

Monograph

Diferencias en la Magnitud del Daño Muscular Inducido por el Ejercicio Excéntrico entre los Flexores del Codo y los Extensores de la Rodilla

Hakan Gür², Tolga Saka¹, Bedrettin Akova², Zeynep Yazici³, Ufuk Sekir² y Yesim Ozarda⁴

¹Department, Medical Faculty of Erciyes University, Kayseri.

²Department of Sports Medicine.

³Department of Radiology.

⁴Department of Biochemistry, Medical Faculty of Uludag University, Bursa, Turkey.

RESUMEN

El propósito de este estudio fue determinar la diferencia en la magnitud del daño muscular inducido por el ejercicio excéntrico máximo entre los flexores del codo (EF) y de los extensores de rodilla (KE). Doce voluntarios sedentarios de sexo masculino participaron del estudio. El rango de movimiento (ROM), el torque de pico isométrico (ITP), el retraso en el inicio del dolor muscular (DOMS), la actividad de la creatina quinasa (CK), y concentración de mioglobina (Mb) fueron evaluados antes, inmediatamente después, y en los días 1^o, 2^o, 3^o, y 7^o post ejercicio. Durante el ejercicio se registró el trabajo total (TW) que fue corregido por el volumen muscular (TWc). El TWc fue mayor ($p < 0.01$) para EF [24 (2) joule·cm⁻³] que para KE [7 (0.4) joule·cm⁻³]. El incremento en los niveles de la CK en los días 2^o, 3^o, y 7^o ($p < 0.01$) y el incremento en los niveles de mioglobina en los días 1^o, 2^o, 3^o, y 7^o fueron significativamente ($p < 0.01$) mayores en la condición EF que en la condición KE. En todos los momentos de evaluación, la declinación en el ITP fue mayor ($p < 0.05-0.01$) en la condición EF que en la condición KE. Los resultados de este estudio demuestran que, en hombres sedentarios, la magnitud de daño muscular es mayor y la recuperación es más lenta luego de la realización de ejercicios excéntricos máximos con los EF que con los KE.

Palabras Clave: ejercicios excéntricos máximos, daño muscular, creatina quinasa, volumen muscular

INTRODUCCION

Se sabe que las acciones musculares excéntricas resultan en daño muscular (Clarkson et al., 1992; Nosaka et al., 2002). Las proteínas sanguíneas, como la creatina quinasa y la mioglobina (Nosaka and Clarkson, 1992; Sorichter et al., 1997; 1999), el análisis de fuerza muscular (Nosaka and Clarkson, 1992; Nosaka et al., 2002; Paschalis et al., 2005), el dolor muscular subjetivo (Clarkson et al., 1992; Vickers, 2001), los cambios celulares y subcelulares en la ultraestructura del músculo (Friden and Lieber, 2001) y la reducción del rango de movimiento (Nosaka and Clarkson, 1992; Nosaka et al., 2002), son algunos de los índices utilizados para valorar daño muscular (Clarkson and Hubal, 2002).

Para evaluar el daño muscular inducido por ejercicio excéntrico, se utilizan principalmente los grupos musculares de los flexores del codo (EF) en la extremidad superior y los extensores de rodilla (KE) en la extremidad inferior son los grupos musculares mayormente utilizados (Clarkson and Hubal, 2002). Interesantemente, los resultados de los estudios que investigaron el daño en los EF (Clarkson and Tremblay, 1988; Newham et al., 1988, Nosaka et al., 1991; Nosaka and Newton, 2002) observaron cambios más marcados en los indicadores de daño muscular que en aquellos estudios que los que se valoró el daño en los KE (Brown et al., 1997; Dolezal et al., 2000; Prou et al., 1999; Sorichter et al., 1997; 2001). Las diferencias entre las respuestas de los músculos de las piernas y los brazos, observadas en estudios previos, durante la realización de ejercicios excéntricos, deberían ser interpretadas cuidadosamente. Las causas probables de estas diferencias pueden ser los diferentes modos de ejercicio utilizado, los diferentes tipos de contracciones musculares, las diferentes intensidades y el número de acciones musculares, y los diferentes grupos de sujetos.

Hasta el momento, solo un estudio ha comparado directamente el daño en los músculos del brazo y la pierna, utilizando los mismos sujetos, para explicar los distintos resultados de estudios previos sobre este tema (Jamurtas et al., 2005). En este estudio (Jamurtas et al., 2005), se utilizó la misma intensidad de ejercicio excéntrico submáximo para inducir el daño muscular en los EF y los KE. Los resultados de este estudio indicaron que la magnitud de daño muscular fue mayor y que la recuperación de la función muscular post ejercicio fue más lenta en los EF en comparación con los KE. Los autores de este estudio sugirieron algunas posibles explicaciones para las diferencias observadas entre las respuestas de los músculos del brazo y de la pierna. Entre estas razones propuestas se encontraban la diferencia en la utilización de los músculos en actividades cotidianas, las diferencias en la arquitectura muscular y las diferencias en los tipos de fibras.

Se ha propuesto que las diferencias en la arquitectura muscular son un importante factor que afecta el daño muscular luego de la realización de ejercicios excéntricos (Friden and Lieber, 2001). Esto ha sido atribuido al hecho de que, durante ejercicio excéntrico, la habilidad para generar tensión aumenta y una mayor carga es distribuida entre un mismo número de fibras, resultando en una mayor carga por fibra (Clarkson and Hubal, 2002). Además, los ejercicios excéntricos máximos provocan un mayor daño muscular que el ejercicio excéntrico submáximo (Nosaka and Newton, 2002; Paschalis et al., 2005). Esto significa que a mayor carga excéntrica, mayor es el estrés mecánico por unidad muscular, y esto puede causar mayor daño muscular prominente. Debido a las diferencias en la arquitectura de los músculos del brazo y de las piernas (Lieber and Friden, 2000), es probable que el estrés mecánico por unidad de músculo difiera entre estos dos grupos musculares, durante la realización de ejercicios excéntricos de la misma intensidad. Esta puede ser una de las razones de las diferentes respuestas al daño muscular. Para verificar esta noción y confirmar las conclusiones del estudio llevado a cabo por Jamurtas et al. (2005), sería interesante investigar este aspecto nuevamente. Dado que existe una mayor relación entre la fuerza muscular y el volumen muscular que entre la fuerza muscular y el área de sección cruzada muscular; sería más apropiado utilizar volumen muscular (Gadeberg et al., 1999) para valorar el estrés por unidad de músculo. A la luz de esta información, el propósito de este estudio fue investigar las diferencias en la magnitud del daño muscular inducido por el ejercicio excéntrico máximo entre los flexores del codo y los extensores de la rodilla en los mismos sujetos.

MÉTODOS

Sujetos

La muestra estuvo conformada por 12 hombres sanos, no deportistas, y que no hubieran participado en ningún programa de entrenamiento con sobrecarga por al menos un año antes del estudio. Los valores medios \pm DE (rango) para la edad, altura y masa corporal fueron: 25 ± 3 (22-30) años, 1.77 ± 0.07 (1.65-1.86) m, y 75 ± 8 (63-94) kg, respectivamente. Antes de participar en el estudio, los sujetos fueron informados sobre los procedimientos experimentales, los cuales estaban en concordancia con los estándares éticos de la Escuela de Medicina de la Universidad de Uludag y con la Declaración de Helsinki, y se les pidió que firmen un documento de consentimiento informado. Se les solicitó a los sujetos que, durante el período experimental, evitaran realizar cualquier forma de actividad física intensa o ejercicios no habituales, que no fueran otros que los requeridos para el estudio. Todos los sujetos estaban libres de desórdenes músculo-esqueléticos y fueron instruidos para que no ingirieran medicamentos o suplementos dietarios durante el período experimental. No se impusieron restricciones en la dieta, salvo aquella relacionada con la ingesta de suplementos.

Protocolo Experimental

El ejercicio excéntrico para inducir daño muscular fue aplicado a los EF o KE de las extremidades no dominantes de manera aleatoria. Para determinar el lado no dominante, se les consultó a los sujetos primero cual era la extremidad superior dominante (determinado por la mano de la escritura) y la extremidad inferior dominante (determinada por ser la pierna utilizada para patear un balón de fútbol). El tiempo entre las dos sesiones fue de dos semanas. Previamente a las sesiones de evaluación, se llevó a cabo la estimación del volumen muscular y la determinación de la altura, el peso, y la

fuerza isométrica. Antes e inmediatamente después del ejercicio y en los días 1º, 2º, 3º y 7º post ejercicio, se realizaron análisis bioquímicos, y la determinación del ROM, DOMS y del torque isométrico pico (ITP).

Estimación del Volumen Muscular

Los músculos de los EF y KE de las extremidades no dominantes fueron evaluados utilizando MRI con un magneto súper conductor de 1.5-Tesla (Siemens, Magnetom Vision Plus, Erlangen, Germany). El escaneo fue realizado con el sujeto en posición supina en una camilla dentro del resonador. Se obtuvieron cortes de MRI de 6mm de grosor para los músculos de los EF y de 9mm para los músculos de los KE utilizando la técnica T1 axial convencional (tiempo de eco 14 ms; tiempo de repetición 540-720 ms). La distancia entre las secciones, tanto para los músculos EF y como para los músculos KE, fue de 1mm. La anatomía muscular fue definida de acuerdo con textos estándares de anatomía. El recto femoral, vasto medial y vasto intermedio fueron definidos como los KE, y el bíceps braquial (porción larga y corta), el braquial y el braquioradial como los flexores del codo. Para los extensores de la rodilla se obtuvieron cortes consecutivos comenzando en la espina iliaca súper anterior y continuando distalmente hacia el límite superior de la rótula. Para los EF se obtuvieron cortes consecutivos comenzando por los procesos coracoides y continuando distalmente hacia el final lateral del radio. Las regiones de interés (ROI) fueron marcadas manualmente para tanto para los EF como para los KE. Cada área de la sección axial fue multiplicada por la distancia entre cortes (10mm para los KE y 7mm para los EF), y la suma de los resultados fue aceptada como volumen muscular. Se utilizó el *software* de la MRI (Numaris 3 VB33D) para calcular los volúmenes musculares.

Torque Isométrico Pico

Las mediciones del torque isométrico pico (ITP) para los EF y los KE se llevaron a cabo utilizando un dinamómetro isoquinético CYBEX 6000 (Lumex, Inc., Ronkonkoma, USA). Los sujetos tuvieron dos días para familiarizarse con los dispositivos de ejercicio y los procedimientos de evaluación. Dado el ROM utilizado para el protocolo de ejercicio excéntrico (0-90 grados), los ángulos para las mediciones isométricas fueron elegidos dentro de este rango y lo más cercano posible al ángulo de torque de pico óptimo para cada articulación.

El ITP para los EF fue valorado mientras los sujetos se encontraban recostados sobre sus espaldas. Se utilizaron correas en los hombros, un cinturón, y una correa en la rodilla para evitar movimientos no deseados. El centro de la articulación del codo fue alineado con el centro del brazo de potencia del dinamómetro. El cero anatómico para la flexión del codo fue definido como un ángulo de 0 grados (extensión total). En cada sujeto se determinó la masa del brazo, y el *software* del dinamómetro registró la fuerza corregida por los efectos gravitacionales de la masa del brazo. El ITP en la articulación del codo fue determinado en un ángulo 60 grados. Luego de realizar tres pruebas submáximas, los sujetos realizaron cuatro esfuerzos voluntarios máximos sucesivos para la determinación del ITP. La duración de cada contracción fue de 5 segundos, con un intervalo de descanso de 10 segundos.

El ITP para los KE fue valorado mientras los sujetos se encontraban sentados en el sillón del dinamómetro, con un ángulo de cadera de 90 grados y con los brazos cruzados sobre el pecho. Se utilizaron correas para la sujeción de los hombros, un cinturón, una correa para la sujeción de la rodilla, y una correa para la sujeción del tobillo para limitar movimientos no deseados. El centro de la articulación de la rodilla fue alineado con el centro del brazo de potencia del dinamómetro. El cero anatómico de la articulación de la rodilla fue definido como un ángulo de de 0 grados (extensión total). Para cada sujeto se determinó la masa de la pierna y el *software* del dinamómetro registró la fuerza corregida por los efectos gravitacionales de la masa de la pierna. El ITP en la articulación de la rodilla fue determinado con la misma en un ángulo de 60 grados. Luego de realizar tres pruebas submáximas, los sujetos realizaron cuatro esfuerzos voluntarios máximos sucesivos para la determinación del ITP. La duración de cada contracción fue de 5 segundos, con un intervalo de descanso de 10 segundos.

Protocolo de Ejercicio Excéntrico

El escenario para cada ejercicio excéntrico fue el mismo que el que se utilizó para determinar el ITP. El ejercicio tanto para los músculos KE y como para los músculos EF, se llevo a cabo en el dinamómetro isocinético colocado en modo activo-asistido (con acciones concéntricas/ excéntricas) y consistió de 3 serie de 15 repeticiones de acciones excéntricas máximas. Se les solicitó a los sujetos que no realizaran contracciones activas durante la fase concéntrica del modo activo-asistido. Debido a las propiedades técnicas del dinamómetro utilizado y a la posición de los sujetos, el rango de movimiento se limitó a 90 grados para el ejercicio con los KE (desde la extensión total a los 90º de flexión). Para estandarizar el tiempo bajo tensión de cada grupo muscular durante el ejercicio, se utilizó el mismo ROM para el ejercicio con los EF (desde 90º de flexión hasta extensión total). La velocidad angular de las acciones excéntricas fue de 30º/s para ambos ejercicios. El tiempo bajo tensión para cada acción excéntrica fue el misma tanto para el ejercicio con los KE como para el ejercicio con los EF. Los períodos de recuperación entre las series fueron de 1 min en ambos protocolos de ejercicio. El trabajo se definió como el producto entre el torque y el ángulo (trabajo = torque × desplazamiento angular). Para determinar el

trabajo por repetición se multiplicó el torque excéntrico que moviliza la extremidad desde 0° a 90° por la distancia angular entre este ROM. De ahí en adelante, para calcular el trabajo realizado en cada repetición del protocolo de ejercicio se sumó el trabajo realizada en cada una de las 15 repeticiones. Estos cálculos se llevaron a cabo utilizando el *software* del dinamómetro. El trabajo excéntrico total (TT) fue definido como la suma del trabajo realizado en cada una de las tres series de ejercicio.

Análisis Bioquímicos

Se recolectaron muestras sanguíneas en la vena antecubital, las cuales fueron colocadas en tubos de ensayos. Las muestras de sangre se dejaron coagular a temperatura ambiente durante 30 min y para ser posteriormente centrifugadas. La capa de suero fue removida y congelada a -18 °C para análisis posteriores. La actividad sérica de la creatina quinasa fue determinada utilizando un instrumental comercial (Abbott Aeroset, USA). El rango normal de referencia para la CK es de 29-200 IU/L. La concentración de mioglobina (Mb) también fue medida utilizando instrumental disponible comercialmente (Abbott Axsym System, USA). El rango normal de referencia para la concentración de Mb es de <116.6 ng/mL.

Retraso en el Inicio del Dolor Muscular (DOMS)

El dolor muscular fue determinado mediante palpación profunda del vientre muscular en los EF y los KE (en la parte distal del vasto medial, vasto lateral y recto femoral) y fue valorado utilizando una escala analógica visual (EAV) que cuenta con una línea de 100 mm que representa el estado “sin dolor” en un extremo y en el otro extremo otra línea igual que representa el estado de “dolor extremo”. Durante la examinación los sujetos se mantuvieron recostados en posición supina sobre una camilla y con ambas extremidades relajadas.

Rango de Movimiento (ROM)

La medición del ROM se llevó a cabo mediante la utilización del goniómetro. El ROM para la extensión de rodilla fue medido con los sujetos en posición de decúbito prono. Los sujetos realizaron una lenta flexión activa desde la posición de extensión total. El ángulo articular en el cual los sujetos reportaron algún tipo de discomfort fue tomado como indicación del final del ROM libre de dolor. De manera similar, el ROM en la flexión del codo fue valorado con los sujetos se encontraban recostados en decúbito prono y moviendo el codo desde la posición de extensión total hasta la posición de flexión completa. El ángulo articular en el cual los sujetos reportaron algún tipo de discomfort fue tomado como indicación del final del ROM libre de dolor.

Análisis Estadísticos

Los análisis fueron llevados a cabo utilizando un paquete estadístico SPSS para Windows, versión 9.0.0. Se utilizó el test de Shapiro-Wilk para evaluar la distribución normal de todas las variables. La efectividad y la seguridad de esta intervención suele valorarse a partir del cambio desde el valor basal en algunos puntos finales clínicos primarios. Esta valoración, podría proveer una inferencia estadística más precisa de los efectos de la intervención debido a la reducción en la variabilidad. Si la distribución de los datos a partir del valor basal no es normal, no se pueden realizar inferencias acerca de la media o la varianza. Si este fuera el caso se recomienda la utilización de métodos no paramétricos para realizar inferencias acerca de los efectos de la intervención (Chow and Liu, 2004). Debido a la falta de una normal distribución, a la utilización de una muestra pequeña, y a la valoración de los EF y KE por parte de los propios sujetos; se utilizó el análisis no paramétrico para pruebas relacionadas (*Wilcoxon Signed Rnk Test*). Se realizaron comparaciones entre el valor basal y puntos del tiempo consecutivos y entre los EF y los KE en cada punto de tiempo. Para el torque isométrico pico y para el rango de movimiento se calcularon, el porcentaje de cambio entre los valores pre- ejercicio (valor basal) y los consecutivos valores obtenidos en los diferentes puntos del tiempo. Los resultados se reportan como medias y error estándar de la media (ESM). Un valor de $p < 0.05$ fue considerado como estadísticamente significativo.

RESULTADOS

Volumen Muscular y Características de Ejercicio Excéntrico

La Tabla 1 muestra los valores del volumen muscular y las características del ejercicio excéntrico para los EF y KE. El volumen muscular fue significativamente mayor para los KE que para los EF. La suma del trabajo excéntrico en las tres series de ejercicio para inducir daño muscular también fue significativamente mayor para los KE. Un hallazgo inverso y destacable fueron los valores significativamente mayores para los EF, y en comparación con los KE, cuando el TW fue corregido por el volumen muscular.

	EF	KE
Volumen Muscular (cm³)	124 (4) **	1119 (47)
TT (joule)	2915 (180) **	7341 (460)
TT_c (joule/ cm³)	24 (2) **	7 (0.4)

Tabla 1. Volumen muscular, trabajo total (TT), y trabajo total corregido (TT_c) para los flexores del codo (EF) y los extensores de la rodilla (KE). Los datos se presentan como medias (SEM). ** Significativamente diferente de KE ($p < 0.01$).

Concentración Plasmática de CK y Mb

La Figura 1 muestra los cambios en los porcentajes de CK luego de la realización de ejercicio con los EF y los KE. El nivel de CK en la condición EF comenzó a incrementarse de manera significativa desde el valor basal, inmediatamente post ejercicio, alcanzando el valor pico al 3^{er} día y no recuperándose hasta el 7^{mo} día post ejercicio. A pesar de que los aumentos de los niveles de CK en la condición KE durante el 3^{er} día no fueron tan altos como los observados en la condición EF, si se observaron cambios significativos hasta el 7^{mo} día post ejercicio. Sin embargo, los EF exhibieron incrementos significativamente mayores que los observados para los KE, en los días 2, 3 y 7 post ejercicio.

La Figura 2 muestra los cambios en los porcentajes de Mb luego del ejercicio con los EF y los KE. En los EF, la Mb se incrementó significativamente desde los valores de pre-ejercicio en los días 1, 2, 3 y 7. Lo mismo fue observado para los KE durante los días 1, 2 y 3, excepto por el día 7. Los EF mostraron aumentos significativamente mayores de la Mb en los días 1, 2, 3 y 7 en comparación con los KE.

Torque Isométrico Pico

El ITP pre ejercicio para los EF y los KE fue de 63 (4) Nm y 205 (14) Nm, respectivamente. Como se observa en la Figura 3, el ITP de los KE no mostró cambios significativos luego del ejercicio excéntrico. A pesar de esto, el ITP de los EF se redujo y fue significativamente diferente del valor basal en los días 1, 2 y 3 post ejercicio. La reducción del ITP en los EF se recuperó al 7^{mo} día post ejercicio. Las diferencias en el ITP entre los KE y los EF fueron significativas en todas las mediciones realizadas en los días posteriores al ejercicio.

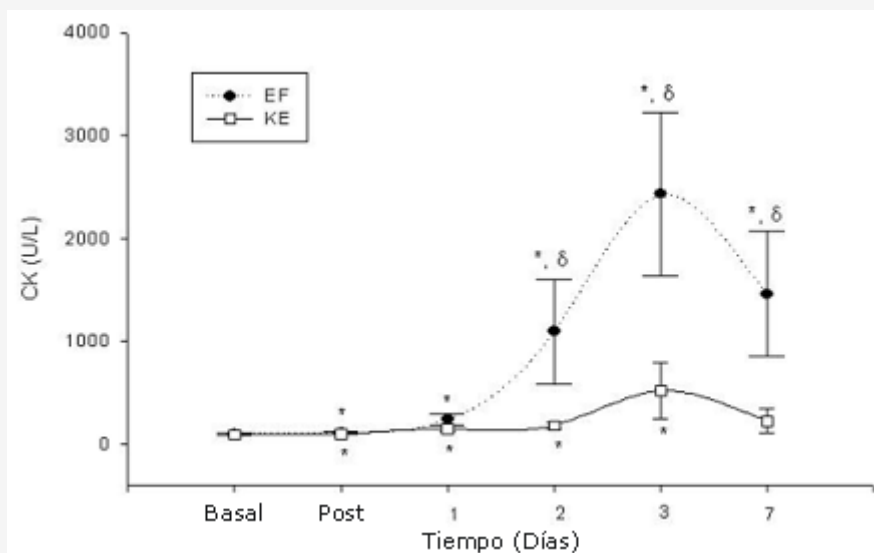


Figure 1. Cambios en la actividad de la creatina quinasa (CK) desde nivel de pre-ejercicio luego de la realización de ejercicio excéntrico con los extensores de la rodilla (KE) y los flexores del codo (EF). * Significativamente diferente del valor basal. δ Significativamente diferente de KE. Los símbolos (●□) y sus barras de error representan la media y el SEM.

Rango de Movimiento

La Figura 4 muestra el porcentaje de cambio en el ROM debido al dolor para los EF y para los KE. Solamente la disminución del ROM en los EF resultó ser significativamente diferente del valor basal durante los días 1, 2 y 3 post ejercicio. En los días 2 y 3 post ejercicio se halló una reducción significativa del ROM tanto para los EF como para los KE.

Retraso en el Inicio del Dolor Muscular

Como se muestra en la Figura 5, tanto en los EF como en los KE, el DOMS desarrollado luego del 1^{er} día, alcanza valores picos al día 2 post ejercicio y comenzó a reducirse a partir del 3^{er} día post ejercicio, retornando al valor basal en el día 7 post ejercicio. Asimismo, el DOMS fue significativamente mayor en los EF que en los KE durante los días 2 y 3 post ejercicio.

DISCUSION

Los resultados del presente estudio mostraron que luego de la realización de ejercicio excéntrico máximo: (1) los EF exhibieron una gran reducción y una más lenta reducción de la fuerza que los KE, 2) la magnitud del incremento en las concentraciones séricas de CK y Mb fue mayor en los KE, 3) el DOMS y el ROM libre de dolor fue mayor para los EF que para los KE, 4) el TTc, determinado por el volumen muscular, fue mayor para los EF que para los KE.

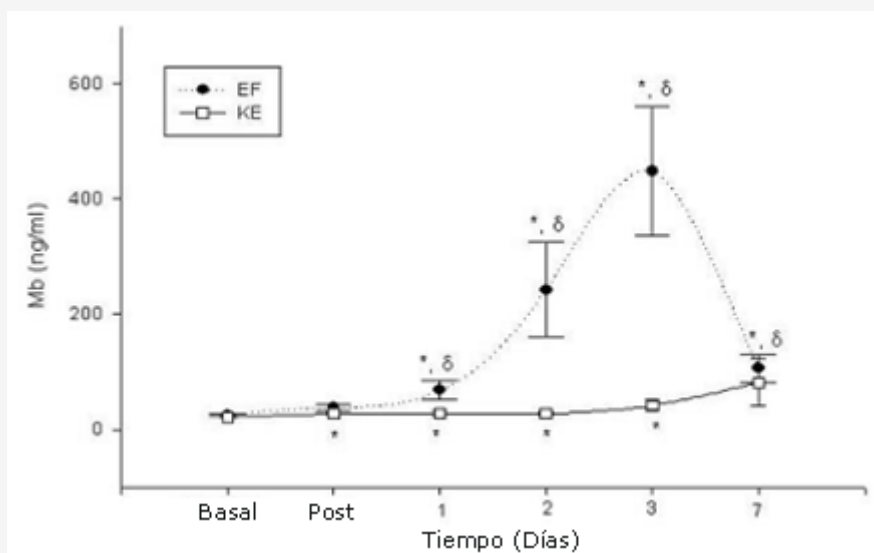


Figura 2. Cambios en la mioglobina (Mb) desde nivel de pre- ejercicio luego de la realización de ejercicio excéntrico con los extensores de la rodilla (KE) y los flexores del codo (EF). *Significativamente diferente del valor basal. δ Significativamente diferente de KE. Los símbolos (●□) y sus barras de error representan la media y el SEM.

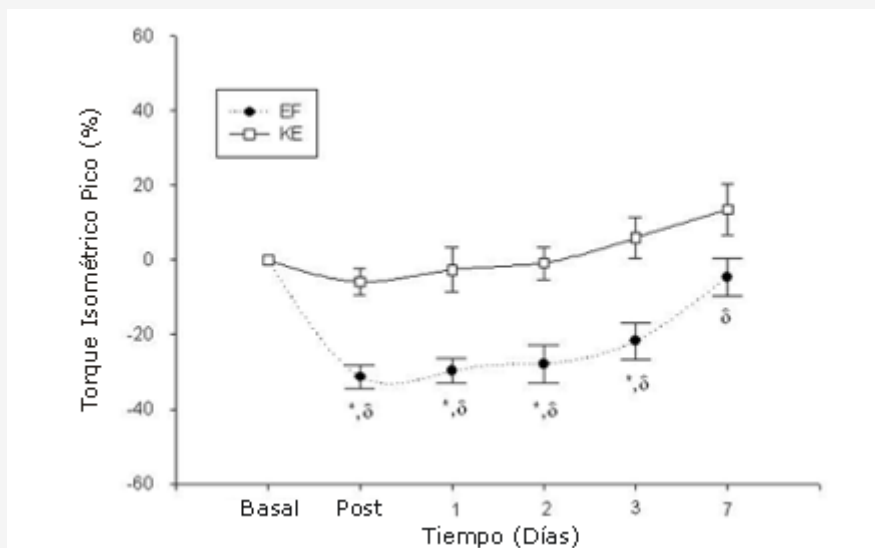


Figure 3. Cambios normalizados en el torque isométrico pico desde el nivel pre-ejercicio (%) luego de la realización de ejercicio excéntrico con los extensores de rodilla (KE) y los flexores del codo (EF). δ Significativamente diferente de KE. Los símbolos (●□) y sus barras de error representan la media y el SEM.

Los resultados del presente estudio concuerdan con los obtenidos en aquellos estudios que utilizaron ejercicios ya sea con la extremidad superior o la extremidad inferior. Por ejemplo, el aumento en la actividad de la CK en sangre fue mayor luego de la realización de ejercicio excéntrico con los EF (Cleak and Eston, 1992; Lee et al., 2002; Newham et al., 1987; Nosaka and Newton, 2002; Nosaka et al., 2002; Rodenburg et al., 1993) que luego de la realización de ejercicios que involucren a las extremidades inferiores, tal como las carreras en descenso (Byrnes et al., 1985; Schwane et al., 1983; Sorichter et al., 2001) y los ejercicios excéntricos aislados con los KE (Brown et al., 1997; Byrne and Eston, 2002; Prou et al., 1999; Serrao et al., 2003). El DOMS también pareció ser mayor luego de una serie de ejercicio excéntrico realizado con los EF (Clarkson and Tremblay, 1988; Cleak and Eston, 1992; Lee et al., 2002; Newham et al., 1988; Nosaka et al., 2002; Rodenburg et al., 1993) que con las extremidades inferiores (Brown et al., 1996; Byrnes et al., 1985; Dolezal et al., 2000; Gleeson et al., 1998; Prou et al., 1999; Schwane et al., 1983). Además, la recuperación del rendimiento muscular pareció ser más lenta posterior luego de la realización de ejercicios en los que están involucrados los músculos del brazo (Kawakami et al., 1995; Nosaka et al., 1991; 2002) que luego de la realización de ejercicios con las piernas (Brown et al., 1997; Byrne and Eston, 2002; Serrao et al., 2003).

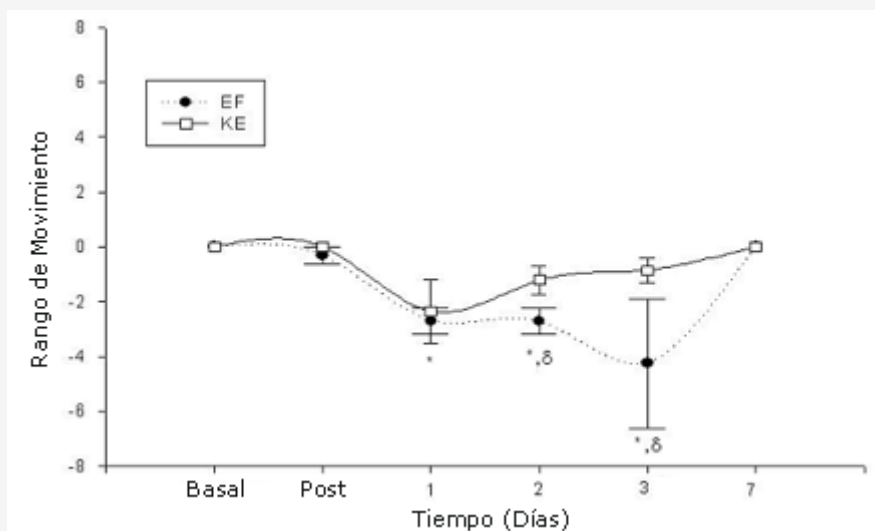


Figura 4. Cambios normalizados en el rango de movimiento desde el nivel pre-ejercicio (%) luego de la realización de ejercicio excéntrico con los extensores de rodilla (KE) y los flexores del codo (EF). δ Significativamente diferente de KE. Los símbolos (●□) y sus barras de error representan la media y el SEM.

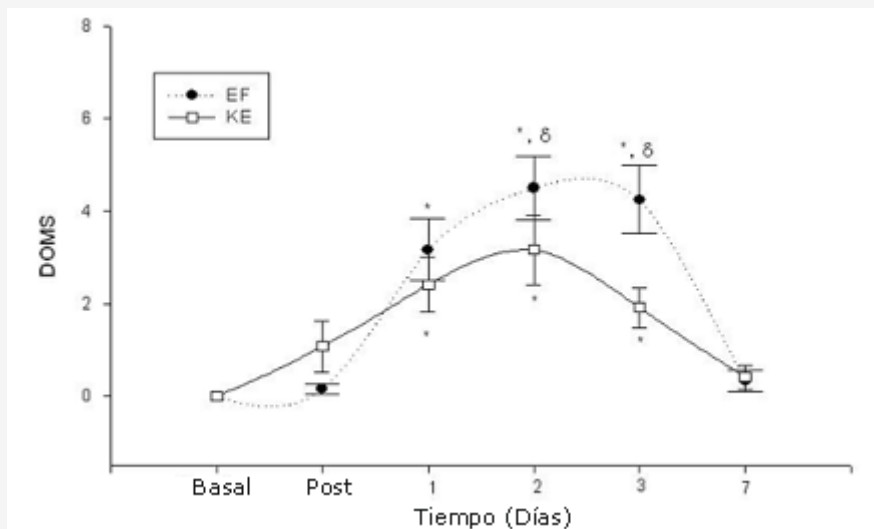


Figure 5. Cambios en el DOMS desde el nivel pre-ejercicio (%) luego de la realización de ejercicio excéntrico con los extensores de rodilla (KE) y los flexores del codo (EF). δ Significativamente diferente de KE. Los símbolos (●□) y sus barras de error representan la media y el SEM.

Sin embargo, se deberían tener en cuenta las diferencias en la intensidad, el tiempo y el modo de ejercicio, y en el tipo de contracción, como factores que pueden afectar las diferentes respuestas del daño muscular en estos estudios. Con el objeto de controlar la influencia de estos factores, Jamurtas et al. (2005) examinaron esta observación en los mismos sujetos utilizando la misma intensidad relativa durante la realización de ejercicios excéntricos. Algunos de los resultados obtenidos en el presente estudio fueron también consistentes algunas de las mediciones realizadas en el estudio mencionado; el curso de los indicadores de daño muscular, tal como las proteínas sanguíneas y la fuerza muscular luego de la realización de ejercicio excéntrico, fueron mayores en los EF que en los KE. La magnitud y el curso temporal de las proteínas sanguíneas indicadoras del daño muscular en los KE y EF en el presente estudio fueron similares, y lo mismo ocurrió en el estudio de Jamurtas et al. (2005). Sus resultados para la pérdida de fuerza y la recuperación luego de la realización de ejercicios excéntricos coincidieron con los resultados del presente estudio. Sin embargo, en el presente estudio, la reducción de la fuerza isométrica en los KE luego del ejercicio excéntrico no fue estadísticamente significativa. Probablemente la razón de las diferencias entre los resultados de los estudios se deba al ROM que se utilizó durante el ejercicio excéntrico en el presente estudio. Las fibras de los músculos de los EF estaban completamente extendidas debido al ejercicio excéntrico, mientras que los músculos de KE no estaban igualmente extendidos debido a la posición de sentado de los sujetos en el dinamómetro isocinético.

En contraste con los resultados de Jamurtas et al. (2005), en el presente estudio la reducción del ROM y el aumento del DOMS fueron significativamente diferentes entre los KE y los EF, luego de la realización de ejercicio excéntrico. Existen posibles explicaciones para las diferencias observadas en el DOMS y el ROM. En el presente estudio, en ambas articulaciones el ROM se midió activamente desde la posición de extensión a la posición de flexión utilizando un goniómetro manual. Jamurtas et al. (2005) midieron el ROM en forma pasiva utilizando un dinamómetro isocinético desde la posición de extensión a la posición de flexión en los KE y a la inversa para los EF. La determinación del DOMS fue diferente en algunos puntos. Jamurtas et al valoraron el DOMS mediante la palpación de los músculos por parte de los mismos sujetos en una posición de sentado para los KE y en una posición relajada para los EF. Sin embargo, en el presente estudio, el DOMS se midió en una posición relajada en cada uno de los grupos musculares. Esta podría ser la razón por la cual Jamurtas et al (2005) no observaron diferencias significativas entre los KE y los EF. La contracción, el estiramiento y la palpación son los factores que supuestamente afectan la sensación de dolor al evaluar el DOMS (Proske and Allen, 2005). Particularmente, el tiempo bajo tensión durante contracción excéntrica es un importante factor que puede afectar la magnitud del daño muscular (Lieber and Friden, 2000; Proske and Allen, 2005). El tiempo bajo tensión durante contracciones excéntricas para los flexores del codo y extensores de rodilla fue 2.2 y 2.0 seg., respectivamente, en el estudio de Jamurtas et al. (2005), pero en el presente estudio se estandarizó a 3s para ambos grupos musculares. La diferencia en los tiempos durante las contracciones puede ser una de las razones para estas distintas respuestas.

Asimismo, se debe tener en cuenta que el DOMS medido subjetivamente, es una variable poco precisa (Nosaka et al., 2002; Rodenburg et al., 1993) en comparación con otros parámetros objetivos, tal como la reducción de la fuerza muscular (Clarkson and Hubal, 2002).

Jamurtas et al. (2005) establecieron que la carga excéntrica submaximal durante actividades diarias, como caminar cuesta abajo o bajar escaleras, es un estímulo de entrenamiento de rutina para los KE, y esto no es válido para los EF. Se sabe que después de un período de ejercicio excéntrico los músculos se adaptan para protegerse contra daños futuros que puedan provocarse mediante series repetidas de ejercicio excéntrico (Clarkson and Hubal, 2002; Proske and Allen, 2005). Desde este punto de vista, lo sugerido por Jamurtas et al. (2005) podría considerarse como aceptable. En contraste, en el estudio realizado por Brown et al (1997) se observó que la pérdida de fuerza posterior a la realización de ejercicios excéntricos máximos fue aproximadamente del 40% y el incremento en la concentración sérica de proteínas, tal como la CK, fue moderado (2815 ± 4144 IU/L) en los KE y fue mayor que la observada en el estudio de Jamurtas et al (2005) y en el presente estudio. Una posible razón para explicar esta observación podría residir en el efecto de entrenamiento que inducen las actividades cotidianas en los extensores de la rodilla y que previenen el daño muscular inducido por el ejercicio excéntrico en los músculos de las extremidades inferiores. Incluso los individuos con una excelente condición atlética pueden experimentar dolor y daño muscular cuando realizan un ejercicio (Friden and Lieber, 2001), nuevo para ellos. Además, en el estudio de Vincent y Vincent (1997), se observó que el dolor muscular fue mayor en los atletas entrenados que en los sujetos del grupo control no entrenados y que la reducción de la fuerza, luego de la realización de ejercicios con sobrecarga, fue similar entre los grupos. Con respecto a este hallazgo, la sugerencia de que la causa de la diferencia en la magnitud del daño muscular reside en la diferencia en la utilización diaria de los músculos del brazo y de la pierna no es suficiente.

Otra razón para explicar las diferencias en la respuesta del daño muscular entre los músculos del brazo y de la pierna puede ser la distribución de las fibras. En general se acepta que las fibras musculares tipo II son más susceptibles al daño muscular inducido por ejercicio excéntrico en comparación con fibras tipo I (Friden and Lieber, 2001). La composición de las fibras musculares del bíceps braquial consiste principalmente en fibras musculares tipo II (Klein et al., 2003), mientras que los KE consisten principalmente en fibras musculares tipo I (Travnik et al., 1995). Con respecto a estos estudios, que la distribución de las fibras musculares pueda ser un factor que afecte la magnitud del daño muscular podría ser aceptable. Debido a que estos dos estudios investigaron solamente un área o un grupo muscular, los resultados de estos estudios deberían ser interpretados cuidadosamente. Los estudios han mostrado que los individuos que tienen un predominio de fibras de contracción lenta en los músculos de las piernas también van a poseer, probablemente, un mayor porcentaje de fibras de contracción lenta en los músculos de sus brazos. Una relación similar existe para fibras de contracción rápida (Clarkson et al., 1982; Flynn et al., 1987; Tesch and Karlsson, 1985; Wilmore and Costill, 2004). Por consiguiente, la opinión de que la diferencia en la distribución de fibras musculares entre músculos del brazo y de la pierna tiene un efecto sobre la respuesta de daño muscular, es debatible. Más aún, ni en el estudio de Jamurtas et al. (2005) ni en el presente estudio se obtuvieron muestras musculares mediante la técnica de biopsia. Este argumento, sin embargo, no es más que una especulación.

Una explicación válida para la diferencia en la magnitud de daño muscular entre los músculos de los brazos y las piernas después de la realización de ejercicios excéntricos, podría ser la diferencia en la arquitectura muscular de estos dos grupos musculares. Los EF (i.e., bíceps) están compuestos predominantemente por fibras que se extienden en paralelo al eje de fuerza generado del músculo y son descriptos como de arquitectura fusiforme. Por otro lado, los músculos de los KE tienen fibras con relativa orientación angular al eje de fuerza generado y son descriptos como arquitectura en forma ahusada. Los músculos ahusados como los de los KE con una gran área de sección cruzada fisiológica, tiene probablemente menor tensión específica (o tensión mecánica) por unidad de músculo en comparación con músculos fusiformes, como los de lo EF, durante la realización de contracciones voluntarias máximas. En concordancia con esta teoría, un ejercicio excéntrico de máxima intensidad, probablemente provoque más daño muscular prominente en los EF que en los KE. En nuestro estudio la tensión específica por unidad de músculo (que fue determinada por el total de trabajo excéntrico/ volumen muscular) fue aproximadamente 3.7 veces mayor para los EF que para los KE. Nuestra opinión para la diferencia de carga excéntrica por volumen muscular, podría ser el resultado de la diferente arquitectura muscular entre los EF y los KE. Debido a la íntima relación entre la fuerza muscular máxima y el volumen muscular (Gadeberg et al., 1999), en el presente estudio se utilizó el volumen muscular como determinante para representar la tensión específica por unidad de músculo. Dado a que el trabajo excéntrico total provee información acerca del rango de movimiento total durante la realización de contracciones excéntricas, esta variable fue también utilizada en este estudio para reflejar la tensión específica a la cual todo el músculo está expuesto.

El presente estudio cuenta con algunas limitaciones menores. Principalmente el número de sujetos fue pequeño. Segundo, se ha demostrado que la longitud de los músculos, es uno de los factores que determinan la magnitud del daño muscular (Nosaka and Sakamoto, 2001). En el presente estudio las fibras de los músculos EF se encontraban totalmente extendidas durante el ejercicio excéntrico. Por otra parte los músculos KE no se encontraban igualmente extendidos debido a la posición de sentados de los sujetos en el dinamómetro isocinético.

CONCLUSION

En conclusión, los resultados de este estudio indicaron que, luego de la realización de ejercicios excéntricos máximos, la magnitud de daño muscular es mayor y la recuperación más lenta en los EF que en los KE de hombres sedentarios. Esto podría deberse al mayor trabajo excéntrico total por unidad de músculo en los flexores del codo. Para clarificar más precisamente las diferencias en el curso y la magnitud de la respuesta del daño muscular luego de la realización de ejercicios, son necesarios estudios adicionales que estén diseñados para incluir varios grupos musculares, diversas formas de ejercicios realizados a diferente intensidad en los mismos sujetos.

Puntos Claves

- Luego de la realización de ejercicios excéntricos máximos, la magnitud de daño muscular es mayor y la recuperación más lenta en los EF que en los KE de hombres sedentarios.
- Esto se debería al mayor trabajo excéntrico total por unidad muscular en los flexores del codo.

Agradecimientos

Este estudio fue apoyado por el Departamento de Proyecto de Investigación Científica de la Universidad de Udulag. (Project# T- 2004/11).

REFERENCIAS

1. Brown, S.J., Child, R.B., Donnelly, A.E., Saxton, J.M. and Day, S.H (1996). Changes in human skeletal muscle contractile function following stimulated eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 72, 515-521
2. Brown, S.J., Child, R.B., Day, S.H. and Donnelly, A.E (1997). Indices of skeletal muscle damage and connective tissue breakdown following eccentric muscle contractions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 75, 369-374
3. Byrnes, W.C., Clarkson, P.M., White, J.S., Hsieh, S.S., Frykman, P.N. and Maughan, R. J (1985). Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running. *Journal of Applied Physiology* 59, 710-715
4. Byrne, C. and Eston, R (2002). Maximal-intensity isometric and dynamic exercise performance after eccentric muscle actions. *Journal of Sports Sciences* 20, 951-959
5. Chow, S.C. and Liu, J.P (2004). Baseline comparisons. In: Design and analysis of clinical trials. 2nd edition. Wiley-Interscience. 512-516
6. Clarkson, P.M., Kroll, W. and Melchionda, A.M (1982). Isokinetic strength, endurance, and fiber type composition in elite American paddlers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 48, 67-76
7. Clarkson, P.M. and Tremblay, I (1988). Exercise-induced muscle damage, repair and adaptation in humans. *Journal of Applied Physiology* 65, 1-6
8. Clarkson, P.M., Nosaka, K. and Braun, B (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24, 512-520
9. Clarkson, P.M. and Hubal, M.J (1992). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 81, 52-69
10. Cleak, M.J. and Eston, R.G (1992). Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. *British Journal of Sports Medicine* 26, 267-272
11. Dolezal, B.A., Potteiger, J.A., Jacobsen, D.J. and Benedict, S.H (2000). Muscle damage and resting metabolic rate after acute resistance exercise with an eccentric overload. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32, 1202-1207
12. Flynn, M.G., Costill, D.L., Kirwan, J.P., Fink, W.J. and Dengel, D.R (1987). Muscle fiber composition and respiratory capacity in triathletes. *International Journal of Sports Medicine* 8, 383-386
13. Friden, J. and Lieber, R.L (2001). Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. *Acta Physiologica Scandinavica* 171, 321-326
14. Gadeberg, P., Andersen, H. and Jakobsen, J (1999). Volume of ankle dorsiflexors and plantar flexors determined with stereological techniques. *Journal of Applied Physiology* 86, 1670-1675
15. Gleeson, M., Blannin, A.K., Walsh, N.P., Field, C.N. and Pritchard, J.C (1998). Effect of exercise-induced muscle damage on the blood lactate response to incremental exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 77, 292-295
16. Jamurtas, A.Z., Theocharis, V., Tofas, T., Tsiokanos, A., Yfanti, C., Paschalis, V., Koutedakis, Y. and Nosaka, K (2005). Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. *European Journal of Applied Physiology* 95, 179-185
17. Kawakami, Y., Abe, T., Kuno, S.Y. and Fukunaga, T (1995). Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 72, 37-43

18. Klein, C.S., Marsh, G.D., Petrella, R.J. and Rice, C.L (1940). Muscle fiber number in the biceps brachii muscle of young and old men. *Muscle & Nerve* 28, 62-68
19. Lee, J., Goldfarb, A.H., Rescino, M.H., Hegde, S., Patrick, S. and Apperson, K (2002). Eccentric exercise effect on blood oxidative-stress markers and delayed onset of muscle soreness. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34, 443-448
20. Lieber, R.L. and Friden, J (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle & Nerve* 23, 1647-1666
21. Newham, D.J., Jones, D.A., Ghosh, G. and Aurora, P (1998). Muscle fatigue and pain after eccentric contractions at long and short length. *Clinical Science (London, England: 1979)* 774, 553-557
22. Newham, D.J., Jones, D.A. and Clarkson, P.M (1987). Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *Journal of Applied Physiology* 63, 1381-1386
23. Nosaka, K., Clarkson, P.M., McGuiggin, M.E. and Byrne, J.M (1991). Time course of muscle adaptation after high force eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology* 63, 70-76
24. Nosaka, K. and Clarkson, P.M (1992). Relationship between post-exercise plasma CK elevation and muscle mass involved in the exercise. *International Journal of Sports Medicine* 13, 471-475
25. Nosaka, K. and Sakamoto, K (2001). Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33, 22-29
26. Nosaka, K., Newton, M. and Sacco, P (2002). Muscle damage and soreness after endurance exercise of the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34, 920-927
27. Nosaka, K. and Newton, M (2002). Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *Journal of Strength and Conditioning Research* 16, 202-208
28. Paschalis, V., Koutedakis, Y., Jamurtas, A.Z., Mougios, V. and Baltzopoulos, V (2005). Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19, 184-188
29. Proske, U. and Allen, T.J (2005). Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 33, 98-104
30. Prou, E., Guevel, A., Benezet, P. and Marini, J.F (1999). Exercise-induced muscle damage: absence of adaptive effect after a single session of eccentric isokinetic heavy resistance exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 39, 226-232
31. Rodenburg, J.B., Bar, P.R. and De Boer, R.W (1993). Relations between muscle soreness and biochemical and functional outcomes of eccentric exercise. *Journal of Applied Physiology* 74, 2976-2983
32. Schwane, J.A., Johnson, S.R., Vandenakker, C.B. and Armstrong, R.B (1983). Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15, 51-56
33. Serrao, F.V., Foerster, B., Spada, S., Morales, M.M., Monteiro-Pedro, V., Tannus, A. and Salvini, T.F (2003). Functional changes of human quadriceps muscle injured by eccentric exercise. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 36, 781-786
34. Soricter, S., Mair, J., Koller, A., Gebert, W., Rama, D., Calzolari, C., Dworzak, E.A. and Puschendorf, B (1997). Skeletal troponin I as a marker of exercise-induced muscle damage. *Journal of Applied Physiology* 83, 1076-1082
35. Soricter, S., Puschendorf, B. and Mair, J (1999). Skeletal muscle injury induced by eccentric muscle action: muscle proteins as markers of muscle fiber injury. *Exercise Immunology Review* 5, 5-21
36. Soricter, S., Mair, J., Koller, A., Calzolari, C., Huonker, M., Pau, B. and Puschendorf, B (2001). Release of muscle proteins after downhill running in male and female subjects. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 11, 28-32
37. Tesch, P.A. and Karlsson, J (1985). Muscle fiber types and size in trained and untrained muscles of elite athletes. *Journal of Applied Physiology* 59, 1716-1720
38. Travnik, L., Pernus, F. and Erzen, I (1995). Histochemical and morphometric characteristics of the normal human vastus medialis longus and vastus medialis obliquus muscles. *Journal of Anatomy* 187, 403-411
39. Vickers, A.J (2001). Time course of muscle soreness following different types of exercise. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2, 5
40. Vincent, H.K. and Vincent, K.R (1997). The effect of training status on the serum creatine kinase response, soreness and muscle function following resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine* 18, 431-437
41. Wilmore, J.H. and Costill, D.L (2004). Muscles and have they move. In: Physiology of sport and exercise. Eds: Wilmore, J.H. and Costill, D.L. 3rd edition. Hong Kong: Human Kinetics. 31-57

Cita Original

Tolga Saka, Bedrettin Akova, Zeynep Yazici, Ufuk Sekir, Hakan Gür and Yesim Ozarda. Difference In the Magnitude of Muscle Damage between Elbow Flexors and Knee Extensors Eccentric Exercises. *Journal of Sports Science and Medicine* (2009) 8, 107 - 115.