PubliCE, (PubliCE) 1930

Research

La Flexibilidad no está Relacionada con los Déficits en la Fuerza o la Potencia Inducidos por el Estiramiento

David G Behm[1], Erin E Bradbury[1], Allison T Haynes[1], Joanne N Hodder[1], Allison M Leonard[1] y Natasha R Paddock[1]

[1]*School of Human Kinetics and Recreation, Memorial University of Newfoundland, St. John's, Newfoundland, Canadá.*

RESUMEN

Estudios previos han demostrado que una serie aguda de estiramiento estático puede provocar una desmejora significativa en el rendimiento. Sin embargo, no existen estudios que hayan investigado los efectos del entrenamiento prolongado de la flexibilidad sobre las reducciones inducidas por el estiramiento. Se ha hipotetizado que los individuos que exhiben un mayor rango de movimiento (ROM) en los estudios de correlación o aquellos que han alcanzado un mayor ROM con el entrenamiento de la flexibilidad experimentarían un menor déficit inducido por el estiramiento. En un estudio de correlación en donde participaron 18 sujetos (25±8.3 años, 1.68±0.93 m, 73.5±14.4 kg), se realizó el estiramiento de los cuadriceps, isquiotibiales y de los flexores plantares tres veces durante 30 segundos, con 30 segundos de pausa. Se evaluó el ROM, la tensión desarrollada en la extensión de rodilla durante una contracción voluntaria máxima isométrica (MVIC) y la altura del salto con caída de los sujetos tanto pre- como post-estiramiento. En un estudio diferente los 12 sujetos que participaron (21.9±2.1 años, 1.77±0.11 m 79.8±12.4 kg) realizaron un programa de entrenamiento de la flexibilidad de 4 semanas, entrenando cinco días por semana, que implicó el estiramiento de los cuadriceps, los isquiotibiales y los flexores plantares. Las evaluaciones pre y post entrenamiento incluyeron tests para la medición del ROM, la MVIC durante los movimientos de extensión y flexión de rodillas, y tests de salto con contramovimiento y de salto con caída, los cuales fueron llevados a cabo antes y después de un período agudo de estiramiento. El período agudo de estiramiento provocó desmejoras significativas en los valores de MVIC durante los movimientos de extensión (de -6.1% a - 8.2%; $p<0.05$) y flexión (de -6.6% a -10.7%; $p<0.05$), en el tiempo de contacto durante los saltos con caída (de 5.4% a 7.4%; $p<0.01$) y en la altura del salto con contramovimiento (de -5.5% a -5.7%; $p<0.01$). El estudio de correlación no mostró relaciones significativas entre el ROM y el déficit inducido por el estiramiento. Tampoco se observó un efecto significativo del entrenamiento de la flexibilidad sobre las reducciones inducidas por el estiramiento. Es probable que debido a que los estiramientos fueron realizados hasta el punto en que los sujetos sentían disconfort con todas las evaluaciones, el estrés relativo puesto sobre el músculo fue similar resultando en desmejoras similares sin tener en cuenta el ROM o la tolerancia del músculo al estiramiento.

Palabras Clave: flexibilidad, tensión, saltos, entrenamiento estático

INTRODUCCION

En la literatura reciente se han publicado numerosos estudios que han reportado reducciones en la tensión isométrica (Behm et al., 2001; Fowles et al., 2000; Kokkonen et al., 1998; Power et al., 2004), en la fuerza en una repetición máxima (Nelson and Kokkonen, 2001), en la altura de salto (Young and Behm, 2003) y en la activación muscular (Avela et al., 1999; Behm et al., 2001; Fowles et al., 2000; Guissard et al., 1988; 2001; Power et al., 2004) luego de una serie aguda de estiramiento estático. Las series agudas de estiramiento estático hasta el punto del disconfort también han mostrado desmejorar el equilibrio, el tiempo de reacción y el tiempo de movimiento (Behm et al, 2004). Se ha reportado que estas desmejoras inducidas por los estiramientos se producen tan rápidamente como al minuto post estiramiento (Behm et al., 2004), continuando el efecto hasta los 120 min post-estiramiento (Power et al., 2004).

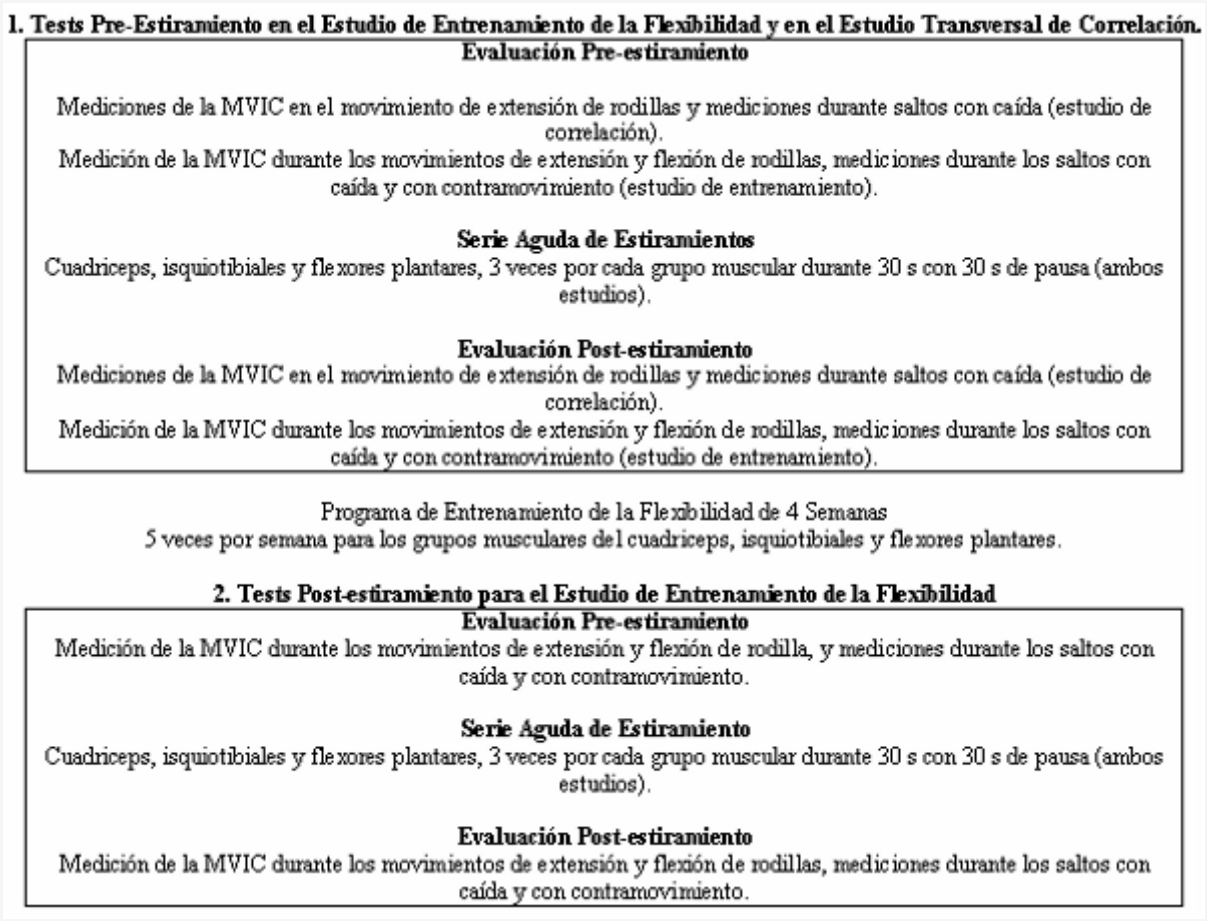

Figura 1. *Diseño experimental.*

Las explicaciones respecto del déficit inducido por el estiramiento incluyen incrementos en el distensibilidad o *compliance* muscular que puede resultar en una tasa más prolongada de desarrollo de la fuerza (Behm et al., 2001; Fowles et al., 2000). Otros han sugerido que la inhibición aferente, debido al estrés de tensión, que se produce al llevar al músculo bajo estiramiento hasta el punto del disconfort durante períodos de tiempo muy extensos (i.e., 30-60 s), podría contribuir a la reducción en el rendimiento (Behm et al., 2001; Fowles et al., 2000; Guissard et al., 1988; 2001). Ambas explicaciones sugieren que el músculo ha sido puesto bajo un estrés no familiar que puede haber derivado en cambios en el mismo que subsiguientemente impactarán la excitabilidad del conjunto de neuronas motoras.

Se ha reportado que luego del entrenamiento de la flexibilidad se produce una reducción en la rigidez ó *stiffness* muscular (Guissard and Duchateau, 2004). En contraste, Magnusson et al (1996b) no observaron diferencias significativas en la rigidez muscular, en la energía o en el torque pico en la articulación de la rodilla luego de tres semana de entrenamiento de la flexibilidad. Estos autores sugirieron que el incremento en el rango de movimiento (ROM) alcanzado con el

entrenamiento podría ser consecuencia de un incremento en la tolerancia al estiramiento. Puede ser posible que las desmejoras inducidas por el estiramiento reportadas en la literatura sean un fenómeno específico del entrenamiento. Una unidad músculo tendinosa (MTU) más flexible (mayor ROM) o una MTU más tolerante a la tensión provocada por el estiramiento podría soportar el estrés asociado con una serie aguda de estiramiento con mayor facilidad que una MTU más rígida. Para nuestro conocimiento no se han publicado estudios que hayan examinado la relación entre la amplitud del ROM alrededor de una articulación (flexibilidad) y el grado de las desmejoras inducidas por el estiramiento. Quizás si un individuo posee un alto nivel de flexibilidad o de tolerancia al estiramiento, entonces podría ser capaz de sostener de una mejor forma el estrés impuesto por una serie aguda de estiramientos. Los objetivos de este estudio fueron dos; determinar (a) la relación entre el ROM articular de un individuo (flexibilidad) y los cambios agudos inducidos por el estiramiento y (b) si un programa de entrenamiento de la flexibilidad de cuatro semanas provocaría reducciones en las desmejoras en el rendimiento inducidas por el estiramiento.

METODOS

Diseño Experimental

Con el propósito de evaluar las hipótesis, se llevaron a cabo dos experimentos por separado. Un estudio transversal de correlación en donde se evaluó el ROM de 18 sujetos asociado con la flexión de cadera, la extensión de la cadera y la flexión-dorsiflexión plantar. En este estudio los sujetos fueron evaluados antes y después de una serie aguda de estiramientos estáticos de las extremidades inferiores para medir la tensión en una contracción isométrica voluntaria máxima (MVIC), durante el movimiento de extensión de rodilla y el rendimiento durante saltos con caída. La matriz de correlación fue utilizada para analizar la relación entre el grado de ROM en las diferentes articulaciones y los cambios en la fuerza isométrica y el rendimiento en saltos dinámicos, antes y después de una serie aguda de estiramientos (Figura 1).

El segundo experimento tuvo un diseño experimental longitudinal con mediciones repetidas en donde se evaluó la MVIC en los movimientos de extensión y flexión de rodilla y el rendimiento en saltos con caída y en saltos verticales con contramovimiento, antes y después de una serie aguda de estiramientos. Doce sujetos participaron en un programa para el entrenamiento de la flexibilidad de las extremidades inferiores de cuatro semanas de duración con cinco sesiones semanales. Luego del programa de entrenamiento, los sujetos fueron nuevamente evaluados, antes y después de una serie aguda de estiramientos. Las diferencias en la MVIC en los movimientos de extensión y flexión de rodillas y en el rendimiento durante los saltos con caída y con contramovimiento fueron comparadas pre- y post-entrenamiento para determinar si el entrenamiento produjo una reducción en las desmejoras en el rendimiento inducidas por el estiramiento (Figura 1).

Participantes

En el estudio de correlación se tomó una muestra por conveniencia (9 hombres y 9 mujeres) (media±DE: edad; 25±8.3 años, talla; 1.68±0.93 m, masa corporal; 73.5±14.4 kg). Similarmente, un segundo grupo de sujetos (12 hombres) (edad; 21.9±2.1 años, talla; 1.77±0.11 m, masa corporal; 79.8±12.4 kg) que no participaban activamente en programas para el desarrollo de la flexibilidad fueron voluntarios para participar en el estudio de entrenamiento. Todos los participantes pertenecían a la población de la Universidad y completaron el Cuestionario de Aptitud para Realizar Actividad Física (PAR-Q) (Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio, 2003b) indicando que no tenían problemas de salud significativos. Se requirió que cada sujeto leyera y firmara una forma de consentimiento antes de participar en el estudio. Ambos estudios fueron aprobados por el Comité de Investigaciones Humanas de la Universidad.

Variables Dependientes

Todos los participantes, tanto los del estudio de correlación como los del estudio de entrenamiento, realizaron una entrada en calor en un cicloergómetro (Monark Ergomedic 828E) durante cinco minutos a una intensidad mínima de 70 Watts.

Mediciones Activas de la Flexibilidad en el Estudio de Correlación y en el Estudio de Entrenamiento

Todos los participantes del estudio de correlación completaron tres pruebas compuestas de tres tests para la evaluación de la flexibilidad activa: *sit and reach*, flexión-dorsiflexión plantar y extensión de cadera. Los participantes del estudio de entrenamiento fueron evaluados utilizando tres pruebas compuesta de los tests *sit and reach*, extensión de cadera y flexión de cadera. El test de flexión-dorsiflexión plantar fue reemplazado con el test de flexión de cadera en el estudio de entrenamiento debido a que el test de flexión-dorsiflexión tienen un rango de movimiento substancialmente menor haciendo que la precisión de las mediciones sea menor. Debido a que el test de *sit and reach* involucra tanto a los músculos

de la porción inferior de la espalda como a los músculos isquiotibiales, el test de flexión de cadera, que evalúa principalmente los músculos isquiotibiales, fue sustituido en el estudio de entrenamiento. Todos los participantes fueron re evaluados dentro de los 2-3 días de la evaluación pre test para determinar la confiabilidad de los tests.

Utilizando un dispositivo especial para el test de *sit and reach* (Acuflex I, Novel Products Inc., Estados Unidos), los participantes se sentaron sobre una alfombra con las piernas completamente extendidas, y flexionaron el tronco llevando las manos hacia sus pies. Los sujetos mantuvieron esta posición durante dos segundos mientras se medía la distancia alcanzada en centímetros (Canadian Society for Exercise Physiology, 2003a; Heyward, 2005). En el test de flexión-dorsiflexión plantar, se utilizó un goniómetro colocado sobre la línea media lateral de la tibia como referencia mientras que el pívot se colocó sobre el proceso lateral del maleolo lateral. La otra palanca fue colocada sobre el proceso lateral del quinto hueso metatarsiano y su posición fue utilizada para determinar los grados de movimiento (Heyward, 2005). Los participantes intentaron flexionar y extender sus tobillos a lo largo del mayor ROM posible. Cuando se realizó el test de extensión de cadera, los sujetos se recostaron en el suelo en posición de decúbito prono y levantaron su pierna derecha en dirección del techo sin la asistencia de un investigador. El investigador se aseguró que su cadera (espina ilíaca anterior superior) mantuviera el contacto con el suelo y que las piernas del sujeto se mantuvieran extendidas (rodilla extendida) durante todo el test. Se midió la altura que alcanzaba la rótula desde el piso en centímetros (Canadian Society for Exercise Physiology, 2003a). En el test de flexión de cadera, los participantes asumieron la posición de decúbito supino y flexionaron su cadera, manteniendo la rodilla extendida, lo más lejos posible sin la asistencia del investigador. Para medir el ROM se utilizó un goniómetro. Una de las palancas del goniómetro fue colocada en la línea media lateral de la pelvis mientras que el pívot fue colocado en el proceso lateral de la articulación de la cadera utilizando el trocánter mayor del fémur como referencia. La otra palanca fue colocada en la línea media lateral del fémur utilizando el epicóndilo lateral como referencia para determinar los grados de movimiento (Heyward, 2005).

MVIC en los Movimientos de Extensión y Flexión de Rodilla

Los sujetos del estudio de correlación realizaron tres MVIC con el movimiento de extensión de rodilla y tres saltos con caída. Además de las MVIC y de los saltos con caída, los participantes del estudio de entrenamiento también fueron evaluados con saltos verticales con contramovimiento y con MVIC en el movimiento de flexión de rodilla. Las series de MVIC y de saltos fueron llevadas a cabo en forma aleatoria. Se proporcionó un período mínimo de dos minutos entre cada MVIC. Para las MVIC en el movimiento de extensión de rodilla, los participantes se sentaron en un banco con las caderas y las rodillas flexionadas a 90º y con la porción superior de las piernas y las caderas fueron sujetadas por dos correas. El tobillo fue sujetado con una correa que se ubicó al nivel del maleolo, la cual se encontraba fijada mediante un cable de alta tensión a una aguja de tensión con configuración en forma de puente Wheatstone (Omega Engineering Inc. LCCA 250). La evaluación de las MVIC en el movimiento de flexión de rodilla se llevó a cabo de la misma manera con la excepción de que la rodilla se encontraba flexionada a 120º. Se utilizó un ángulo de 120º en lugar de uno de 90º (para la extensión de rodillas) ya que de esta manera los músculos isquiotibiales quedaron con una longitud ligeramente mayor lo cual permitió que estos produjeran mayor tensión. Las fuerzas fueron registradas a partir de la MVIC con la mayor producción de fuerza. Las fuerzas fueron detectadas por medio de una galga extensiométrica (*strain gauge*), amplificadas (BioPac Systems Inc. DA 100 y transformador analógico a digital MP100WSW) y monitoreadas por una computadora (Sona Phoenix PC). Todos los datos fueron recolectados en una computadora con una frecuencia de muestreo de 2000 Hz. Los datos fueron registrados y analizados con un programa diseñado comercialmente (AcqKnowledge III, BioPac Systems Inc).

Saltos con Caída

Los tres saltos con caída estuvieron separados por un período de recuperación mínimo de un minuto. Los saltos con caída se realizaron desde una altura de 30 cm y se les indicó a los sujetos que debían hacer énfasis en tratar de realizar el menor tiempo de contacto posible y la mayor altura de salto (Young et al., 1995; 2001). Manteniendo las manos sobre sus caderas, los sujetos caían sobre una manta de contacto (Kinematic Measurement Systems, Skye SA Australia) provista con un cronómetro, el cual fue utilizado mediante un programa de computación (Innervations, Muncie, Indiana) para calcular el tiempo de contacto y la altura del salto. En un mismo individuo, un salto en particular pudo haber tenido el menor tiempo de contacto mientras que con otro salto puedo haber alcanzado la mayor altura. Debido a que el tiempo de contacto puede afectar la altura del salto, para el análisis de la altura del salto y del tiempo de contacto se utilizó la media de los valores de dos saltos.

Saltos con Contramovimiento

Se les pidió a los sujetos que ejecutaran tres saltos con contramovimiento sobre la manta de contacto. Entre cada salto se permitió un período de recuperación de un minuto. Aunque se permitió el balanceo de los brazos y la velocidad y la magnitud del ángulo de la rodilla en el contramovimiento fue seleccionada por cada sujeto, las medidas de confiabilidad fueron muy altas (ICC: 0.95). Debido a que la duración de la aplicación de la fuerza no fue importante para este test y por lo tanto el efecto de una variable sobre la otra (efecto del tiempo de contacto sobre la altura del salto) no fue un hecho de

importancia, para los análisis se utilizó la mayor altura de salto alcanzada en las tres pruebas.

Variables Independientes

Protocolo de Estiramientos Agudos en el Estudio de Correlación y en el Estudio de Entrenamiento

El orden con que se efectuaron los ejercicios de estiramiento para los músculos del cuadriceps, isquiotibiales y flexores plantares fue aleatorio. En base a investigaciones previas que han recomendado una duración de 30 s o mayor para los estiramientos (Bandy et al., 1997; Bandy and Irion, 1994), estos fueron mantenidos hasta alcanzar el umbral de disconfort por un período de 30 s con períodos de recuperación de 30 s entre los estiramientos. Cada tipo de estiramiento fue repetido tres veces. El estiramiento de ambas piernas incluyó una serie de flexión unilateral de rodilla (cuadriceps), flexión de caderas en posición supina con la rodilla extendida (isquiotibiales), dorsiflexión con pierna (rodilla) extendida en posición de pie (estiramiento para los flexores plantares con énfasis en el gastrocnemio), y dorsiflexión con la rodilla flexionada en posición de pie (estiramiento de los flexores plantares con énfasis en el soleo) (Alter, 1996). El estiramiento fue pasivo para los cuadriceps y los isquiotibiales, con el mismo investigador controlando el cambio en el ROM y la resistencia para todos los sujetos. El investigador realizó la extensión de la extremidad de los sujetos hasta el límite del ROM, cuidando de no incurrir en lesiones. En respuesta a la retroalimentación de los participantes durante los estiramientos individuales, el investigador modificaba la tensión sobre el músculo para mantener el mismo nivel de disconfort. La resistencia para los estiramientos de los músculos flexores plantares fue provista por los propios sujetos a los cuales se les instruyó para que continuaran estirando los músculos hasta alcanzar el punto de disconfort.

Cinco minutos después de la serie aguda de estiramientos, se realizaron los tests de MVIC y de saltos de la misma manera descrita previamente. Se utilizó un período de recuperación de 5 minutos para simular una situación deportiva en donde un individuo no comenzaría la actividad o la competición inmediatamente después de completar sus estiramientos estáticos. Debido a que la duración total de la evaluación fue de aproximadamente 20 minutos y a que los tests se realizaron aleatoriamente, los resultados podrían aplicarse a cualquiera de las actividades evaluadas por un período de aproximadamente 25 min luego de la realización de la entrada en calor con estiramientos y ejercicios aeróbicos.

Programa de Entrenamiento de la Flexibilidad para el Estudio Longitudinal

Luego de los estiramientos pre entrenamiento y de las evaluaciones, los sujetos del estudio de entrenamiento participaron en un programa para el entrenamiento de la flexibilidad de cuatro semanas de duración. El programa consistió de cuatro estiramientos repetidos cinco días a la semana durante cuatro semanas. Los estiramientos realizados fueron los mismos que en la serie aguda de estiramientos, incluidos el ejercicio de flexión de rodillas (cuadriceps), flexión de caderas en posición supina con la rodilla extendida (isquiotibiales), y dorsiflexión con rodilla extendida y flexionada (flexores plantares) (Alter, 1996). De manera similar a la serie aguda de estiramientos, cada participante fue asistido por un investigador en los estiramientos para el cuadriceps y los isquiotibiales, quien controló subjetivamente el ROM y la tensión y observó los estiramientos para los flexores plantares para asegurarse que se estaban realizando estiramientos máximos (hasta el punto de disconfort). Los participantes informaron continuamente al investigador de cualquier cambio percibido en la tensión durante los 30 s de estiramiento. Si la tensión no era la suficiente como para llegar al punto del disconfort, entonces el investigador o el participante (para los estiramientos de los flexores plantares) incrementaban el ROM hasta que se alcanzara nuevamente el punto de disconfort. Al final de las cuatro semanas de entrenamiento de la flexibilidad, los sujetos realizaron nuevamente los procedimientos de evaluación previamente descritos.

Análisis Estadísticos

Los datos de correlación fueron analizados utilizando la matriz de correlación producto momento de Pearson (SPSS statistical software; Version 11.5) para determinar la relación entre las variables dependientes (test de MVIC y de saltos con caída) y las variables independientes (estiramientos). Se llevaron a cabo análisis de varianza (ANOVA) para medidas repetidas para determinar si existían diferencias significativas entre los datos pre y post estiramiento (GB Stat Dynamic Microsystems, Silver Spring Maryland, Estados Unidos) en el estudio de correlación. Debido a que los datos obtenidos en los tests que involucraban a los 12 sujetos en el estudio longitudinal de entrenamiento exhibieron una distribución normal (valor crítico=0.84 para $p<0.05$, los valores estuvieron en el rango que va desde le valor para el salto con contramovimiento=0.86 hasta los valores para MVIC para el movimiento de extensión de rodillas=0.91) se pudo utilizar en análisis de varianza ANOVA (2 x 2) de dos vías para medidas repetidas. Los efectos o niveles principales incluyeron: 1) pre- y post-series agudas de estiramiento y 2) pre- y post-entrenamiento de la flexibilidad. Un nivel alfa de $p<0.05$ fue considerado estadísticamente significativo. Los tamaños del efecto (ES) fueron también calculados y reportados (Cohen, 1988). La confiabilidad de las mediciones fue valorada utilizando el modelo alfa (Cronbach) con el coeficiente de correlación interclase (ICC) para todos los sujetos.

RESULTADOS

Estudio de Correlación

Flexibilidad

Aunque se hallaron correlaciones significativas entre el ROM en la flexión-dorsiflexión plantar, el ROM en la extensión de cadera y la flexibilidad en el test de *sit and reach* (Tabla 1), no se hallaron correlaciones significativas entre el ROM inicial y los cambios en el rendimiento inducidos por el estiramiento, tanto en forma general como dentro de cada sexo.

Producción de Tensión Isométrica

Se observó un déficit del -6.5% ($p<0.01$; ES=0.16) entre los valores pre- y post-estiramiento para la producción de fuerza en la MVIC durante la extensión de rodillas (615±248 N vs. 575±212 N, respectivamente).

Salto con Caída

El tiempo de contacto se incrementó en un 5.4% ($p<0.01$; ES=0.47) (pre-estiramiento: 220±26 ms, post-estiramiento: 233±20.0 ms) entre las mediciones pre- y post-estiramiento. No se observaron cambios en la altura de los saltos con caída

Sit and reach vs. flexión – dorsiflexion plantar del tobillo	0.49 *
Sit and reach vs. Extensión de la cadera	0.73 *
Flexión - dorsiflexion plantar del tobillo vs. Extensión de la cadera	0.54 *

Tabla 1. *Correlación producto momento de Pearson para el rango de movimiento articular. * p<0.05.*

Estudio Longitudinal de Entrenamiento

Cambios en el ROM Inducidos por el Entrenamiento

Se hallaron incrementos en los valores del test *sit and reach* (11.8%) ($p<0.01$; ES=0.59), de extensión de cadera (19.7%) ($p<0.01$; ES=1.87) y de flexión de cadera ($p<0.01$; ES=1.47) luego de las cuatro semanas de entrenamiento de la flexibilidad (Tabla 2).

	Pre-entrenamiento	**Post-entrenamiento**
Sit and Reach **(cm)**	32.1 (6.4)	35.9 (5.4) *
Flexión de Caderas (°)	83.3 (7.6)	94.5 (6.9) *
Extensión de Caderas (cm)	25.5 (4.8)	34.5 (5.6) *

Tabla 2. *Cambios en el rango de movimiento articular inducidos por el entrenamiento de la flexibilidad. Los datos son presentados como valores medios (DE). * p<0.01.*

Déficit en el Rendimiento Inducido por el Estiramiento

Previamente al programa de entrenamiento de la flexibilidad, la serie aguda de estiramiento provocó una desmejora significativa del -8.2% en la tensión durante la MVIC en el movimiento de extensión de rodilla (Figura 2, $p<0.05$; ES=0.6), del -6.6% en la tensión durante la MVIC en el movimiento de flexión de rodilla (Figura 3, $p<0.05$; ES=0.39), del 7.4% (pre

estiramiento: 198±27 ms, post estiramiento: 184±27 ms) en el tiempo de contacto durante los saltos con caída ($p<0.05$; ES=0.54) y del -5.7% (pre estiramiento: 34.6±6.6 cm, post estiramiento: 32.6±7.1 cm) en la altura de los saltos con contramovimiento ($p<0.01$; ES=0.3). No se observaron cambios significativos ($p=0.6$) en la altura durante los saltos con caída (pre estiramiento: 25 ± 8, post estiramiento: 27±8 cm).

Luego del programa de entrenamiento de la flexibilidad, la serie aguda de estiramientos produjo desmejoras significativas del -6.1% en la tensión durante la MVIC en el movimiento de extensión de rodilla (Figura 2, $p<0.02$; ES=0.63), del -10.7% en la tensión durante la MVIC en el movimiento de flexión de rodilla (Figura 3, $p<0.01$; ES=0.57) y del -5.5% (pre-estiramiento: 35.9±7.1 cm, post-estiramiento: 33.9±5.8 cm) en la altura de los saltos con contramovimiento ($p<0.01$; ES=0.34). Hubo un incremento no significativo del 2.6% (pre estiramiento: 198 ± 27 ms, post estiramiento: 202±31 ms) en el tiempo de contacto durante los saltos con caída, y no se observaron cambios apreciables en la altura de los saltos con caída (pre estiramiento: 25±8 cm, post estiramiento: 25±7 cm).

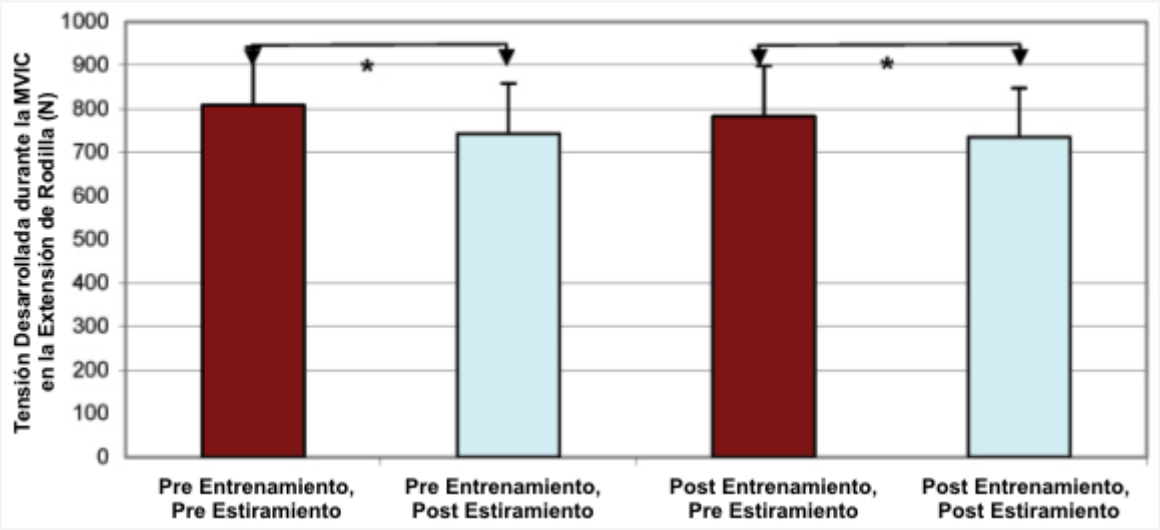

Figura 2. *Cambios en la fuerza voluntaria isométrica máxima (MVIC) durante el movimiento de extensión de rodilla, antes y después de una serie aguda de estiramientos estáticos hasta el punto de disconfort. Los asteriscos indican diferencias significativas en la fuerza producida por la MVIC inducidas por el estiramiento, antes y después del programa de entrenamiento de la flexibilidad de cuatro semanas. Las barras representan las medias grupales mientras que las líneas indican la desviación estándar.*

Efecto del Entrenamiento de la Flexibilidad

La comparación de los cambios inducidos pre- y post-estiramiento, antes y después del entrenamiento de la flexibilidad no reveló un efecto significativo del entrenamiento.

Confiabilidad

Las medidas de confiabilidad utilizando el ICC para la tensión en las MVIC, el tiempo de contacto en los saltos con caída, la altura de salto en los saltos con caída y con contramovimiento fueron de 0.75, 0.90, 0.98 y 0.95 respectivamente. La confiabilidad de las medidas de la flexibilidad para el test de *sit and reach*, de flexión de cadera, de extensión de cadera y de flexión-dorsiflexión plantar fue de 0.92, 0.96, 0.84 y 0.90, respectivamente.

DISCUSION

Los hallazgos más significativos en este estudio fueron que el nivel inicial de ROM articular de un individuo no correlacionó con el déficit inducido por el estiramiento y, en segundo lugar, que cuatro semanas de entrenamiento de la flexibilidad no disminuyeron las desmejoras inducidas por el estiramiento. Si bien se han publicado estudios que han demostrado reducciones en la fuerza isométrica (Behm et al., 2001; Fowles et al., 2000; Kokkonen et al., 1998; Power et al., 2004), en la fuerza dinámica (Nelson and Kokkonen, 2001) y en la altura de salto (Young and Behm, 2003) luego de una

serie aguda de estiramientos, no se han publicado estudios que hayan reportado los efectos de un mayor ROM o del entrenamiento de la flexibilidad sobre las desmejoras en el rendimiento inducidas por el estiramiento. Klinge et al (1997) reportaron que la adición de ejercicios de flexibilidad a un programa de entrenamiento de la fuerza de trece semanas no tuvo efectos significativos sobre las respuestas de la fuerza al entrenamiento. Wilson et al (1992) hallaron que el rebote en el ejercicio de press de banca realizado por levantadores de potencia era mejorado luego de ocho semanas de entrenamiento de la flexibilidad, debido al incremento en la utilización de la energía elástica durante el levantamiento. Si bien Hunter y Marshall (2002) demostraron incrementos en la altura de los saltos con contramovimiento con 10 semanas de entrenamiento de la flexibilidad, Guissard y Duchateau (1988) no mostraron cambios en el torque durante MVIC o en la tasa de desarrollo de torque luego de 30 sesiones de estiramientos estáticos. Sin embargo, ninguno de los estudios previamente mencionados implicó la realización de una serie aguda de estiramientos inmediatamente antes de las mediciones post-entrenamiento.

Se podría hipotetizar que la realización de series repetidas de estiramiento asociadas con un programa de entrenamiento de flexibilidad podría reducir las desmejoras asociadas con una serie aguda de estiramiento estático subsiguiente. Una unidad músculo tendinosa más flexible (MTU) o una MTU más tolerante a la tensión provocada por el estiramiento podría soportar el estrés asociado con una serie aguda de estiramiento de mejor manera que una MTU más rígida. Este no fue el caso en el presente estudio. Debido a que las instrucciones durante los estiramientos fueron estirar hasta el punto de disconfort, tanto antes como después del entrenamiento, la intensidad del estiramiento fue relativa a la tolerancia al estiramiento de la MTU. Si la ROM de un individuo era mayor antes del entrenamiento (estudio de correlación) o se incrementó con el entrenamiento, la MTU más flexible podría haberse elongado hasta una mayor extensión durante la serie aguda de estiramiento que una MTU menos flexible.

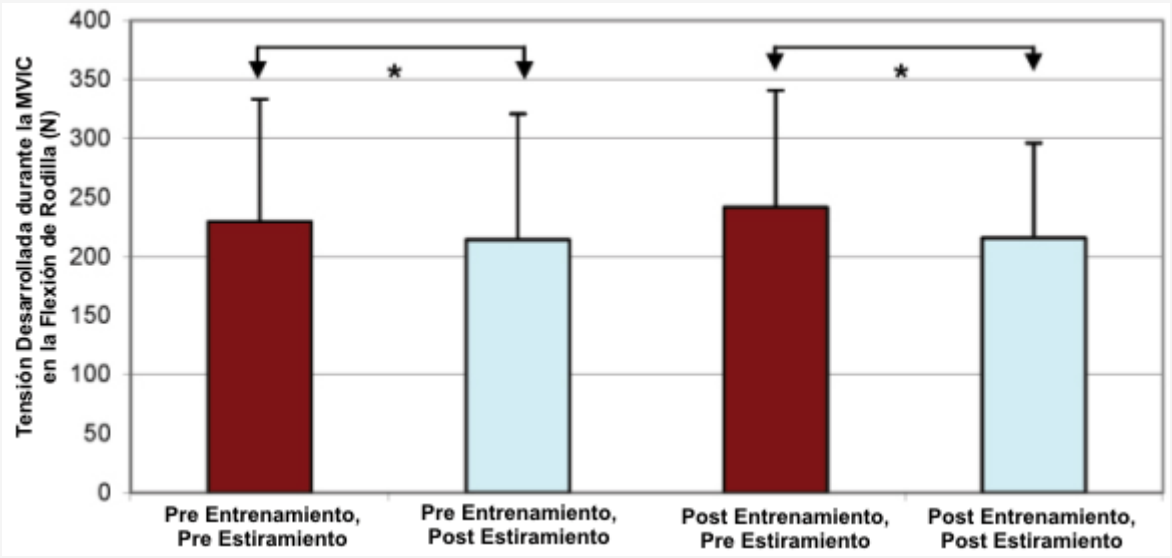

Figura 3. *Cambios en la fuerza voluntaria isométrica máxima (MVIC) durante el movimiento de flexión de rodilla, antes y después de una serie aguda de estiramientos estáticos hasta el punto de disconfort. Los asteriscos indican diferencias significativas en la fuerza producida por la MVIC inducidas por el estiramiento, antes y después del programa de entrenamiento de la flexibilidad de cuatro semanas. Las barras representan las medias grupales mientras que las líneas indican la desviación estándar.*

Por lo tanto, sin tener en cuenta los cambos absolutos en el ROM, parece que el estrés relativo inducido por el estiramiento sobre la MTU deriva en desmejoras similares en el rendimiento. Aunque no incorporado en el presente estudio, es concebible que si los cambios absolutos en el ROM, en la intervención pre-entrenamiento, fueran equiparados post-entrenamiento, el estrés relativamente menor (menor ROM) impuesto sobre una MTU más flexible podría haber resultado en menores desmejoras.

Las desmejoras asociadas con una serie aguda de estiramiento, tanto antes como después del programa de entrenamiento de la flexibilidad, reflejan desmejoras similares en la fuerza (Behm et al., 2001; Fowles et al., 2000; Fowles and Sale, 1997) y la potencia (Young and Behm, 2003) inducidas por el estiramiento, observadas en otros estudios publicados. Se ha reportado que una serie aguda de estiramiento altera la longitud y la rigidez de la MTU en la extremidad afectada. Aunque el mecanismo exacto responsable del incremento en el ROM luego del estiramiento se encuentra aun en debate, este incremento ha sido atribuido a la reducción en la rigidez de la MTU (Wilson et al., 1991; 1992) y al incremento en la

tolerancia al estiramiento (Magnusson et al., 1996b). Los estudios al respecto han reportado reducciones (Magnusson et al., 1996a; Toft et al., 1989) o no han reportado cambios (Magnusson et al., 2000) en la resistencia pasiva de las MTU o en la rigidez con una serie aguda de estiramiento. Se podría esperar que los cambios en la rigidez de las MTU impactaran en la transmisión de las tensiones, en la tasa de transmisión de la tensión y en la tasa a la cual los cambios en la longitud muscular o la tensión son detectados. Un componente elástico en serie o en paralelo más débil podría incrementar el retraso electromecánico enlenteciendo el período entre la cinética de los puentes cruzados miofibrilares y la tensión ejercida por la MTU sobre el sistema esquelético. Un músculo alargado debido a una serie aguda de estiramiento podría tener un traslape de los puentes cruzados menor al óptimo lo cual, de acuerdo con la relación longitud/tensión (Rassier et al., 1999) podría disminuir la producción de tensión muscular. La elongación de los tejidos tendinosos también podría tener un efecto sobre la producción de tensión (Kawakami et al., 2002).

Otra posibilidad es que el estrés inducido por el estiramiento tenga un efecto adverso sobre la activación neuromuscular (Avela et al., 1999; Behm et al., 2001, Power et al., 2004). Avela et al (1999) investigaron los efectos del estiramiento pasivo sobre la sensibilidad refleja del músculo tríceps sural. Luego de una hora de estiramientos se observó una reducción significativa en la MVC (23.2%), en el EMG (19.9%), en la amplitud del reflejo de estiramiento (84.8%) y en la razón relejo-H/potencial de acción muscular (onda M) (43.8%). Aunque la propagación neural parece no afectarse (onda M), la excitación aferente del conjunto de motoneuronas (reflejo H) se vio desmejorada. Aunque, Guissard et al. (2001) reportaron reducciones en la excitabilidad del reflejo H durante la realización de estiramientos pasivos, la reducción estuvo limitada a la duración del estiramiento. Avela et al. (1999) sugirieron que la reducción en la excitación del conjunto de motoneuronas es resultado de la reducción en el impulso excitatorio proveniente de las vías aferentes Ia hacia las motoneuronas α, posiblemente debido a la reducción en la descarga de reposo de los husos musculares por medio del incremento en el distensibilidad o *compliance* muscular. No obstante, si las desmejoras en el rendimiento inducidas por el estiramiento son producto solamente de los cambios en el distensibilidad o *compliance* muscular o coinciden con la inhibición aferente de las motoneuronas, el incremento en el ROM observado en el presente estudio no alivió el déficit inducido por el estiramiento.

En el presente estudio se observaron incrementos significativo en el ROM activo asociado con el programa de entrenamiento de la flexibilidad (*sit and reach*: 11.8%, $p<0.01$; extensión de cadera: 19.7%, $p<0.01$, flexión de cadera: 11.4%, $p<0.01$). Si bien en el presente estudio se incorporaron 20 sesiones de estiramiento, otros han reportado incrementos significativos en el ROM con solo 12 sesiones de estiramiento en un período de 4 semanas (Davis et al., 2005). Debido a que los estiramientos activos están limitados por la fuerza de los músculos antagonistas, los incrementos en el ROM pueden no ser idénticos a los observados con las mediciones pasivas de la flexibilidad. Sin embargo, considerando que las actividades de la vida diaria casi nunca implican un ROM pasivo, las medidas de la flexibilidad activa deberían reflejar de una mejor manera las realidades diarias.

No todas las mediciones de la potencia demostraron desmejoras inducidas por la flexibilidad. Si bien la altura de los saltos con contramovimiento se redujo con la serie aguda de estiramiento, la altura del salto con caída no se vio significativamente afectada. Ambos tipos de saltos fueron incluidos en el estudio de entrenamiento de la flexibilidad debido a que los saltos con caída desde una altura de 30 cm hacen énfasis en un corto tiempo de contacto (característicamente menores a 200 ms), mientras que los saltos con contramovimiento tienen característicamente una mayor duración (lo cual no pudo ser medido directamente en el presente estudio) del ciclo de estiramiento acortamiento. Nosotros sentimos que el corto tiempo de contacto en los saltos con caída imitarían acciones tales como los esprints, mientras que los saltos con contramovimiento serían más característicos de movimientos tales como el lanzamiento de bala, los saltos en el básquetbol, el patín y otras actividades que implican la aplicación de fuerza en períodos mayores de tiempo. Los déficits en los saltos con contramovimiento demostraron que el estiramiento estático mantenido en el punto de disconfort podría afectar adversamente el rendimiento en las actividades previamente mencionadas. La falta de cambio en la altura de salto en los saltos con caída puede ser atribuida al significativo incremento inducido por el estiramiento en el tiempo de contacto (pre-entrenamiento: 5.4% post-entrenamiento: 7.4%). El incremento observado, post-estiramientos agudos, en el tiempo de contacto en los saltos con caída podría permitir que se ejerza un mayor impulso (fuerza x tiempo) permitiendo posiblemente que se produzca una disminución inducida por el estiramiento en la fuerza ejercida (como se ejemplificó con la reducción en la MVIC y en el salto con contramovimiento) en un mayor período de tiempo.

El modesto número de participantes y la utilización exclusiva de hombres podrían dificultar las implicaciones y las aplicaciones del estudio longitudinal. No obstante, la participación exclusiva de hombres no debería afectar significativamente la validez externa de los hallazgos, ya que el déficit inducido por el estiramiento observado en el estudio transversal (hombres y mujeres) fue similar al observado en el estudio de entrenamiento (hombres) y al observado en otros estudios comparables (Behm et al., 2001; 2004; Fowles et al., 2000; Power et al., 2004). Asimismo, debido a que los datos tuvieron una distribución normal y a que la mayoría de los tamaños del efecto fueron moderados, se podría hacer un argumento respecto de asumir la validez externa.

Conclusiones

Una serie aguda de estiramientos hasta el punto de disconfort resultó en una dismunición en la fuerza durante la realización de MVIC, en la altura en saltos con contramovimiento y en el tiempo de contacto durante saltos con caída. No se hallaron correlaciones significativas entre el ROM articular y la amplitud del déficit de fuerza y potencia inducido por el estiramiento. Asimismo, cuatro semanas de entrenamiento de la flexibilidad no influenciaron la magnitud de las desmejoras inducidas por los estiramientos. Por lo tanto, si los individuos mantienen los estiramientos hasta el punto del disconfort personal, el estrés relativo será similar con músculos más o menos flexibles. Los estudios futuros deberían examinar también la efectividad de variar la intensidad de los estiramientos sobre los cambios en el ROM.

PUNTOS CLAVE

Se utilizó un estudio de correlación y un estudio de entrenamiento para examinar los efectos del incremento en el rango de movimiento sobre los cambios en las mediciones de la fuerza y en saltos inducidas por el estiramiento

Una serie aguda de estiramientos produjo desmejoras significativas en la MVIC durante los movimientos de extensión y flexión de rodillas, en el tiempo de contacto durante saltos con caída y en la altura de saltos con contramovimiento

Ningún estudio mostró una relación significativa entre el ROM y el déficit en el rendimiento inducido por el estiramiento.

Dirección para el Envío de Correspondencia

David G. Behm School of Human Kinetics and Recreation, Memorial University of Newfoundland, St. John’s, Newfoundland, A1C 5S7 Canada.

REFERENCIAS

1. Alter, M.J (1996). Science of Flexibility. *Human Kinetics Publ. Windsor, Ontario, Canada. 123-156*
2. Bandy, W.D. and Irion, J.M (1994). The effect of time on the static stretch of the hamstrings muscles. *Physical Therapy 74, 845-850*
3. Bandy, W.D., Irion, J.M. and Briggler, M (1997). The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Physical Therapy 77, 1090-1096*
4. Behm, D.G., Bambury, A., Cahill, F. and Power, K (2004). Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. *Medicine and Science in Sports and Exercise 36, 1397-1402*
5. Behm, D.G., Button, D.C. and Butt, J.C (2001). Factors affecting force loss with prolonged stretching. *Canadian Journal of Applied Physiology 26, 261-272*
6. Byrne, C., Twist, C. and Eston, R (2004). Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine 34, 46-69*
7. Canadian Society for Exercise Physiolog (2003). Professional Fitness and Lifestyle Consultant Resource Manual. *Second Edition, 5.1-5.5*
8. Canadian Society for Exercise Physiology (2003). The Canadian Physical Activity, Fitness and Lifestyle Approach. *Third Edition 5.1-5.7*
9. Cohen J (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. *2nd Edition, Hillsdale NJ. L. Erbaum Associates. 567*
10. Davis, D.S., Ashby, P.E., McHAle, K.L., McQuain, J.A. and Wine, J.M (2005). The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameters. *Journal of Strength and Conditioning Research 19, 27-32*
11. Fowles, J.R. and Sale, D.G (1997). Time course of strength deficit after maximal passive stretch in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise 29, S26*
12. Fowles, J.R., Sale, D.G. and MacDougall J.D (2000). Reduced strength after passive stretch of the human plantar flexors. *Journal of Applied Physiology 89, 1179-1188*
13. Guissard, N. and Duchateau, J (2004). Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. *Muscle and Nerve 29, 248-255*
14. Guissard, N., Duchateau, J. and Hainaut, K (2001). Mechanisms of decreased motoneurone excitation during passive muscle stretching. *Experimental Brain Research 137, 163-169*
15. Guissard, N., Duchateau, J. and Hainaut, K (1988). Muscle stretching and motoneuron excitability. *European Journal of Applied Physiology 58, 47-52*
16. Heyward, V.H (2005). Advanced fitness assessment and exercise prescription. *Fourth Edition. 230-240*
17. Hunter, J.P. and Marshall, R.N (2002). Effects of power and flexibility training on vertical jump technique. *Medicine and Science in Sports and Exercise 34, 478-486*
18. Kawakami, Y., Kubo, K., Kanehisa, H. and Fukunaga, T (2002). Effect of series elasticity on isokinetic torque-angle relationship in humans. *European Journal of Applied Physiology 87, 381-387*
19. Klinge, K., Magnusson, S.P., Simonsen, E.B., Aagaard, P., Klausen, K. and Kjaer, M (1997). The effect of strength and flexibility

training on skeletal muscle electromyographic activity, stiffness, and viscoelastic stress relaxation response. *The American Journal of Sports Medicine 25, 710-716*
20. Kokkonen, J., Nelson, A.G. and Cornwell, A (1998). cute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport 69, 411-415*
21. Magnusson, S.P., Aagaard, P. and Nielsen, J.J (2000). Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle tendon unit. *Medicine and Science in Sports and Exercise 32, 1160-1164*
22. Magnusson, S.P., Simonsen, E.B., Aagaard, P. and Kjaer, M (1996). Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *The American Journal of Sports Medicine 24, 622-627*
23. Magnusson, S.P., Simonsen, E.B., Aagaard, P., Sorensen, H. and Kjaer, M (1996). A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *Journal of Physiology 497, 291-298*
24. Nelson, A.G. and Kokkonen, J (2001). cute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport 72, 415-419*
25. Power, K., Behm, D., Cahill, F., Carroll, M. and Young, W (2004). An acute bout of static stretching: effects on force and jumping performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise 36, 1389-1396*
26. Rassier, D.E., MacIntosh, B.R. and Herzog, W (1999). Length dependence of active force production in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology 86, 1445-1457*
27. Wilson, G., Elliot, B. and Wood, G (1992). Stretching shorten cycle performance enhancement through flexibility training. *Medicine and Science in Sports and Exercise 24, 116-123*
28. Wilson, G.J., Wood, G.A. and Elliot, B.C (1991). The relationship between stiffness of the musculature and static flexibility: an alternative explanation for the occurrence of muscular injury. *International Journal of Sports Medicine 12, 403-407*
29. Young, W., Pryor, J.F. and Wilson, G (1995). Effect of instructions on characteristics of countermovement jump and drop jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research 99, 232-236*
30. Young, W.B. and Behm, D.G (2003). Effects of running, static stretching and practice jumps on explosive force production and jumping performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 34, 119-124*
31. Young, W.B., MacDonald, C. and Flowers, M.A (2001). Validity of double- and single-leg vertical jumps as tests of leg extensor muscle function. *Journal Strength and Conditioning Research 15, 6-11*

Cita Original

Behm David G., Erin E. Bradbury, Allison T. Haynes, Joanne N. Hodder, Allison M. Leonard and Natasha R. Paddock. Flexibility is Not Related to Stretch-Induced Deficits in Force or Power. Journal of Sports Science and Medicine, 5, 33-42, 2006.