

ORIGINAL

El salto vertical tras un estiramiento estático pasivo de los músculos flexores de la rodilla

Leonardo Mendes Leal de Souza^a, Gabriel Andrade Paz^{a,b,*}, Isabella Luiza Eloi^b, Rodrigo Dias^b, Marianna de Freitas Maia^{a,b}, Humberto Miranda^a, Vicente Pinheiro Lima^b

^aEscola de Educação Física e Desportos - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^bLaboratório de Biodinâmica do Exercício, Saúde e Performance - Universidade Castelo Branco, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Recibido el 1 de marzo de 2016; aceptado el 10 de mayo de 2016

PALABRAS CLAVE

Rendimiento;
Salto vertical;
Estiramientos;
Isquiotibiales

Resumen

Objetivo: El objetivo de este estudio fue investigar el efecto agudo del estiramiento estático pasivo (EEP) aplicado a los músculos flexores de la rodilla en el rendimiento del salto vertical (SV).

Material y métodos: Diez hombres y 10 mujeres con experiencia previa en entrenamiento de resistencia (ER) participaron voluntariamente. Los sujetos realizaron 2 protocolos: uno tradicional (TRAD), que incluía SV sin EEP, y un protocolo EEP con SV inmediatamente después del estiramiento.

Resultados: Se observaron diferencias significativas en el rendimiento del SV con EEP ($53,6 \pm 8,5$ cm) en comparación con el TRAD ($47,9 \pm 13,1$ cm) en el grupo de mujeres. También se observaron diferencias significativas en el grupo de hombres con EEP ($58,4 \pm 12,3$) versus el TRAD ($51,4 \pm 9,6$) ($p = 0,001$).

Conclusiones: Estos resultados sugieren que el EEP aplicado solo a los flexores de la rodilla puede ejercer un efecto agudo aumentando el rendimiento del SV en hombres y mujeres con experiencia previa en entrenamiento de resistencia.

© 2016 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Performance;
Vertical jump;
Stretching;
Hamstring

Vertical jump performance after passive static stretching of knee flexors muscles

Abstract

Objective: The purpose of this study was to investigate the acute effects of passive static stretching (PSS) applied on hamstring muscles on vertical jump height (VJ) performance.

Materials and methods: Ten men and 10 women with previous experience in resistance training were volunteers, and performed two protocols on non-consecutive days:

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: gabriel.andrade.paz@gmail.com (G.A. Paz).

traditional protocol (TRAD) including VJ without previous PSS, and a PSS protocol, with VJ immediately after stretching.

Results: Significant differences were observed in VJ performance with PSS (53.6 ± 8.5 cm) when compared to TRAD (47.9 ± 13.1 cm) for the women's group ($P = .021$). Significant differences were also observed in the men's group with PSS (58.4 ± 12.3) versus TRAD (51.4 ± 9.6) protocol ($P = 0.001$).

Conclusion: These results suggest that PSS applied only on hamstring muscles may have an acute effect on increasing the VJ performance for both men and women with previous experience in resistance training.

© 2016 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Personas aparentemente sanas y deportistas realizan ejercicios de estiramiento con el objetivo de aumentar o mantener el rango de movimiento articular y mejorar el rendimiento deportivo, respectivamente^{1,2}. Por otro lado, se pueden utilizar como parte del ejercicio de calentamiento previo a las actividades deportivas³ y programas de rehabilitación^{4,5}.

Hay varios tipos de métodos de entrenamiento de la flexibilidad, tales como el estiramiento estático, que se utiliza para alcanzar los beneficios mencionados anteriormente³. A pesar de las ventajas del estiramiento, hay varios estudios que indican que la realización de estiramientos antes de los ejercicios de resistencia puede reducir significativamente la torsión, el rendimiento de fuerza^{6,7}, la potencia de salida^{8,9} y la agilidad¹⁰.

Independientemente del mecanismo de producción de fuerza, la potencia muscular se caracteriza por varias tareas llevadas a cabo en el campo del deporte. Uno de los movimientos realizados frecuentemente en programas de entrenamiento y evaluación de la fuerza muscular es el salto vertical (SV). En relación con el entrenamiento simultáneo entre flexibilidad y fuerza muscular, todavía no existe consenso sobre el efecto del estiramiento antes del entrenamiento de fuerza. Bradley et al.¹¹ observaron una reducción significativa en el rendimiento del SV después de un estiramiento estático pasivo (EEP) aplicado a los cuádriceps, isquiotibiales y músculos flexores del tobillo. Sin embargo, Sandberg et al.¹² encontraron una mejora significativa del rendimiento del SV después de aplicar EEP a los flexores de la cadera y a los músculos dorsiflexores del tobillo, al compararlo con un protocolo sin estirar. Además, otros estudios han observado que no parece que la aplicación crónica de EEP tenga un efecto negativo en el rendimiento del SV^{13,14}.

Además de estos resultados controvertidos, hasta la fecha, existe una laguna en las evidencias del rendimiento del SV seguido de EEP, solo aceptado para los músculos flexores de la rodilla (FR). Los músculos FR tienen una función importante durante el SV, debido al papel sinérgico de los músculos cuádriceps y gastrocnemio, que se consideran responsables de la mejora de la estabilización de la articulación durante la flexión-extensión de la rodilla, y también de mejorar el almacenaje de la energía elástica¹⁵. Además, los

FR juegan un papel importante durante la tarea de saltar con el fin de ayudar a la estabilización del ligamento cruzado anterior y también evitar el desplazamiento del músculo tibial anterior¹⁶.

Por otra parte, evidencias relacionadas con los efectos potenciales del EEP implementadas con el objetivo de mejorar el rendimiento del SV pueden ayudar a los entrenadores y profesionales de la preparación física en la prescripción de entrenamiento de fuerza de los músculos de las extremidades inferiores. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue investigar el efecto agudo del EEP aplicado a los músculos FR sobre el rendimiento del SV de hombres y mujeres entrenados de forma recreativa. Nuestra hipótesis es que un volumen menor de EEP aplicado a los músculos FR puede aumentar el ciclo de estiramiento-acortamiento (es decir, el almacenamiento de energía elástica) durante la fase excéntrica y, en consecuencia, mejorar el rendimiento del SV.

Material y métodos

Participantes

El estudio estuvo compuesto por 10 hombres y 10 mujeres voluntarios con experiencia previa en entrenamiento de resistencia. Se adoptaron los siguientes criterios de inclusión: a) practicantes de entrenamiento de resistencia (ER) durante al menos 3 años; b) realizar tareas de salto y entrenamiento de fuerza con una frecuencia de 3 veces por semana, y c) llevar a cabo ejercicios de estiramiento al menos durante 3 meses. Los criterios de exclusión fueron: a) responder el cuestionario PAR-Q positivamente; b) presentar cualquier lesión o cirugía osteomioarticular anterior en los miembros inferiores, y c) utilizar cualquier sustancia ergogénica que pudiera influir en el rendimiento de fuerza.

Todos los participantes firmaron un consentimiento informado y el estudio fue debidamente aprobado por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad Castelo Branco con el protocolo número 2012/056 y seguía las directrices del Consejo Nacional de Salud, Resolución 466/12 de experimentos con humanos. Las medidas antropométricas (es decir, la estatura y la masa corporal) se midieron con una balanza digital Filizola TM (Beyond Technology), siguiendo las recomendaciones propuestas por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK).



Figura 1 Estiramiento estático pasivo aplicado a los músculos flexores de la rodilla.

Procedimiento

Antes de cada sesión de prueba se realizó un calentamiento estándar. El calentamiento se aplicó durante 10 min y consistió en correr, esprints cortos y pequeños saltos¹⁷.

Protocolos experimentales

Después del calentamiento se aplicaron 2 protocolos experimentales en 2 días no consecutivos con intervalos de 48 h con un diseño cruzado aleatorizado: a) protocolo tradicional (TRAD): los participantes realizaron el SV sin EEP previo; b) protocolo de EEP: los investigadores aplicaron EEP a los FR seguido inmediatamente de la ejecución de SV.

Estiramiento estático pasivo

La aplicación de EEP a los FR se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones de Herda et al.¹⁸. El sujeto se colocó echado en posición supina, y después el evaluador llevó a cabo la flexión de una cadera, manteniendo la rodilla totalmente extendida hasta llegar a un punto de malestar indicado por el participante. Después, el rango de movimiento de la pierna estirada se mantenía durante 30 s, mientras que la extremidad inferior opuesta se mantenía en posición de reposo en el suelo. El mismo procedimiento se realizó 3 veces, alternando pierna derecha e izquierda (fig. 1). Debido a la gran variabilidad de la flexibilidad del participante no fue posible adoptar un ángulo de flexión de la cadera estándar para el estiramiento.

Test del salto vertical

El sujeto empezó en posición de pie, manteniéndose al lado una superficie graduada con una flexión del hombro derecho de 180° y el codo en extensión hacia la marca que se había registrado para el test de inicio. En segundo lugar, la falange distal del dedo medio de cada sujeto se cubre de yeso para indicar el punto más alto alcanzado en la superficie de la pared. Luego, durante la fase descendente del SV, los sujetos realizaron y mantuvieron la flexión de caderas y rodillas, mientras hacían el movimiento pendular de flexión, extensión e hiperextensión de hombros

(fig. 2A). En la fase ascendente se llevó a cabo la extensión del tobillo, la rodilla y la cadera y, doblando los hombros con el fin de saltar tan alto como fuera posible, tocando con el dedo medio la superficie de la pared marcada (fig. 2B). A lo largo del test no se permitió mover los pies antes del SV y los sujetos recibieron instrucciones de realizar una extensión completa de rodilla durante la fase aérea del salto. Se permitieron 3 intentos con 2 min de intervalo entre ellos. Se registró el valor mayor en centímetros de los 3 intentos.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo con el software SPSS versión 20.0 (Chicago, IL, EE. UU.). El análisis estadístico se llevó a cabo inicialmente utilizando el test de normalidad de Shapiro-Wilk i test de homocedasticidad (criterio de Bartlett). Todas las variables mostraron una distribución normal y homocedasticidad.

La estadística descriptiva (media y desviación estándar [DE]) de cada variable dependiente se calculó y presentó. El coeficiente de correlación intraclass (CCI = $(MS_b - MS_w) / [MS_b + (k - 1) MS_w]$), donde MS_b = media cuadrática entre, MS_w = media cuadrática dentro de, y k = tamaño medio del grupo, se calculó para determinar la reproducibilidad entre sujetos en cada medida. Se utilizó la prueba t de muestras pareadas para determinar las diferencias significativas entre los protocolos. El tamaño del efecto también se calculó siguiendo las recomendaciones Rhea¹⁹. Se adoptó el valor $p \leq 0,05$ para todo el análisis inferencial.

Resultados

El CCI de SV mide un intervalo aproximado de 0,91 y 0,93 entre ambos protocolos. La tabla 1 presenta las características de los participantes como edad, estatura, masa corporal total e índice de masa corporal. No se observaron diferencias inter e intragrupo en las variables antropométricas ($p \leq 0,05$). La mediana y la desviación estándar de la altura máxima alcanzada por los voluntarios en el SV se presentan en la tabla 2. En el grupo de hombres, hubo un incremento significativo en el rendimiento del SV sometido a EEP (13,6%) comparado con el protocolo TRAD ($p = 0,001$). En el grupo de mujeres ($p = 0,021$) se observaron resultados similares con EEP (11,9%) comparado con TRAD. El tamaño del efecto fue clasificado como pequeño en ambos grupos.

Discusión

El propósito del presente estudio fue investigar el efecto agudo del EEP aplicado a los músculos de la rodilla en la ejecución del SV entre hombres y mujeres con experiencia previa en ER. El principal hallazgo de esta investigación fue el incremento significativo del rendimiento del SV tras aplicar EEP a los músculos isquiotibiales, comparado con el protocolo sin estiramiento muscular en ambos grupos, hombres y mujeres. Este hallazgo sugiere que EEP con un bajo volumen aplicado solo a los músculos FR puede mejorar el rendimiento del SV.



Figura 2 Protocolo del salto vertical. A) La figura muestra la posición inicial del cuerpo antes del salto. B) En la fase final del salto los participantes tocaban con el dedo medio la superficie de la pared marcada. Los participantes habían recibido instrucciones para que utilizaran libremente los brazos durante el salto para permitirles tocar el equipo de medición.

Tabla 1 Características de los participantes

Grupo	Edad (años)	Estatura (cm)	Masa corporal total (kg)	IMC (kg/m ²)
Mujeres (n = 10)	27 ± 3,8	168 ± 4,1	56,2 ± 4,5	24,7 ± 3,8
Hombres (n = 10)	27 ± 3,9	175 ± 6,9	75,2 ± 7,8	25,6 ± 4

IMC: índice de masa corporal.

Tabla 2 Rendimiento del salto vertical entre protocolos experimentales en grupos de hombres y mujeres

Grupo	TRAD (cm)	EEP (cm)	Δ%	Tamaño del efecto	p
Mujeres (n = 10)	47,9 ± 13,1	53,6 ± 8,5*	11,9%	0,43	0,021
Hombres (n = 10)	51,4 ± 9,6	58,4 ± 12,3*	13,6%	0,72	0,001

EEP: protocolo de estiramiento estático pasivo aplicado a los músculos flexores de la rodilla antes del SV; SV: salto vertical; TRAD: SV sin estiramiento estático.

* Diferencia estadísticamente significativa de la condición TRAD ($p \leq 0,05$).

El SV está considerado un movimiento multiarticular que implica a distintos grupos de músculos; además de otros músculos, los extensores de la rodilla, como los extensores

de la cadera y los flexores plantares, también están involucrados directamente en su ejecución. En este sentido, Sandberg et al.¹² verificaron la implicación de estos otros

músculos en la ejecución del SV. A través de la aplicación de EEP a los flexores de la cadera y extensores de tobillo, músculos considerados antagonistas de los extensores de la cadera y los flexores plantares, respectivamente, los autores observaron una mejora significativa en el rendimiento del SV después del protocolo EEP, en comparación con el protocolo sin estirar. Sin embargo, hay varios músculos implicados en el cometido del SV, y nuestros resultados proponen presentar la respuesta inducida por la implementación de EEP aplicado solo a los músculos isquiotibiales y su influencia en el rendimiento del SV.

Por otra parte, algunos estudios han observado efectos perjudiciales del EEP sobre el rendimiento de fuerza y potencia cuando el estiramiento se aplica a los músculos agonistas (es decir, los músculos objetivo), tanto en hombres como en mujeres^{6,20}. Bradley et al.¹¹ investigaron el efecto de EEP, estiramiento balístico y facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) aplicada a los cuádriceps, isquiotibiales y extensores de tobillo en el rendimiento de SV inmediatamente después del estiramiento y durante intervalos de 5, 15, 30, 45 y 60 min. Los autores encontraron una reducción significativa del rendimiento de SV hasta 15 min después de realizar EEP. A pesar de este hallazgo controvertido, algunas diferencias metodológicas, como los músculos implicados en el estiramiento, pueden justificar estas distintas evidencias. En Bradley et al.¹¹, además de estar involucrado el músculo cuádriceps, que es considerado uno de los agonistas del movimiento, se realizaron un total de 10 min de 5 ejercicios de estiramientos en 2 series de 30 s en ambas piernas; sin embargo, en el presente estudio se aplicaron solo 3 series de 30 s únicamente a los FR.

Además, el contraste entre las variables metodológicas de prescripción, tales como el volumen y la duración de cada serie de estiramientos, puede influir en las respuestas agudas inducidas en una tarea específica. Estas influencias fueron observadas en estudios anteriores, como demostraron Power et al.²¹, quienes observaron una reducción de la torsión y de la fuerza isométrica de los extensores de la rodilla tras un EEP aplicado a los cuádriceps, a los isquiotibiales y a los extensores del tobillo, durante un protocolo compuesto por tres series de 45 s con un intervalo de 15 s. Sin embargo, los autores no encontraron diferencias significativas en el rendimiento del SV. Por otra parte, Franco et al.⁸ investigaron el efecto de diferentes volúmenes de EEP y FNP aplicados al tríceps braquial antes de la realización del ejercicio de press de banca. Los autores observaron que una serie de 40 s de EEP redujo significativamente el número de repeticiones realizadas en comparación con el protocolo sin EEP. En este contexto, los estudios que no indican efectos nocivos de EEP sobre el rendimiento del SV a menudo se aplican a un volumen relativamente bajo de EEP, similar a los procedimientos adoptados en el presente estudio. Esta evidencia sugiere que el volumen, la serie y los músculos implicados en el estiramiento pueden ser factores determinantes para inducir un efecto perjudicial del rendimiento de la potencia muscular.

Deberían tenerse en cuenta los aspectos biomecánicos y neuronales inducidos por los ejercicios de estiramiento que afectan al SV con el objetivo de comprender mejor las posibles estrategias que podrían aplicarse para mejorar su realización. El estiramiento estático implica algunas adaptacio-

nes mecánicas dentro del músculo que alteran propiedades de los elementos del tejido conectivo, que ocasiona una reducción de la rigidez y, por consiguiente, la tensión pasiva²². Estos mecanismos implicados probablemente modificarían la retroalimentación neuromuscular que daría lugar a una disminución de la activación y de la capacidad de generación de fuerza muscular²³. Además, aunque la función principal de los FR como estabilizadores de la articulación durante la ejecución de la flexión-extensión de la rodilla^{15,16} solo tiene un papel secundario para impulsar el cuerpo en posición vertical²⁴, de ese modo una posible reducción de su rendimiento causado por el estiramiento fue suficiente para dar lugar a un aumento del rendimiento de su antagonista, los extensores de la rodilla, ya que junto con el glúteo mayor son los principales responsables de producir la aceleración angular y, por lo tanto, llegar a alturas más altas durante el salto²⁵.

Teniendo en cuenta que los distintos niveles de la flexibilidad del individuo podrían dar como resultado diferentes respuestas neuromusculares después del estiramiento²⁶, una de las limitaciones del presente estudio es que no se midieron los niveles basales de flexibilidad antes de los protocolos experimentales. Además, los estudios futuros deberían considerar el uso del electromiograma de superficie para evaluar el patrón de activación muscular durante el SV, e investigar el efecto de diferentes volúmenes de EEP en los FR y, en consecuencia, su rendimiento en el SV. Por lo tanto, debería investigarse la comparación entre los diferentes grupos musculares en respuesta a la aplicación de EEP antes de las pruebas de fuerza muscular. Sin embargo, el presente estudio adoptó procedimientos que podrían implementarse fácilmente en campos deportivos, y se verificó que el EEP simple aplicado a los FR mejora el rendimiento del SV. En este contexto, teniendo en cuenta que la mayoría de los atletas han estado llevando a cabo el SV en sus programas de ER, estos hallazgos pueden ayudar a los profesionales del deporte en la prescripción de ejercicios de estiramiento y fuerza muscular en la misma sesión de entrenamiento, con el objetivo de mejorar los resultados del rendimiento deportivo.

Conclusión

En conclusión, los resultados de este estudio sugieren que el EEP aplicado a los músculos FR con una duración total de 90 s (3 series de 30 s) a cada extremidad es suficiente para mejorar significativamente el rendimiento de SV, tanto en mujeres como en hombres con experiencia previa en ER. Estos hallazgos indican que solo se puede aplicar un menor volumen de EEP a los músculos FR antes del SV, mejorando así el rendimiento muscular durante este movimiento específico y, consecuentemente, optimizando los resultados del entrenamiento. Por lo tanto, los estudios futuros podrían investigar el efecto de variar el volumen de EEP y de los grupos de músculos, y si aplicado a otros tipos de estiramiento daría lugar a un aumento del rendimiento del salto.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses

Bibliografia

1. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. American College of Sports Medicine position statement: Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1334-59.
2. Kokkonen J, Nelson AG, Eldredge C, Winchester JB. Chronic static stretching improves exercise performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:1825-31.
3. Fradkin AJ, Gabbe BJ, Cameron PA. Does warming up prevent injury in sport? The evidence from randomized controlled trials. *J Sci Med Sport.* 2006;3:214-20.
4. Kamonsek DH, Gonçalves GA, Yi LC, Júnior IL. Effect of stretching with and without muscle strengthening exercises for the foot and hip in patients with plantar fasciitis: A randomized controlled single-blind clinical trial. *Man Ther.* 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.math.2015.10.006>
5. Wilk KE, Hooks TR. Rehabilitation of the throwing athlete: Where we are in 2014. *Clin Sports Med.* 2015;34:247-61.
6. Cramer JT, Housh TJ, Johnson GO, Miller JM, Coburn JW, Beck TW. Acute effects of static stretching on peak torque in women. *J Strength Cond Res.* 2004;18:236-41.
7. Costa PB, Ryan ED, Herda TJ, Walter AA, Defreitas JM, Stout JR, et al. Acute effects of static stretching on peak torque and the hamstrings-to-quadriceps conventional and functional ratios. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23:38-45.
8. Franco BL, Signorelli GR, Trajano GS, de Oliveira CG. Acute effects of different stretching exercises on muscular endurance. *J Strength Cond Res.* 2008;22:1832-7.
9. Nelson AG, Kokkonen J, Arnall DA. Acute muscle stretching inhibits muscle strength endurance performance. *J Strength Cond Res.* 2005;19:338-43.
10. McMillian DJ, Moore JH, Hatler BS, Taylor DC. Dynamic vs. static-stretching warm up: The effect on power and agility performance. *J Strength Cond Res.* 2006;20:492-9.
11. Bradley PS, Olsen PD, Portas MD. The effect of static, ballistic and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on vertical jump performance. *J Strength Cond Res.* 2007;21:223-6.
12. Sandberg JB, Wagner DR, Willardson JM, Smith GA. Acute effects of antagonist stretching on jump height, torque and electromyography of agonist musculature. *J Strength Cond Res.* 2012;26:1249-56.
13. Woolstenhulme MT, Griffiths CM, Woolstenhulme EM, Parcell AC. Ballistic stretching increases flexibility and acute vertical jump height when combined with basketball activity. *J Strength Cond Res.* 2006;20:799-803.
14. Bazett-Jones DM, Gibson MH, McBride JM. Sprint and vertical jump performances are not affected by six weeks of static hamstring stretching. *J Strength Cond Res.* 2008;22:25-31.
15. Escamilla R. Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:127-41.
16. Draganich LF, Jaeger RJ, Kralj AR. Coactivation of the hamstrings and quadriceps during extension of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1989;71:1075-81.
17. Marcelino PB, Meirelles CLS, Melo SG, Soares YM. Vertical jump in young basketball players: Estimation of the elastic energy/reflex potentiation and arm swing contribution. *Rev Mackenzie Educ Fis Esporte.* 2012;11:129-39.
18. Herda TJ, Cramer JT, Ryan ED, McHugh MP, Stout JR. Acute effects of static versus dynamic stretching on isometric peak torque, electromyography, and mechanomyography of the biceps femoris muscle. *J Strength Cond Res.* 2008;22:809-17.
19. Rhea M. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res.* 2004;18:918-20.
20. Marek SM, Cramer JT, Fincher AL, Massey LL, Dangelmaier SM, Purkayastha S, et al. Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *J Athl Train.* 2005;40:94-103.
21. Power K, Behm D, Cahill F, Carroll M, Young W. An acute bout of static stretching: Effects on force and jumping performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:1389-96.
22. Morse CI, Degens H, Seynnes OR, Maganaris CN, Jones DA. The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit. *J Physiol.* 2008;586:97-106.
23. Fowles JR, Sale DG, MacDougall JD. Reduced strength after passive stretch of the human plantar flexors. *J Appl Physiol.* 2000;89:1179-88.
24. Voigt M, Simonsen EB, Dyhre-Poulsen P, Klausen K. Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestretch loads. *J Biomech.* 1995;3:293-307.
25. Pandy MG, Zajac FE. Optimal muscular coordination strategies for jumping. *J Biomech.* 1991;24:1-10.
26. Blazevich AJ, Cannavan D, Waugh CM, Fath F, Miller SC, Kay AD. Neuromuscular factors influencing the maximum stretch limit of the human plantar flexors. *J Appl Physiol.* 2012;113:1446-55.