
- Ángulo óptimo de los extensores de rodilla, en grados.
- Fuerza máxima concéntrica de los músculos flexores de rodilla, en Newtons por metro.
- Ángulo óptimo de los flexores de rodilla, en grados.
- El dolor muscular.
- El ratio H:Q convencional (fuerza concéntrica de los flexores de rodilla/fuerza concéntrica de los extensores de rodilla).

Estadística

Los resultados se expresan como medias (SD). Los datos fueron analizados usando el programa SPSS v.19.0. (Chicago, EEUU). Se analizó la normalidad de las variables mediante la W de Shapiro-Wilks. Se utilizó un ANOVA de una vía de medidas repetidas para buscar diferencias entre las cuatro mediciones planteadas.

Cuando se encontró algún efecto principal significativo se aplicó el *post hoc* de Bonferroni. Se usó la correlación de Pearson para buscar relaciones entre los cambios provocados por las sesiones de ejercicio excéntrico en las variables de fuerza y de los test de amortiguación. Se descartaron para el análisis aquellas correlaciones que no superasen $r = 0,70$. Basados en un estudio no publicado, se calculó la fiabilidad de las medidas mediante los coeficientes de correlación intraclase y el coeficiente de variación. Se usó un valor de $P < 0,05$.

Resultados

Los coeficientes de correlación intraclase fueron de 0,907 a 0,998, mientras que los coeficientes de variación fueron del 2 al 7%.

El ángulo óptimo de los extensores de rodilla tendía a desplazarse hacia longitudes musculares más largas después de la 1ª y de la 2ª sesión, y el momento de fuerza de los extensores de la rodilla tendía a disminuir ligeramente después de las 2 sesiones, aunque ninguno de estos cambios fue estadísticamente significativo (Tabla 1).

Tabla 1. Medidas en los test de fuerza en el dinamómetro isocinético en las cuatro mediciones.

Variables	Sesión 1		Sesión 2	
	Pre	Post	Pre	Post
Ángulo Ópt. Q (°)	63,5 (6,5)	66,9 (6,5)	64,5 (7,1)	67,2 (6,6)
Momento Q (Nm)	146 (21,8)	145 (18,3)	149 (19,2)	148 (18,5)
Ángulo Ópt. H (°)	31,9 (5,4)	31,1 (3,7)	31,9 (4,4)	30,8 (3,7)
Momento H (Nm)	83 (12,6)	79 (11,7)	82 (14,8)	78 (13,2)
H/Q	0,57 (0,07)	0,55 (0,06)	0,55 (0,1)	0,53 (0,01)

Abreviaturas: Ángulo Ópt. Q, ángulo óptimo del cuádriceps; Momento Q, momento de fuerza del cuádriceps, Ángulo Ópt. H, ángulo óptimo de los isquiotibiales; Momento H, momento de fuerza de los isquiotibiales en concéntrico; H/Q, ratio de los isquiotibiales/cuádriceps.

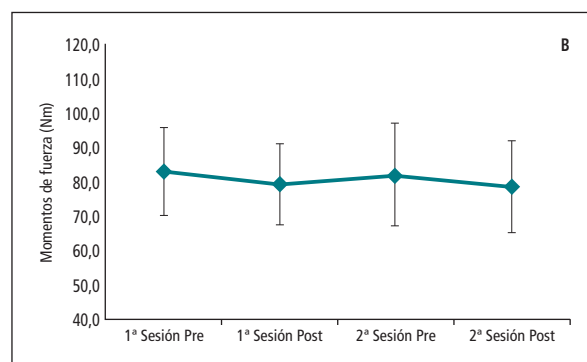
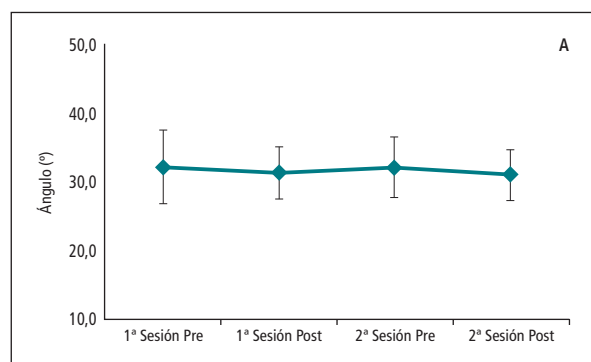


Figura 3. (A) Ángulo óptimo de los flexores de rodilla antes y después de ambas sesiones. **(B)** Momento de fuerza de los flexores de rodilla antes y después de ambas sesiones.

En lo que se refiere al ángulo óptimo de los músculos flexores de la rodilla tendió también a desplazarse de forma muy ligera hacia longitudes musculares largas después de la 1ª y de la 2ª sesión. El momento de fuerza también siguió la misma tendencia que en los extensores de la rodilla (Tabla 1 y Figura 3).

No aparecieron correlaciones significativas por encima de $r = 0,70$ entre ninguno de los porcentajes de cambio de las variables analizadas.

En relación al ratio H/Q concéntrico, los resultados de nuestro estudio nos muestran que se ha producido un descenso del mismo en ambas sesiones.

Cambios en el dolor muscular

Sobre el dolor muscular que producen los ejercicios excéntricos en la musculatura implicada, encontramos diferencias significativas entre la primera y la segunda sesión, siendo significativamente superior después de realizar la primera sesión al compararla con la segunda sesión (Figura 4), por lo que la 1ª sesión de ejercicios excéntricos ha provocado una adaptación en la musculatura de los flexores de rodilla.

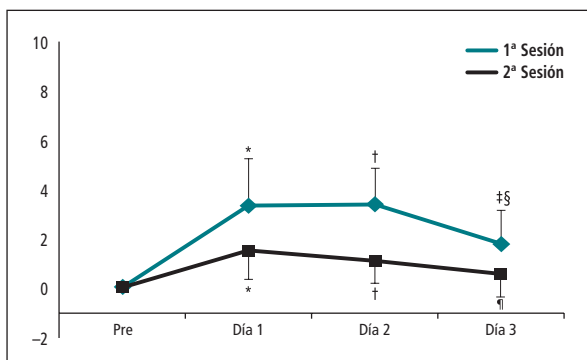


Figura 4. Representa el dolor muscular antes (pre) y los 3 días siguientes después de las sesiones de ejercicios excéntricos de los flexores de rodilla. Como se puede observar, tras la segunda sesión el dolor era inferior al que experimentaron tras la primera sesión.

Abreviaturas: Diferencias significativas entre Pre-Día 1 (*), Pré-Día 2 (†), Pre-Día 3 (‡), Día 1-Día 3 (¶) y Día 2-Día 3 (§)

Cambios en las fuerzas verticales y fuerzas anteroposteriores

En cuanto a los valores fuerzas verticales sí hemos encontrado diferencias significativas, sin embargo, en las fuerzas anteroposteriores no hemos encontrado diferencias entre las sesiones del presente estudio, aunque no siguen un patrón estable dichos cambios (Tabla 2).

Discusión

El principal hallazgo de nuestro estudio ha sido que una sesión de ejercicio excéntrico con bajo volumen e intensidad de la musculatura flexora de la rodilla provocó una reducción del daño muscular tras una sesión posterior de ejercicio. Sin embargo, después de esa primera sesión no se produjeron cambios significativos ni en la fuerza ni en el ángulo óptimo de la musculatura implicada. El ángulo de los flexores de rodilla después de las sesiones de ejercicio excéntrico tendió a desplazarse hacia longitudes musculares largas, aunque los cambios no fueron significativos.

Los estudios que han utilizado ejercicios excéntricos con mayor volumen e intensidad han demostrado que se produce un cambio en el ángulo óptimo de los músculos de los flexores de rodilla hacia una mayor longitud después de las sesiones (Brockett et al., 2001; Chen, Lin, Chen, Lin & Nosaka, 2011; Paschalis et al., 2008). Las diferencias entre nuestro estudio y los de la bibliografía pueden ser debidas a que el volumen y la intensidad de las sesiones no fue el suficiente para provocar adaptaciones significativas al realizar ejercicios excéntricos.

En cuanto a la fuerza de los flexores de rodilla, también tendió a disminuir después de las sesiones de ejercicio excéntrico, aunque los cambios tampoco fueron significativos. Al compararlo con otros estudios, los cuales realizan ejercicios excéntricos sobre la mis-

Tabla 2. Media y la desviación típica (SD) de las variables de la plataforma de fuerzas.

Variables	Sesión 1		Sesión 2	
	Pre	Post	Pre	Post
Fuerzas Verticales (N)	2875 (843)	2744 (684)	2509 (656)	2708 (718)†
Fuerzas Verticales (BW)	4,76 (1,48)	4,54 (1,22)	4,15 (1,13)	4,48 (1,27)†
Tiempo FV (s)	0,039 (0,01)	0,042 (0,01)	0,044 (0,02)	0,039 (0,01)
Fuerzas Anteroposteriores (N)	858 (350)	903 (363)	935 (284)	934 (347)
Fuerzas Anteroposteriores (BW)	1,40 (0,5)	1,49 (0,6)	1,54 (0,4)	1,53 (0,5)
Tiempo AP (s)	0,034 (0,02)	0,026 (0,01)	0,021 (0,01)‡	0,023 (0,01)

Abreviaturas: Tiempo FV, tiempo en que se produce el pico máximo de fuerza vertical; Tiempo AP (s), tiempo en que se produce el pico de fuerza anteroposteriores.

Significación: (†) Medición Pre-ejercicio de la primera sesión vs Medición Post-ejercicio de la segunda sesión, $P < 0,05$.

(‡) Medición Pre-ejercicio de la primera sesión vs Medición Pre-ejercicio de la segunda sesión, $P < 0,05$.

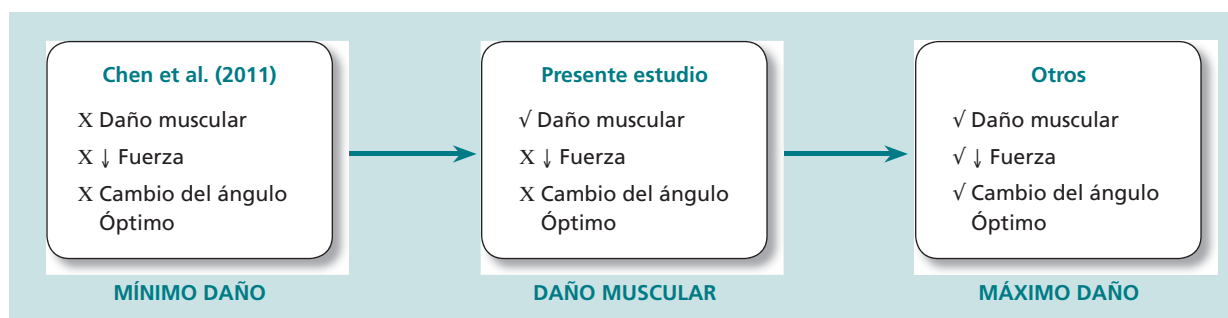


Figura 5. Cambios que se producen después de ejercicios excéntricos en función del volumen y la intensidad.

ma musculatura, observamos que se produce un descenso de la fuerza concéntrica después de las sesiones (Brockett et al., 2001; Chen et al., 2011; McHugh et al., 2001).

En relación al ratio H/Q concéntrico, los resultados de nuestro estudio nos muestran que se ha producido un descenso del mismo en ambas sesiones. Esto se ha producido por el mayor descenso de la fuerza de los flexores de la rodilla. Al descender el ratio H/Q, implica que la estabilidad de la rodilla se ve afectada, puesto que los músculos isquiotibiales actúan como sinergistas del LCA, controlando la traslación anterior de la tibia. More et al. (1993) plantearon la hipótesis de que la proporción de la fuerza de los músculos isquiotibiales respecto al cuádriceps, si son inferiores al 60% puede ser un indicativo de patología y puede predisponer a una lesión del LCA (Davies, 1992).

Sobre el dolor muscular que producen los ejercicios excéntricos en los músculos flexores de rodilla, hemos observado que en nuestro estudio sí había diferencias significativas entre la 1ª y la 2ª sesión, siendo significativamente superior después de realizar la 1ª sesión al compararla con la 2ª sesión. Esto implica que la 1ª sesión de ejercicios excéntricos ha provocado una adaptación en la musculatura de los flexores de rodilla, lo que quiere decir que el volumen de las sesiones de este estudio sí fue suficiente para provocar adaptaciones en este indicador.

Al comparar estos resultados con otras investigaciones, observamos que la mayoría de los estudios sobre RBE coinciden con nuestros resultados (Barroso et al., 2010; Bowers et al., 2004; Brown, Child, Day & Donnelly, 1997; Howatson & van Someren, 2007; McHugh, 2003; Nosaka & Newton, 2002b; Nosaka & Sakamoto, 2001; Sesto et al., 2005) y al hablar sobre la musculatura específica en la cual hemos trabajado en nuestra investigación, los flexores de rodilla, podemos observar que nuestros resultados sobre el dolor muscular coinciden con otros autores (Brockett et al., 2001; Chen, Nosaka & Sacco, 2007; McHugh et al., 2001; Paschalis et al., 2008).

Muchos estudios han demostrado que el ejercicio excéntrico provoca daño muscular y este daño está influenciado por el volumen de entrenamiento (Lieber & Friden, 1993; McCully & Faulkner, 1986; Nosaka & Newton, 2002a; Nosaka & Sakamoto, 2001) y por la intensidad de los mismos (Sesto et al., 2005). La mayoría de los estudios han trabajado con grandes volúmenes de ejercicio excéntrico al referirnos al número de repeticiones, que oscilan entre 60 y 250 repeticiones/sesión (Bowers et al., 2004; Brockett et al., 2001; McHugh, 2003; McHugh et al., 2001; Paschalis et al., 2008; Sesto et al., 2005; Yeung & Yeung, 2008), y si nos referimos a la intensidad a la que se han llevado los ejercicios excéntricos, muchos de los estudios se han llevado a cabo a intensidades excéntricas máximas (Barroso et al., 2010; Brockett et al., 2001; Brown et al., 1997; Howatson & van Someren, 2007; Nosaka & Newton, 2002b; Nosaka & Sakamoto, 2001; Paschalis et al., 2008). Entre los estudios que han trabajado ejercicios excéntricos con baja intensidad respecto al nuestro encontramos la investigación de Chen et al. (2011). Parece que el daño muscular que hemos producido en nuestro estudio estaría en el rango del estudio de Chen y los trabajos realizados con altas intensidades de ejercicio excéntrico (Figura 5). Entendemos esto ya que no se encontraron indicadores de daño muscular en la investigación de Chen y colaboradores. Sin embargo, en nuestro estudio sí encontramos cambios en la percepción del dolor después del ejercicio excéntrico, aunque sin cambios significativos en la fuerza ni en el ángulo óptimo, mientras que en los estudios con altos volúmenes e intensidades sí se encuentran tanto los cambios en la percepción del dolor, en la disminución de la fuerza y en el ángulo óptimo (Figura 5). Dado que estos parámetros influyen en el daño muscular, podemos entender las diferencias encontradas en los resultados entre la mayoría de las investigaciones con este estudio, puesto que nosotros hemos elaborado una investigación en la cual el volumen de las sesiones fue de 34 repeticiones, y se ha llevado a cabo con una intensidad muy inferior a los estudios nombrados

anteriormente (80%-100% del 1RM máxima concéntrica). Por ello, el objetivo de esta investigación era observar si con una sesión de ejercicios excéntricos con bajo volumen e intensidad sobre los músculos de los flexores de rodilla, se producía el daño muscular suficiente para inducir las adaptaciones que provoca el ejercicio excéntrico (cambio del ángulo óptimo en la producción de fuerza, pérdida de fuerza muscular, dolor muscular tardío...).

En cuanto a los valores de fuerza en los test de amortiguación del presente estudio, no hemos encontrado un patrón estable, ni en las fuerzas verticales ni anteroposteriores, que se pueda relacionar con los cambios en la función de la musculatura de la rodilla. No hemos encontrado ningún estudio en la bibliografía que haya medido cambios en la fuerza-longitud de la musculatura del tren inferior junto con los patrones de amortiguación desde una altura elevada. Una de las hipótesis de este trabajo era que al modificar la relación entre la fuerza de los flexores y extensores de la rodilla, el patrón de fuerzas durante la amortiguación desde una altura elevada se vería modificado de la misma forma tras las dos sesiones de ejercicio excéntrico. Esto hubiera indicado una relación entre las fuerzas registradas durante la amortiguación y los cambios en la relación fuerza-longitud de flexores y extensores de rodilla. Los patrones de fuerzas parecen haber seguido una tendencia independiente de los cambios en relación momento de fuerza-ángulo articular, como demuestra también la ausencia de correlaciones significativas entre los cambios porcentuales en los test isocinéticos y en los de amortiguación. Por lo tanto, pensamos que las leves modificaciones en la relación momento de fuerza-ángulo articular no fueron suficientes para provocar cambios mensurables en los patrones de fuerzas verticales medidos durante las amortiguaciones.

El presente estudio no está libre de limitaciones. La primera de ellas se relaciona con el tamaño de la muestra, que puede considerarse limitado. La complejidad del protocolo elaborado llevó a limitar el número de participantes en el estudio. Además, este tamaño de muestra está dentro de los habituales presentes en este tipo de estudios (Chen, Chen, Lin, Wu & Nosaka, 2009; Chen et al., 2007; Nosaka & Sakamoto, 2001). Por todo esto, preferimos aplicar sólo un protocolo de ejercicio a nuestros sujetos, en vez de dividirlos en grupos, lo que hubiera reducido la potencia esta-

dística. Por otra parte, la rodilla es sólo una de las articulaciones relacionadas con el riesgo de lesión en el LCA (Mendiguchia, Ford, Quatman, Alentorn-Geli & Hewett, 2011) y en este estudio no se analizaron los posibles cambios que la sesión de ejercicio excéntrico pudo haber provocado en la cinemática del miembro inferior (tobillo, rodilla, cadera) y del tronco.

Conclusiones

Las sesiones de ejercicios excéntricos no provocaron cambios significativos sobre la curva momento de fuerza-ángulo articular de los flexores de la rodilla. Tampoco se han producido cambios en las variables de las amortiguaciones desde superficies elevadas que se puedan relacionar con modificaciones en la función de la musculatura de la rodilla. Sin embargo, sí se produjeron cambios significativos en el dolor muscular tardío, indicando que en nuestra sesión se produjo daño muscular, aunque reducido. Por lo tanto, los cambios producidos por la sesión de entrenamiento realizada tuvieron un efecto protector moderado sobre la musculatura flexora de la rodilla.

Aplicaciones prácticas

Se ha demostrado que una sesión de ejercicio excéntrico, con bajo volumen e intensidad, sobre los músculos de los flexores de rodilla puede aplicarse para provocar adaptaciones favorables en los marcadores indirectos del daño muscular y así inducir un menor daño muscular en sesiones posteriores de ejercicios excéntricos, por el efecto protector que se ha producido gracias a la primera sesión de ejercicio excéntrico.

Agradecimientos

El trabajo ha sido parcialmente financiado por la Viceconsejería de Ciencia y Tecnología de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha con el Proyecto de Investigación "Criterios Biomecánicos para el diseño de máquinas de musculación y test de fuerza específicos", (referencia PII1109-0192-6593).

Los autores agradecen a la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia de la Universidad de Castilla-La Mancha el uso del dinamómetro isocinético utilizado en el estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lazaro-Haro, C. et al. (2009a). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 17(7), 705-729.
- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lazaro-Haro, C. et al. (2009b). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: A review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 17(8), 859-879.
- Arendt, E. & Dick, R. (1995). Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med*, 23(6), 694-701.
- Barroso, R., Roschel, H., Ugrinowitsch, C., Araujo, R., Nosaka, K. & Tricoli, V. (2010). Effect of eccentric contraction velocity on muscle damage in repeated bouts of elbow flexor exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*, 35(4), 534-540.
- Bowers, E. J., Morgan, D. L. & Proske, U. (2004). Damage to the human quadriceps muscle from eccentric exercise and the training effect. *J Sports Sci*, 22(11-12), 1005-1014.
- Briner, W. W., Jr. & Kacmar, L. (1997). Common injuries in volleyball. Mechanisms of injury, prevention and rehabilitation. *Sports Med*, 24(1), 65-71.
- Brockett, C. L., Morgan, D. L. & Proske, U. (2001). Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sci Sports Exerc*, 33(5), 783-790.
- Brown, S. J., Child, R. B., Day, S. H. & Donnelly, A. E. (1997). Exercise-induced skeletal muscle damage and adaptation following repeated bouts of eccentric muscle contractions. *J Sports Sci*, 15(2), 215-222.
- Clarkson, P. M. & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil*, 81(11 Suppl), S52-69.
- Clarkson, P. M., Nosaka, K. & Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc*, 24(5), 512-520.
- Chen, T. C., Chen, H. L., Lin, M. J., Wu, C. J. & Nosaka, K. (2009). Muscle damage responses of the elbow flexors to four maximal eccentric exercise bouts performed every 4 weeks. *Eur J Appl Physiol*, 106(2), 267-275.
- Chen, T. C., Lin, K. Y., Chen, H. L., Lin, M. J. & Nosaka, K. (2011). Comparison in eccentric exercise-induced muscle damage among four limb muscles. *Eur J Appl Physiol*, 111(2), 211-223.
- Chen, T. C., Nosaka, K. & Sacco, P. (2007). Intensity of eccentric exercise, shift of optimum angle, and the magnitude of repeated-bout effect. *J Appl Physiol*, 102(3), 992-999.
- Davies, G. J. (1992). *A compendium of isokinetics in clinical usage and rehabilitation techniques* (4th. ed ed.). Onalaska: S&S Publishers.
- Delfico, A. J. & Garrett, W. E., Jr. (1998). Mechanisms of injury of the anterior cruciate ligament in soccer players. *Clin Sports Med*, 17(4), 779-785, vii.
- Dufek, J. S. & Bates, B. T. (1990). The evaluation and prediction of impact forces during landings. *Med Sci Sports Exerc*, 22(3), 370-377.
- Ebbeling, C. B. & Clarkson, P. M. (1990). Muscle adaptation prior to recovery following eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 60(1), 26-31.
- Ferretti, A., Papandrea, P., Conteduca, F. & Mariani, P. P. (1992). Knee ligament injuries in volleyball players. *Am J Sports Med*, 20(2), 203-207.
- Foley, J. M., Jayaraman, R. C., Prior, B. M., Pivarnik, J. M. & Meyer, R. A. (1999). MR measurements of muscle damage and adaptation after eccentric exercise. *J Appl Physiol*, 87(6), 2311-2318.
- Gilchrist, J., Mandelbaum, B. R., Melancon, H., Ryan, G. W., Silvers, H. J., Griffin, L. Y. et al. (2008). A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. *Am J Sports Med*, 36(8), 1476-1483.
- Hewett, T. E. (2000). Neuromuscular and hormonal factors associated with knee injuries in female athletes. Strategies for intervention. *Sports Med*, 29(5), 313-327.
- Hewett, T. E. (2008). Predisposition to ACL injuries in female athletes versus male athletes. *Orthopedics*, 31(1), 26-28.
- Hewett, T. E., Stroupe, A. L., Nance, T. A. & Noyes, F. R. (1996). Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med*, 24(6), 765-773.
- Hirose, L., Nosaka, K., Newton, M., Laveder, A., Kano, M., Peake, J. et al. (2004). Changes in inflammatory mediators following eccentric exercise of the elbow flexors. *Exerc Immunol Rev*, 10, 75-90.
- Howatson, G. & van Someren, K. A. (2007). Evidence of a contralateral repeated bout effect after maximal eccentric contractions. *Eur J Appl Physiol*, 101(2), 207-214.
- Krosshaug, T., Nakamae, A., Boden, B. P., Engebretsen, L., Smith, G., Slauterbeck, J. R. et al. (2007). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med*, 35(3), 359-367.
- Lieber, R. L. & Friden, J. (1993). Muscle damage is not a function of muscle force but active muscle strain. *J Appl Physiol*, 74(2), 520-526.
- Mandelbaum, B. R., Silvers, H. J., Watanabe, D. S., Knarr, J. F., Thomas, S. D., Griffin, L. Y. et al. (2005). Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med*, 33(7), 1003-1010.
- McCully, K. K. & Faulkner, J. A. (1986). Characteristics of lengthening contractions associated with injury to skeletal muscle fibers. *J Appl Physiol*, 61(1), 293-299.
- McNair, P. J., Prapavessis, H. & Callender, K. (2000). Decreasing landing forces: effect of instruction. *Br J Sports Med*, 34(4), 293-296.
- McHugh, M. P. (2003). Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports*, 13(2), 88-97.
- McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G., Gattman, E. J. & Gleim, G. W. (2001). Electromyographic analysis of repeated bouts of eccentric exercise. *J Sports Sci*, 19(3), 163-170.
- McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G. & Gleim, G. W. (1999). Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. *Sports Med*, 27(3), 157-170.
- McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G. & Gleim, G. W. (2000). Electromyographic analysis of exercise resulting in symptoms of muscle damage. *J Sports Sci*, 18(3), 163-172.
- Mendiguchia, J., Ford, K. R., Quatman, C. E., Alentorn-Geli, E. & Hewett, T. E. (2011). Sex differences in proximal control of the knee joint. *Sports Med*, 41(7), 541-557.
- More, R. C., Karras, B. T., Neiman, R., Fritschy, D., Woo, S. L. & Daniel, D. M. (1993). Hamstrings--an anterior cruciate ligament antagonist. An in vitro study. *Am J Sports Med*, 21(2), 231-237.
- Newham, D. J., Jones, D. A. & Clarkson, P. M. (1987). Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *J Appl Physiol*, 63(4), 1381-1386.
- Nikolaidis, M. G., Paschalis, V., Giakas, G., Fatouros, I. G., Koutedakis, Y., Kouretas, D. et al. (2007). Decreased blood oxidative stress after repeated muscle-damaging exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 39(7), 1080-1089.
- Nosaka, K. & Clarkson, P. M. (1996). Changes in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors. *Med Sci Sports Exerc*, 28(8), 953-961.
- Nosaka, K., Clarkson, P. M., McGuiggin, M. E. & Byrne, J. M. (1991). Time course of muscle adaptation after high force eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 63(1), 70-76.
- Nosaka, K. & Newton, M. (2002a). Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc*, 34(1), 63-69.
- Nosaka, K. & Newton, M. (2002b). Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *J Strength Cond Res*, 16(2), 202-208.
- Nosaka, K. & Sakamoto, K. (2001). Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. *Med Sci Sports Exerc*, 33(1), 22-29.

- Noyes, F. R., Schipplein, O. D., Andriacchi, T. P., Suddemi, S. R. & Weisse, M. (1992). The anterior cruciate ligament-deficient knee with varus alignment. An analysis of gait adaptations and dynamic joint loadings. *Am J Sports Med*, 20(6), 707-716.
- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Giakas, G., Jamurtas, A. Z., Owolabi, E. O. & Koutedakis, Y. (2008). Position sense and reaction angle after eccentric exercise: the repeated bout effect. *Eur J Appl Physiol*, 103(1), 9-18.
- Sesto, M. E., Radwin, R. G., Block, W. F. & Best, T. M. (2005). Anatomical and mechanical changes following repetitive eccentric exertions. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 20(1), 41-49.
- Soderman, K., Alfredson, H., Pietila, T. & Werner, S. (2001). Risk factors for leg injuries in female soccer players: a prospective investigation during one out-door season. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 9(5), 313-321.
- Withrow, T. J., Huston, L. J., Wojtys, E. M. & Ashton-Miller, J. A. (2008). Effect of varying hamstring tension on anterior cruciate ligament strain during in vitro impulsive knee flexion and compression loading. *J Bone Joint Surg Am*, 90(4), 815-823.
- Yeung, S. S. & Yeung, E. W. (2008). Shift of peak torque angle after eccentric exercise. *Int J Sports Med*, 29(3), 251-256.