



**EFEECTO AGUDO DEL ENTRENAMIENTO MUSCULAR  
EXCÉNTRICO SOBRE LA ESTABILIDAD DEL MIEMBRO INFERIOR  
DURANTE EL ATERRIZAJE DESPUÉS DE CAÍDA DESDE  
DIFERENTES ALTURAS EN JÓVENES FÚTBOLISTAS DE ÉLITE**

**Alumno:** Jesús Mateo Cortés

**Título:** Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

**Curso:** Cuarto Curso. 2012 - 2013

**Tutor:** Dr. Moisés de Hoyo Lora

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

---

<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.- OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>3.- METODOLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
<i>3.1. Diseño del Estudio y Procedimiento.</i>	
<i>3.2. Muestra.</i>	
<i>3.3. Ejercicios y dispositivos de entrenamiento.</i>	
<i>3.4. Test de potencia máxima.</i>	
<i>3.5. Aterrizajes.</i>	
<i>3.6. Análisis estadístico.</i>	
<b>4.- DESARROLLO DEL TRABAJO.....</b>	<b>13</b>
<i>4.1 Resultados.</i>	
<i>4.2 Discusión.</i>	
<b>5.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>18</b>
<b>6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>19</b>

## RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación fue analizar el efecto agudo de una sesión de entrenamiento de fuerza con sobrecarga excéntrica sobre la estabilidad del miembro inferior tras aterrizaje después de caída desde altura de 30 cm y 50 cm. La muestra estuvo constituida por un total de dieciocho jugadores de fútbol (edad =  $17 \pm 1.2$  años; altura =  $178 \pm 2,34$  cm; peso =  $71 \pm 4.56$  kg; IMC =  $19.12 \pm 2.45$ ) pertenecientes a la cantera de un equipo profesional de fútbol de la liga española participaron en el estudio. Previamente al inicio del estudio se procedió con dos sesiones de familiarización con los dispositivos utilizados y se llevó a cabo un test de potencia máxima (Pmax) para el ejercicio de  $\frac{1}{2}$  squat y de leg curl con dispositivo YoYo™. Los sujetos participantes fueron aleatorizados para la realización de tres sesiones de entrenamiento: situación control (CON), entrenamiento con ejercicio de  $\frac{1}{2}$  squat (EXP-Q) y entrenamiento con ejercicio de leg curl (EXP-ISQ). Todas las sesiones fueron precedidas de un calentamiento estandarizado en el que se realizaron 5 min en cicloergómetro a 80 rpm y 80 W. En el caso de las situaciones experimentales en ambos casos se llevó a cabo 4 series de 6 repeticiones separadas por un descanso de 90 s. Inmediatamente después de cada sesión los sujetos realizaron 3 aterrizajes desde altura de 30 cm y otros tanto desde altura de 50 cm sobre una plataforma de fuerza separados por un intervalo de 15 s. Los resultados arrojaron incremento del pico de fuerza en todos los ejes del movimiento analizados al comparar las situaciones experimentales con la control, si bien, tales diferencias sólo fueron estadísticamente significativas para las componentes positivas del eje “y” y del eje “x” desde ambas alturas ( $p < 0.05$ ). En base a estos resultados, podemos concluir que una sesión de entrenamiento con carga de Pmax y con sobrecarga excéntrica mejora la estabilidad medio-lateral de la rodilla reduciendo el valgo de la misma. Sin embargo, el incremento del pico de fuerza en el eje “y” positivo puede relacionarse con un incremento de la traslación anterior del peso del cuerpo y, por tanto, de la tibia, con el consiguiente aumento del riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior.

**Palabras Clave:** entrenamiento excéntrico; aterrizaje; lesión; fuerza.

## **1. JUSTIFICACIÓN. MARCO TEÓRICO.**

La fuerza es considerada dentro del ámbito deportivo como una de las principales cualidades que determinan el rendimiento del deportista (Hicks, et al. 2011). De esta forma, en deportes de equipo, como es el caso del fútbol, son diversos los estudios que han relacionado determinadas variables importantes para el rendimiento, tales como aceleraciones, cambios de dirección, saltos..., con mejoras experimentadas en la fuerza, además de en el sistema neuro-muscular (Wiemann y Tidow, 1995). Por otro lado, mejoras en la fuerza también han sido relacionadas con una reducción en el número de lesiones que se producen en la práctica deportiva, fundamentalmente, tras la aplicación de programas de entrenamiento que suponen una sobrecarga con acciones de tipo excéntrico (Askling et al., 2003; Potier, 2009).

En este sentido, autores como Garret (1996) nos indican que la mayoría de las lesiones musculares que se producen en el deporte son a consecuencia de una acción de tipo excéntrico. Este tipo de acción muscular genera un pico de fuerza muscular superior al generado en la fase concéntrica, provocando, a su vez, que la capacidad de absorción de energía muscular sea menor que la generada en la propia contracción. La consecuencia suele ser la aparición de lesión muscular (Garrett, 1996). Así, por ejemplo, en el caso del fútbol, para la musculatura del recto anterior, los momentos de mayor riesgo de lesión, se encuentran en los golpes y en la carrera, produciéndose aceleraciones y desaceleraciones de gran intensidad que pueden dar lugar a la aparición de lesión en este grupo muscular (Romero y Tous, 2010). En referencia a la musculatura isquiosural y adductora, en acciones asociadas a la carrera, como son los cambios de dirección, la desaceleración rápida, la parada brusca y los movimientos de rotación se han podido observar mayores picos de activación electromiográfica (Jonhagen, Ericson, Nemeth y Eriksson, 1996; Mann, 1981).

En cuanto a la incidencia de lesiones en el fútbol, autores como Woods et al. (2002) analizaron las lesiones que se producían durante la temporada completa, encontrando que las más frecuentes se producían a nivel muscular. Así durante el periodo de pretemporada los músculos más afectados fueron el cuádriceps, en concreto, la musculatura del recto anterior en un 29 % de los casos, frente a un 12 % de la musculatura adductora y un 11 % el bíceps femoral. Esta incidencia lesiva se invertía

en el periodo competitivo, siendo el bíceps femoral la musculatura con el mayor índice de lesiones (32%), frente al 15% de los aductores y el 14 % del recto anterior. En base a estos datos, los autores reconocen la región anatómica del muslo como la más afectada por el fenómeno lesivo.

De este modo, en los últimos tiempos, la ciencia ha ido arrojando datos sobre los beneficios del trabajo muscular excéntrico y se han podido crear protocolos de ejercicio relacionados con este tipo de trabajo, así como desarrollar maquinaria específica para el entrenamiento que provoque este tipo de sobrecarga a nivel muscular. Así, el trabajo muscular excéntrico se ha ido incorporando poco a poco en el entrenamiento de la fuerza en la mayoría de los deportistas de élite, debido a su remarcado beneficio tanto en parámetros de rendimiento como de prevención de lesiones (Gabett, 2000; Askling et al., 2003; Sheppard et al., 2008).

Entre los medios de entrenamiento más utilizados para generar este tipo de contracción se utilizan los conocidos sistemas YoYo®, a través de los cuales, durante la fase concéntrica del ejercicio, el músculo se contrae con la máxima fuerza posible, tirando de una cinta, enganchada a un volante que se pone en rotación a alta velocidad. La longitud de la correa se ajusta de modo que se desenrolle totalmente al final del movimiento. En base a la inercia generada, el volante sigue girando y rebobina la cinta en la dirección opuesta, iniciando por tanto la fase excéntrica. Tras una resistencia inicial leve, el atleta comienza a frenar hasta una parada completa del volante. Al tirar de nuevo, se inicia la siguiente repetición, y así sucesivamente hasta lo que dure el ejercicio. Es posible cambiar la inercia del sistema a través del montaje de un número variable de pesas de inercia. La eficacia de esta tecnología inercial ha sido demostrada por varios estudios (Norrbrand, Pozzo y Tesch, 2010; Tous-Fajardo, Maldonado, Quintana, Pozzo y Tesch, 2006), obteniendo adaptaciones neuromusculares después de muy pocas sesiones de entrenamiento (Romero y Tous, 2010). Por tanto, en función de lo indicado, parece evidente la importancia de este tipo de entrenamiento de fuerza para la prevención de lesiones musculotendinosas (Askling, et al., 2003; Bahr, Fossan, Loken y Engebretsen, 2006; Mjolsnes, et al., 2004; Petersen, Thorborg, Nielsen, Budtz-Jorgensen y Holmich, 2011; Romero-Rodriguez, Gual y Tesch, 2011; Seynnes, de Boer y Narici, 2007; Tyler, Nicholas, Campbell, Donellan y McHugh, 2002). En este sentido, Askling et al. (2003) utilizando un dispositivo inercial específico para trabajo excéntrico (YoYo™) para musculatura isquiotibial, pudieron demostrar una reducción significativa

del número de lesiones en la temporada de un equipo de fútbol profesional, así como una mejora en los niveles de fuerza.

Como hemos podido observar el entrenamiento muscular excéntrico produce una reducción a largo plazo del número de lesiones, así como una mejora del rendimiento. También, se ha obtenido que el entrenamiento neuromuscular orientado a la prevención de la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) debe incluir no sólo una modificación de patrones de movimiento defectuosos, sino también a preparar a la articulación para el momento del aterrizaje (Chappell et al., 2007).

Sin embargo, a nivel agudo, debemos seguir investigando acerca del efecto de este tipo de entrenamiento, ya que se antojan necesarios nuevos estudios que investiguen los efectos derivados de un entrenamiento excéntrico de la musculatura isquiotibial sobre la respuesta asociada a la estabilidad articular y la respuesta muscular en la rodilla, ya que estos parámetros van a guardar una relación directa con la prevención de lesiones frecuentes en fútbol, como son la rotura de la musculatura isquiotibial o del cuádriceps y del LCA.

En base a lo expuesto, el problema de investigación que nos planteamos en la presente investigación es el siguiente: ¿puede un entrenamiento muscular con sobrecarga excéntrica alterar de forma aguda la estabilidad del miembro inferior durante un aterrizaje?

## 2. OBJETIVOS.

De forma general, en el presente estudio se pretende conocer cómo afecta a nivel propioceptivo en el miembro inferior una sesión de entrenamiento típica con sobrecarga excéntrica utilizando maquinaria inercial YoYo<sup>TM</sup>, a través de dos ejercicios básicos como son el curl femoral y el ½ squat. Este objetivo general, a su vez, se puede concretar en otros más específicos:

- Analizar el efecto de un entrenamiento muscular con sobrecarga excéntrica para los isquiotibiales (yo-yo leg curl) sobre los picos de fuerza desarrollados a nivel medio-lateral y antero-posterior durante un aterrizaje después de caída desde altura de 30 cm.
- Analizar el efecto de un entrenamiento muscular con sobrecarga excéntrica para los isquiotibiales (yo-yo leg curl) sobre los picos de fuerza desarrollados a nivel medio-lateral y antero-posterior durante un aterrizaje después de caída desde altura de 50 cm.
- Analizar el efecto de un entrenamiento muscular con sobrecarga excéntrica para el cuádriceps (yo-yo squat) sobre los picos de fuerza desarrollados a nivel medio-lateral y antero-posterior durante un aterrizaje después de caída desde altura de 30 cm.
- Analizar el efecto de un entrenamiento muscular con sobrecarga excéntrica para el cuádriceps (yo-yo squat) sobre los picos de fuerza desarrollados a nivel medio-lateral y antero-posterior durante un aterrizaje después de caída desde altura de 50 cm.

### **3. METODOLOGÍA.**

#### *3.1. Diseño del Estudio y Procedimiento.*

Para la presente investigación se procedió mediante un estudio randomizado cruzado consistente en tres intervenciones. Los sujetos intervinientes 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 segundos. 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 asociada a los aterrizajes unipodales tras caída desde altura de 30 y 50 cm.

#### *3.2. Muestra.*

Un total de dieciocho jugadores de fútbol (edad =  $17 \pm 1.2$  años; altura =  $178 \pm 2,34$  cm; peso =  $71 \pm 4.56$  kg; IMC =  $19.12 \pm 2.45$ ) 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 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™ (YoYo Technology AB, Estocolomo, 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, hace que el ejercicio se lleve 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 detenía comenzaba el siguiente ciclo.



**Figura 1.** Dispositivo YoYo™ para leg curl y ejercicio desarrollado en el estudio.



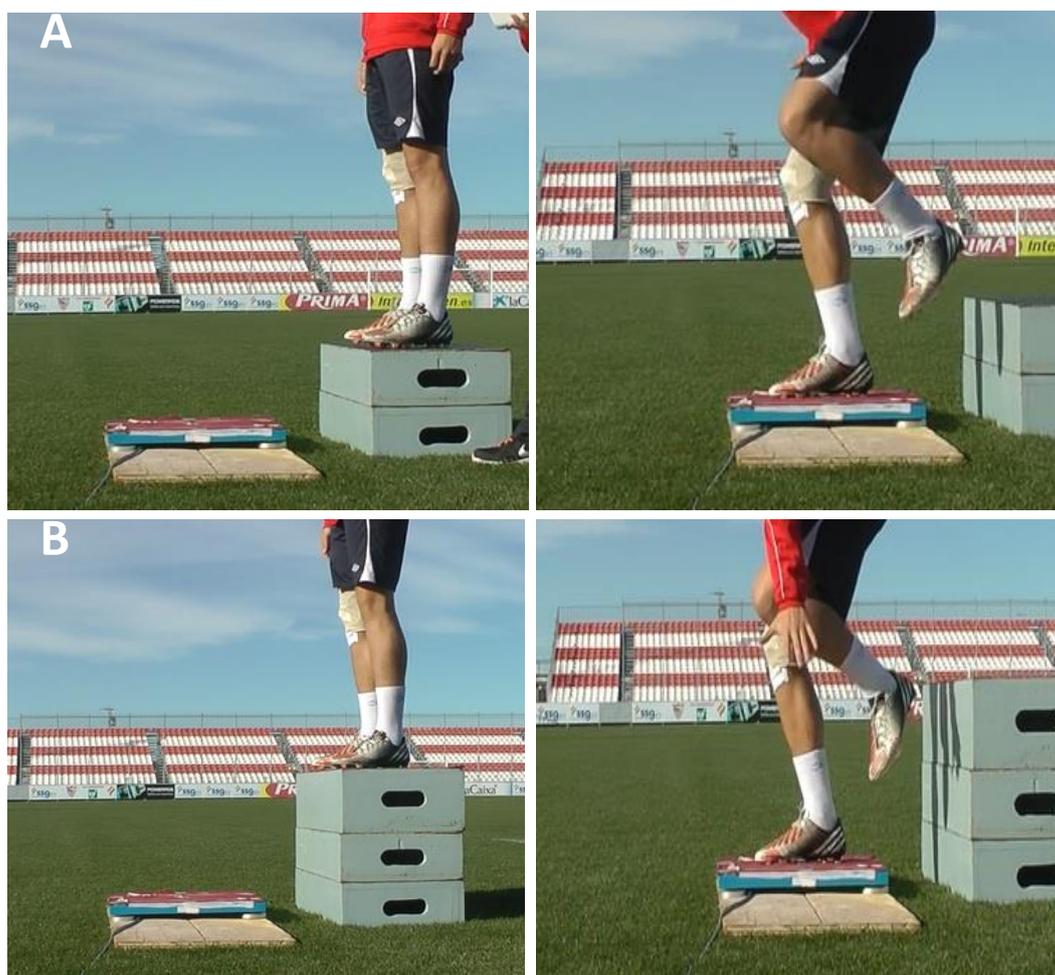
**Figura 2.** Dispositivo YoYo™ para squat y ejercicio desarrollado en el estudio.

### *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 kg x cm<sup>3</sup>, 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™, SmartCoach Europe AB, Estocolomo, Suecia).

### 3.5. Aterrizajes.

Los participantes realizaron 3 aterrizajes sobre pierna dominante desde una estructura de 30 cm (Figura 3.A) y otros tantos desde una altura de 50 cm (Figura 3.B) sobre una plataforma de fuerza (Kistler Instruments, Hampshire, UK), con una tasa de muestreo de 1000 Hz. El descanso fijado entre cada uno de los aterrizajes fue de 15 s. La plataforma se utilizó para conseguir información sobre las fuerzas de impacto con el suelo en los diferentes ejes de referencia, sirviendo éstas como puntos claves para el análisis de las variables cinemáticas. Para la ejecución de aterrizajes los sujetos llevaron las botas con las que habitualmente juegan. En ambos casos se utilizó la media de las tres ejecuciones como valor a incluir en el análisis estadístico.



**Figura 1.-** Disposición y ejecución de los aterrizajes desde 30 cm. (A) y 50cm. (B)

### *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).

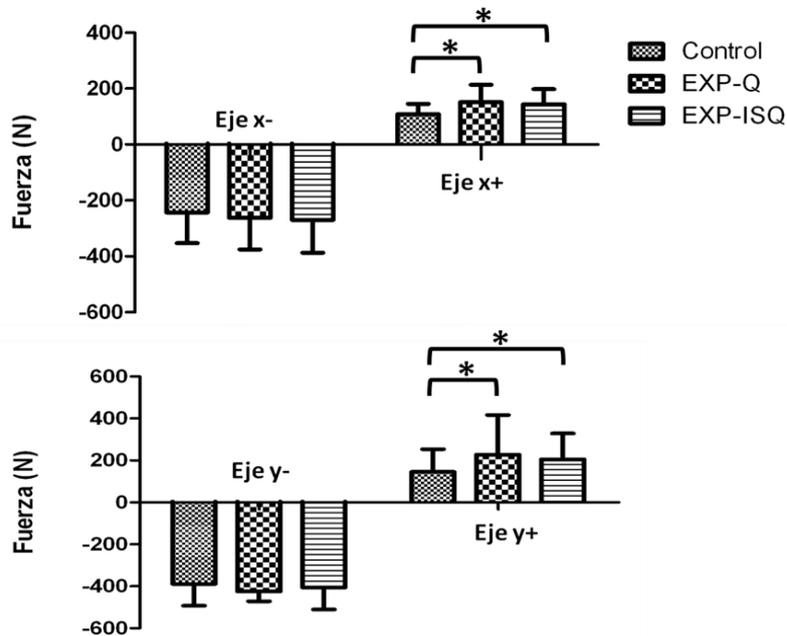
## 4. DESARROLLO DEL TRABAJO.

### 4.1. Resultados.

El análisis realizado para el aterrizaje posterior a caída de altura de 30 cm, tras las diferentes intervenciones, mostró un incremento de la fuerza desarrollada en todos los ejes y sentidos analizados en relación a la situación control. Concretamente, para el eje x negativo el incremento fue de  $27.51 \pm 85.54$  N para EXP-Q (n.s.) y de  $26.47$  N para EXP-ISQ (n.s.). En relación al eje x positivo, tras EXP-Q se produjo un aumento de  $43.93 \pm 68.53$  N ( $p=0.018$ ) respecto a CON, mientras que para EXP-ISQ el incremento fue de  $36.21 \pm 62.13$  N ( $p=0.021$ ). En lo referente al eje y, para la componente negativa se observó un incremento de  $35.70 \pm 82.68$  N (n.s.) para EXP-Q y de  $16.72 \pm 130.31$  (n.s.) para EXP-ISQ. Respecto al eje y positivo, la situación EXP-Q supuso un aumento de la fuerza desarrollada en dicha componente de  $88.46 \pm 128.78$  N ( $p=0.012$ ), mientras que para EXP-ISQ el incremento fue de  $60.29 \pm 97.74$  N ( $p=0.015$ ). En ninguno de los casos el efecto sobre esta variable fue diferente en función de la musculatura que realizó el entrenamiento excéntrico. La figura 4 muestra la fuerza desarrollada en cada uno de los ejes analizados y de sus componentes positiva y negativa.

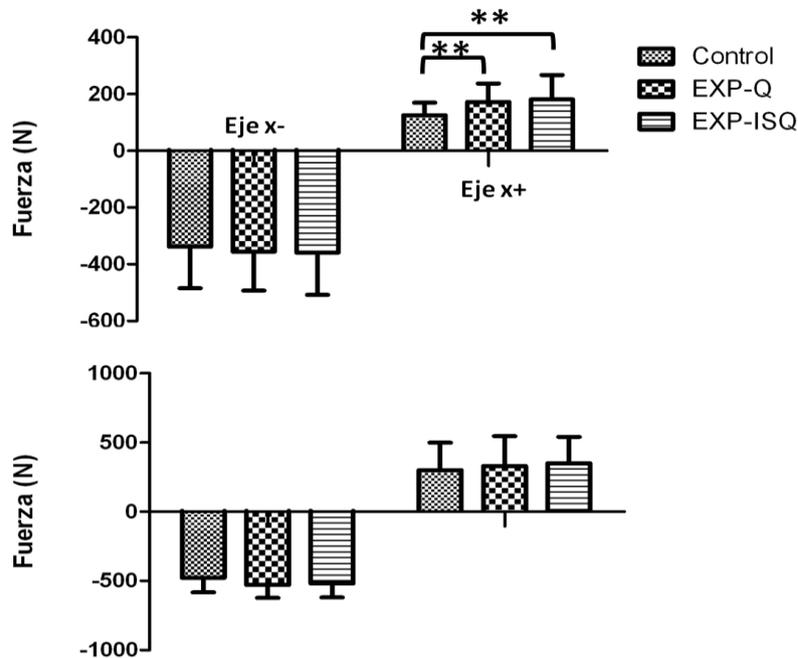
En lo que respecta a los aterrizajes después de caída de 50 cm, para el eje x negativo en ninguno de los supuestos se observó una influencia estadísticamente significativa del tipo de entrenamiento realizado, si bien, para EXP-Q el incremento de la fuerza respecto a CON fue de  $14.80 \pm 75.86$  N (n.s.) y para EXP-ISQ el aumento en relación a CON fue de  $14.32 \pm 111.44$  N (n.s.). Para la componente x positivo, al igual que ocurriera con la altura de 30 cm, se observó un incremento de  $47.28 \pm 51.86$  N tras EXP-Q ( $p=0.002$ ) y de  $55.29 \pm 72.56$  N para EXP-ISQ ( $p=0.004$ ) respecto a CON. En relación al eje y negativo no se observó en ningún caso una modificación estadísticamente tras los dos tipos de entrenamiento, si bien, para la componente positiva tras EXP-Q se produjo un aumento de la fuerza  $51.40 \pm 127.64$  N (n.s.), mientras que para EXP-ISQ el incremento fue de  $26.99 \pm 118.25$  N (n.s.). Para la componente y positiva el incremento experimentado tras EXP-Q fue de  $29.84 \pm 155.79$  N (n.s.) y para EXP-ISQ de  $43.48 \pm 137.32$  N (n.s.). En ninguno de los casos el efecto

sobre esta variable fue diferente en función de la musculatura que realizó el entrenamiento excéntrico. La figura 5 muestra la fuerza desarrollada en cada uno de los ejes analizados y de sus componentes positiva y negativa.



**Figura 4.** Fuerza desarrollada en las componentes positiva y negativa de los ejes x (A) e y (B) tras las diferentes intervenciones en aterrizajes de 30 cm (media  $\pm$  SD).

\* $p < 0.05$



**Figura 5.** Fuerza desarrollada en las componentes positiva y negativa de los ejes x (A) e y (B) tras las diferentes intervenciones en aterrizajes de 50 cm (media  $\pm$  SD).

\*\* $p < 0.05$

#### *4.2. Discusión.*

El principal propósito de este estudio fue comprobar si una sesión de entrenamiento de carácter excéntrico con dispositivos inerciales específicos (YoYo™) tenía una incidencia aguda sobre las propiedades propioceptivas y cinemáticas de las diferentes articulaciones del miembro inferior.

Los efectos de las contracciones de carácter excéntrico han sido discutidos en numerosos estudios como un posible factor de riesgo para las lesiones musculares (Askling et al., 2003; Arnason et al., 2008), llegando éstos a considerarla un mecanismo lesional común en deportistas. Sin embargo, otros tantos estudios han contrastado que el trabajo controlado y en determinadas dosis han beneficiado en la prevención y readaptación de lesiones (Askling et al., 2003; Gabbet, 2000). No obstante, además de estos efectos, la evidencia científica sugiere que a nivel agudo el entrenamiento excéntrico provoca daño muscular y alteración propioceptiva (Gregory et al., 2004). Así, autores como Whitehead (2001) y Gregory et al. (2002; 2004) han observado cómo tras una exposición aguda a un entrenamiento con sobrecarga excéntrica se produjo una alteración propioceptiva relacionada con la respuesta de los husos musculares y el órgano tendinoso de Golgi, lo cual puede dar respuesta a los resultados obtenidos en este estudio.

Por otra parte, uno de los factores asociados a la aparición de lesiones articulares sin contacto es la posición de la propia estructura articular en el momento previo a la lesión (Onambele, 2008). Más concretamente, autores como el de Wang (2008) demostraron que se producían cambios a nivel cinemático en la rodilla de los deportistas tras aterrizaje de saltos. Estos cambios también fueron hallados por Yamakazi y Muneta (2010) quienes mostraron que un aumento del valgo en rodilla en el aterrizaje tras salto era indicativo de riesgo de lesión de la estructura articular de la rodilla. Nuestros resultados presentan una disminución del valgo de rodilla en el aterrizaje, por tanto, podemos considerar que una sesión de carácter excéntrico a nivel agudo puede considerarse útil en un programa de ejercicios de carácter preventivo para lesiones de rodilla gracias a la reducción del impacto en sentido medio-lateral.

Como se ha expuesto, en el presente estudio se pretendía comprobar si un entrenamiento de carácter excéntrico con carga de Pmax afectaba a nivel agudo a la

posición de la estructura articular de la rodilla en un aterrizaje tras salto. El análisis del aterrizaje tras ambas alturas mostró un incremento estadísticamente significativo de la fuerza desarrollada en el eje “x” en sentido positivo, lo cual puede ser interpretado como un aumento del varo de rodilla. Estudios como el de Jordan et al. (2005) sugirieron que el incremento de la coactivación muscular añadida a un aumento del varo pueden contribuir a la estabilización de la rodilla durante el aterrizaje. Para poder refrendar estos hallazgos, necesitaríamos obtener datos también de registro de actividad electromiográfica. Por tanto, solo podemos intuir que una sesión con carácter excéntrico con carga de Pmax en YoYo™ mejora la cinemática del miembro inferior durante el aterrizaje en lo que respecta a los momentos de varo-valgo.

Finalmente, los resultados mostrados en el presente estudio para la componente positiva del eje “y” del movimiento suponen un aumento estadísticamente significativo del pico de fuerza desarrollado para esta componente con respecto a la situación control. A nivel funcional, esto se traduce en una traslación anterior de la tibia (Markolf, O’Neil y Jackson, 2004). Autores como Romero y Tous (2010) relacionan un aumento de la traslación tibial con un mayor índice predictor lesivo en la rodilla. Además, dichos autores coinciden en relacionar como factor preventivo un incremento de la activación de la musculatura isquiosural. Una mayor activación de musculatura isquiosural ayudaría a frenar dicha anteriorización tibial, factor de riesgo de lesión de estructuras articulares de la rodilla (Solomonow y Krogsgaard, 2011). Para comprobar la correcta activación muscular isquiosural sería necesario obtener registro de activación electromiográfica justo en el momento de mayor anteriorización tibial en el aterrizaje tras salto, lo cual no se hizo en la presente investigación. Una de las limitaciones de nuestro estudio, por tanto, es la ausencia de registro de activación electromiográfica, lo que nos permitiría concretar si dicha anteriorización tibial es corregida por una mayor activación de la musculatura isquiosural.

Una vez analizados los resultados obtenidos y comparados con los que la literatura específica ofrece al respecto, es conveniente plantear nuevas líneas de investigación. De esta forma, en próximos estudios se antoja necesaria la presencia del registro de activación electromiográfica, ya que dichos parámetros ofrecerán resultados más exactos para conocer el efecto de entrenamiento de los dispositivos inerciales YoYo™ con cargas excéntricas a nivel de prevención de lesiones musculares y articulares.

## 5. CONCLUSIONES.

El objeto de estudio de la presente investigación ha sido comprobar el efecto agudo de una sesión de entrenamiento excéntrico sobre la respuesta propioceptiva. Los resultados obtenidos mostraron una variación de la componente positiva del eje “x”, lo que se traduce en un aumento del varo en el caso de la articulación de rodilla. La literatura sugiere que este aumento, sumado a un incremento de la coactivación y la rigidez muscular (stiffness) pueden beneficiar a la estabilidad de la articulación de la rodilla. En cuanto a la componente positiva del eje “y”, también se encontraron aumentos significativos de los niveles de fuerza, lo que se traduce en un aumento de la traslación anterior del peso del cuerpo y, por tanto, de la tibia. La literatura expone al respecto que una mayor anteriorización de la tibia durante el aterrizaje puede predisponer a lesión del LCA.

En base a estos datos podemos presentar las siguientes conclusiones a esta investigación:

- Un entrenamiento muscular con carga de Pmax y sobrecarga excéntrica tanto para la musculatura isquiotibial como para el cuádriceps provoca un incremento del varo a nivel de la articulación de rodilla, lo cual puede considerarse como un factor protector del riesgo de lesión tras aterrizaje.
- Un entrenamiento muscular con carga de Pmax y sobrecarga excéntrica tanto para la musculatura isquiotibial como para el cuádriceps provoca un incremento de la fuerza anterior a nivel de la articulación de rodilla, lo cual puede considerarse como un factor predisponente del riesgo de lesión del LCA.

Como se puede observar, las principales conclusiones de este estudio no nos permiten indicar un efecto negativo o positivo agudo del entrenamiento utilizado en la presente investigación, siendo necesarias nuevas investigaciones con la presencia de registro de activación electromiográfica para la musculatura periarticular, acelerometría para las estructuras articulares y goniometría para la posición articular.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Abercromby, A. F., Amonette, W. E., Layne, C. S., McFarlin, B. K., Hinman, M. R., & Paloski, W. H. (2007). Variation in neuromuscular responses during acute whole-body vibration exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 39(9), 1642-1650.

Arnason, A., Andersen, T. E., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2008). Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand J Med Sci Sports*, 18(1), 40-48.

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.

Bahr, R., & Krosshaug, T. (2005). Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med*, 39(6), 324-329.

Bahr, R., Fossan, B., Loken, S., & Engebretsen, L. (2006). Surgical treatment compared with eccentric training for patellar tendinopathy (Jumper's Knee). A randomized, controlled trial. *J Bone Joint Surg Am*, 88(8), 1689-1698.

Besier, T. F., Lloyd, D. G., Ackland, T. R., & Cochrane, J. L. (2001). Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc*, 33(7), 1176-1181.

Beynon, B. D., Fleming, B. C., Johnson, R. J., Nichols, C. E., Renstrom, P. A., & Pope, M. H. (1995). Anterior cruciate ligament strain behavior during rehabilitation exercises in vivo. *Am J Sports Med*, 23(1), 24-34.

Bigland-Ritchie, B., & Woods, J. J. (1976). Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. *J Physiol*, 260(2), 267-277.

Blackburn, J. T., Bell, D. R., Norcross, M. F., Hudson, J. D., & Engstrom, L. A. (2009). Comparison of hamstring neuromechanical properties between healthy males and females and the influence of musculotendinous stiffness. *J Electromyogr Kinesiol*, 19(5), e362-369.

- Blazevich, A. J., Cannavan, D., Coleman, D. R., & Horne, S. (2007). Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol*, *103*(5), 1565-1575.
- Brophy, R. H., Backus, S. I., Pansy, B. S., Lyman, S., & Williams, R. J. (2007). Lower extremity muscle activation and alignment during the soccer instep and side-foot kicks. *J Orthop Sports Phys Ther*, *37*(5), 260-268.
- Caraffa, A., Cerulli, G., Proietti, 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.
- Chammout, M. O., & Skinner, H. B. (1986). The clinical anatomy of commonly injured muscle bellies. *J Trauma*, *26*(6), 549-552.
- Chappell, J. D., Creighton, R. A., Giuliani, C., Yu, B., & Garrett, W. E. (2007). Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: risks for noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*, *35*(2), 235-241.
- Chiu, L. Z., & Salem, G. J. (2006). Comparison of joint kinetics during free weight and flywheel resistance exercise. *J Strength Cond Res*, *20*(3), 555-562.
- Dadebo, B., White, J., & George, K. P. (2004). A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *Br J Sports Med*, *38*(4), 388-394.
- Dhaher, Y. Y., Tsoumanis, A. D., Houle, T. T., & Rymer, W. Z. (2005). Neuromuscular reflexes contribute to knee stiffness during valgus loading. *J Neurophysiol*, *93*(5), 2698-2709.
- Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med*, *30*(3), 205-212.
- Ebben, W. P., Fauth, M. L., Petushek, E. J., Garceau, L. R., Hsu, B. E., Lutsch, B. N., et al. (2010). Gender-based analysis of hamstring and quadriceps muscle activation during jump landings and cutting. *J Strength Cond Res*, *24*(2), 408-415.

- Ekstrand, J., Hagglund, M., & Walden, M. (2011). Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med*, 39(6), 1226-1232.
- Garrett, W. E., Jr. (1996). Muscle strain injuries. *Am J Sports Med*, 24(6 Suppl), S2-8.
- Garrick, J. G. (1977). The frequency of injury, mechanism of injury, and epidemiology of ankle sprains. *American Journal of Sports Medicine*, 5(6), 241-242.
- Giza, E., & Micheli, L. J. (2005). Soccer injuries. *Med Sport Sci*, 49, 140-169.
- Giza, E., Fuller, C., Junge, A., & Dvorak, J. (2003). Mechanisms of foot and ankle injuries in soccer. *Am J Sports Med*, 31(4), 550-554.
- Gregory, J.E., Brockett, C.L., Morgan, D.L., Whitehead, N.P. y Proske, U. (2002). Effect of eccentric muscle contractions on Golgi tendón organ responses to passive and active tension in the cat. *J Physiol*, 538:209–218.
- Gregory, J.E., Brockett, C.L., Morgan, D.L., Whitehead, N.P. y Proske, U. (2002). Effect of eccentric muscle contractions on Golgi tendon organ responses to passive and active tension in the cat. *J Physiol*, 538(Pt 1):209-18.
- Griffin, L. Y., Albohm, M. J., Arendt, E. A., Bahr, R., Beynnon, B. D., Demaio, M., et al. (2006). Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005. *Am J Sports Med*, 34(9), 1512-1532.
- Hakkinen, K., & Komi, P. V. (1986). Training-induced changes in neuromuscular performance under voluntary and reflex conditions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 55(2), 147-155.
- Hanson, A. M., Padua, D. A., Troy Blackburn, J., Prentice, W. E., & Hirth, C. J. (2008). Muscle activation during side-step cutting maneuvers in male and female soccer athletes. *J Athl Train*, 43(2), 133-143.
- Hawkins, R. D., & Fuller, C. W. (1999). A prospective epidemiological study of injuries in four English professional football clubs. *Br J Sports Med*, 33(3), 196-203.

- 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.
- Heiderscheit, B. C., Sherry, M. A., Silder, A., Chumanov, E. S., & Thelen, D. G. (2010). Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *J Orthop Sports Phys Ther*, *40*(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 Nov2011*, *49*.
- Jonhagen, S., Ericson, M. O., Nemeth, G., & Eriksson, E. (1996). Amplitude and timing of electromyographic activity during sprinting. *Scand J Med Sci Sports*, *6*(1), 15-21.
- Jordan, M. J., Norris, S. R., Smith, D. J., & Herzog, W. (2005). Vibration training: an overview of the area, training consequences, and future considerations. *J Strength Cond Res*, *19*(2), 459-466.
- Mann, R. V. (1981). A kinetic analysis of sprinting. *Med Sci Sports Exerc*, *13*(5), 325-328.
- Markolf, K., O'Neil, G., Jackson, S. (2004). Effects of applied quadriceps and hamstrings muscle loads on forces in the anterior and posterior cruciate ligaments. *The American Journal of Sports Medicine*. *32*: 1144–1149.
- Newham, D. J., McPhail, G., Mills, K. R., & Edwards, R. H. (1983). Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *J Neurol Sci*, *61*(1), 109-122.
- Norrbrand, L., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2010). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *Eur J Appl Physiol*, *110*(5), 997-1005.

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* Apr2009, 105(6), 939.

Sanudo, B., Feria, A., Carrasco, L., de Hoyo, M., Santos, R., & Gamboa, H. (2012). Gender differences in knee stability in response to whole-body vibration. *J Strength Cond Res*, 26(8), 2156-2165.

Solomonow, M. y Krogsgaard, M. (2001). Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports* 2001; 11: 64-80.

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.

Wang, L. (2011). The lower extremity biomechanics of single- and double-leg stop-jump tasks. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10, 151-156.

Whitehead, N., Weerakkody, N., Gregory, J., Morgan, D. y Proske, U. (2001). Changes in passive tension of muscle in humans and animals after eccentric exercise. *Journal of Physiology*, 533: 593–604.

Wiemann, K., & Tidow, G. (1995). Relative activity of hip and knee extensors in sprinting-implications for training. *New studies in athletics*, 10, 29-29.

Yamazaki, J., Muneta, T., Ju, Y.J., Sekiya, I. (2010). Differences in kinematics of single leg squatting between anterior cruciate ligament-injured patients and healthy controls. *Knee Surgery of Sports Traumatology Arthroscopy*. 18(1): 56-63.