



TREBALL ORIGINAL

L'execució del salt vertical després d'un estirament estàtic passiu dels músculs flexors del genoll

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 i 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

Rebut l'1 de març de 2016; acceptat el 10 de maig de 2016

PARAULES CLAU

Rendiment,
Salt vertical;
Estiraments;
Isquiotibials

KEYWORDS

Performance;
Vertical jump;
Stretching;
Hamstring

Resum

Objectiu: L'objectiu d'aquest estudi fou investigar l'efecte agut de l'estirament estàtic passiu (EEP) aplicat als músculs isquiotibials en la realització de l'alçada del salt vertical (SV).

Material i mètodes: Deu homes i 10 dones amb experiència prèvia en entrenament de resistència (ER) participaren voluntàriament i realitzaren 2 protocols en dies no consecutius: un tradicional (TRAD) que incloïa SV sense EEP previ i un protocol EEP, amb SV immediatament després de l'estirament.

Resultats: S'observaren diferències significatives en el rendiment del SV amb EEP ($53,6 \pm 8,5$ cm) en comparació amb el TRAD ($47,9 \pm 13,1$ cm) en el grup de dones ($p = 0,021$). També s'observaren diferències significatives en el grup d'homes amb EEP ($58,4 \pm 12,3$) versus el TRAD ($51,4 \pm 9,6$) ($p = 0,001$).

Conclusions: Aquests resultats suggereixen que EEP aplicat només als músculs isquiotibials pot tenir un efecte agut augmentant el rendiment de l'SV en homes i dones amb experiència prèvia en ER.

© 2016 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L.U. Tots els drets reservats.

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 per a correspondència.

Correu electrònic: 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.

Introducció

Persones aparentment sanes i esportistes realitzen exercicis d'estirament amb l'objectiu d'augmentar o mantenir el rang de moviment articular i millorar el rendiment esportiu, respectivament^{1,2}. Per altra banda, es pot utilitzar com a part de l'exercici d'escalfament previ a les activitats esportives³ i programes de rehabilitació^{4,5}.

Hi ha diversos tipus de mètodes d'entrenament de la flexibilitat, tals com l'estirament estàtic, que s'utilitza per assolir els beneficis esmentats abans³. Malgrat els avantatges de l'estirament, hi ha diversos estudis que indiquen que la realització d'estiraments abans dels exercicis de resistència pot reduir significativament la torsió^{6,7}, el rendiment de força^{8,9}, la potència de sortida i l'agilitat¹⁰.

Independentment del mecanisme de producció de força, la potència muscular es caracteritza per diverses accions dutes a terme en el camp de l'esport. Un dels moviments realitzats freqüentment en programes d'entrenament i avaluació de la força muscular és el salt vertical (SV). En relació amb l'entrenament simultani entre flexibilitat i força muscular, encara no hi ha consens sobre l'efecte de l'estirament abans de l'entrenament de força. Bradley et al.¹¹ observaren una reducció significativa en el rendiment de l'SV després d'un estirament estàtic passiu (EEP) aplicat als quàdriceps, isquiotibials i músculs flexors del turmell. Tanmateix, Sandberg et al.¹² constataren una millora significativa del rendiment de l'SV després d'aplicar EEP als flexors del maluc i als músculs dorsiflexors del turmell, en comparar-lo amb un protocol sense estirar. A més, altres estudis han observat que sembla que l'aplicació crònica d'EEP no té un efecte negatiu en el rendiment de l'SV^{13,14}.

A més d'aquests resultats controvertits, fins ara, hi ha una manca d'evidències del rendiment subseqüent de l'SV seguit d'EEP, només acceptat per als músculs flexors del genoll (FG). Els músculs FG tenen una funció important durant l'SV, degut al paper sinèrgic dels músculs quàdriceps i gastrocnemi, que es consideren responsables de la millora de l'estabilització de l'articulació durant la flexió-extensió del genoll, i també de millorar l'emmagatzematge de l'energia elàstica¹⁵. A més, els FG juguen un paper important durant l'acció de saltar perquè ajuden a estabilitzar el lligament encreuat anterior i també eviten el desplaçament del múscul tibial anterior¹⁶.

D'altra banda, evidències relacionades amb els efectes potencials de l'EEP implementades amb l'objectiu de millorar el rendiment de l'SV poden ajudar els entrenadors i professionals de la preparació física en la prescripció d'entrenament de força dels músculs de les extremitats inferiors. Per tant, el propòsit d'aquest estudi fou investigar l'efecte agut de l'EEP aplicat als músculs FG sobre el rendiment de l'SV d'homes i dones entrenats de forma recreativa. La nostra hipòtesi és que un volum menor d'EEP aplicat als músculs FG pot augmentar el cicle d'estirament-escurçament (és a dir, l'emmagatzematge d'energia elàstica) durant la fase excèntrica i, en conseqüència, millorar l'execució de l'SV.

Material i mètodes

Participants

L'estudi estigué compost per 10 homes i 10 dones voluntaris amb experiència prèvia en entrenament de resistència (ER). S'adoptaren els criteris d'inclusió següents: a) practicants d'ER durant almenys 3 anys; b) realitzar tasques de salt i entrenament de força amb una freqüència de 3 vegades per setmana, i c) dur a terme exercicis d'estirament almenys durant 3 mesos. Els criteris d'exclusió foren: a) respondre el qüestionari PAR-Q positivament; b) presentar alguna lesió o cirurgia osteomioarticular anterior dels membres inferiors, i c) utilitzar alguna substància ergogènica que pogués influir en el rendiment de la força.

Tots els participants firmaren un consentiment informat i l'estudi fou degudament aprovat pel Comitè d'ètica d'investigació de la Universitat Castelo Branco amb el protocol número 2012/056 i seguia les directrius del Consell nacional de salut, Resolució 466/12 d'experiments amb humans. Les dades antropomètriques (és a dir, l'estatura i la massa corporal) es mesuraren amb una balança digital Filizola TM (Beyond Technology), i seguien les recomanacions proposades per la Societat Internacional per al Progrés de la Cineantropometria (ISAK).

Procediment

Abans de cada sessió de prova, es realitzà un escalfament estàndard. L'escalfament s'aplicà durant 10 min i consistí en córrer, esprints curts i petits salts¹⁷.



Figura 1 Estirament estàtic passiu aplicat als músculs flexors del genoll.

Protocols experimentals

Després de l'escalfament, s'aplicaren 2 protocols experimentals en 2 dies no consecutius amb intervals de 48 h amb un disseny creuat aleatori: a) protocol tradicional (TRAD): els participants realitzaren l'SV sense EEP previ; b) protocol d'EEP: els investigadors aplicaren EEP als FG seguit immediatament de l'execució de l'SV.

Estirament estàtic passiu

L'aplicació de l'EEP als FG es dué a terme seguint les recomanacions de Herda et al.¹⁸. El subjecte es col·locà ajagut en posició supina, i després l'avaluador li realitzà una flexió de maluc, mantenint el genoll completament estès fins arribar a un punt de malestar indicat pel participant. Després, es mantingué durant 30 s el rang de moviment de la cama estirada, mentre que l'extremitat inferior oposada es mantenia en posició de repòs a terra. Es féu 3 vegades el mateix procediment, alternant les cames dreta i esquerra (fig. 1). Degut a la gran variabilitat de la flexibilitat del participant, no fou possible adoptar un angle de flexió del maluc estàndard per a l'estirament.

Test del salt vertical

El subjecte començà en posició dempeus, i es mantingué a un costat de la superfície graduada amb una flexió de l'espatlla dreta a 180° i el colze en extensió cap a la marca que s'havia registrat per al test inicial. En segon lloc, la falange distal del dit del cor de cada subjecte es cobrí de guix per indicar el punt més alt assolit a la superfície de la paret. Després, durant la fase descendent de l'SV, els subjectes executaren i mantingueren la flexió de malucs i genolls, mentre feien el moviment pendular de flexió, extensió i hiperextensió d'espatlles (fig. 2A). A la fase ascendent, es féu l'extensió del turmell, genoll i maluc, i les espatlles es doblegaren per tal de saltar al més enlaire possible, tocant amb el dit del mig la superfície de la paret marcada (fig. 2B). Al llarg del test, no es permeté moure els peus abans de l'SV i els subjectes reberen instruccions de realitzar una extensió completa de genoll durant la fase de vol del salt. Es permeteren 3 intents amb un interval de 2 min entre

ells. Es registrà el valor més alt en centímetres dels 3 intents.

Anàlisi estadística

L'anàlisi estadística es féu amb el programari SPSS versió 20.0 (Chicago, IL, EUA). L'anàlisi estadística es realitzà inicialment amb el test de normalitat de Shapiro-Wilk, i amb el test d'homocedasticitat (criteri de Bartlett). Totes les variables mostraren una distribució normal i homocedasticitat.

L'estadística descriptiva (mitjana i desviació estàndard [DE]) de cada variable dependent es calculà i presentà. El coeficient de correlació intraclassa ($ICC = (MS_b - MS_w) / [MS_b + (k - 1) MS_w]$) en què MS_b = mitjana quadràtica entre, MS_w = mitjana quadràtica dins de, i k = mitjana de la grandària del grup, es calculà per determinar la reproductibilitat entre subjectes en cada mesura. S'utilitzà el test t de mostres aparellades per determinar les diferències significatives entre protocols. La grandària de l'efecte també es calculà seguint les recomanacions Rhea¹⁹. S'adoptà el valor $p \leq 0,05$ per totes les anàlisis inferencials.

Resultats

L'ICC d'SV mesurà un interval aproximat de 0,91 i 0,93 entre ambdós protocols. La taula 1 presenta les característiques dels participants com edat, estatura, massa corporal total i índex de massa corporal. No s'observaren diferències inter i intragrup en les variables antropomètriques ($p \leq 0,05$). La mitjana i la desviació estàndard de l'alçada màxima assolida pels voluntaris en l'SV es presenten a la taula 2. En el grup d'homes hi hagué un increment significatiu del rendiment de l'SV sotmès a EEP (13,6%) comparat amb el protocol TRAD ($p = 0,001$). En el grup de dones ($p = 0,021$) s'observaren resultats similars amb EEP (11,9%) comparat amb TRAD. La grandària de l'efecte fou classificada com a petita en ambdós grups.

Discussió

El propòsit d'aquest estudi fou investigar l'efecte agut de l'EEP administrat als músculs del genoll en l'execució de l'SV entre homes i dones amb experiència prèvia en ER. La troballa principal d'aquesta investigació fou l'increment significatiu del rendiment de l'SV després d'aplicar EEP als músculs isquiotibials, comparat amb el protocol sense estirament muscular en ambdós grups, homes i dones. Aquesta troballa suggereix que EEP amb un volum més baix aplicat només als músculs FG pot millorar el rendiment de l'SV.

L'SV està considerat un moviment multiarticular que implica diferents grups musculars; a més d'altres músculs, els extensors del genoll, com els extensors del maluc i els flexors plantars, també estan involucrats directament en la seva execució. En aquest sentit, Sandberg et al.¹² verificaren la implicació d'aquests altres músculs en l'execució de l'SV. A través de l'aplicació d'EEP als flexors del maluc i extensors de turmell, músculs considerats antagonistes dels extensors del maluc i dels flexors plantars, respectivament, els autors observaren una millora significativa en el rendi-

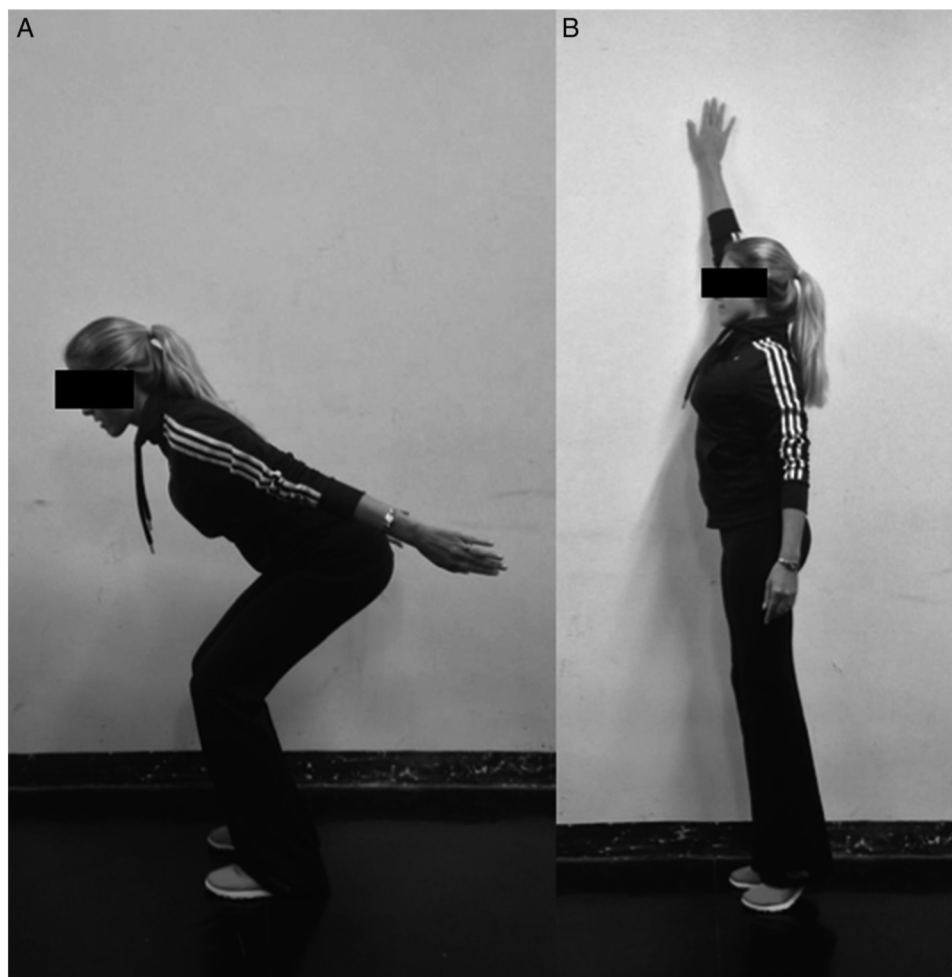


Figura 2 Protocol del salt vertical. A) La figura mostra la posició inicial del cos abans del salt. B) A la fase final del salt els participants toquen amb el dit del mig la superfície de la paret marcada. Els participants reberen instruccions d'utilitzar lliurement els braços durant el salt per permetre'ls tocar l'aparell de mesura.

Taula 1 Característiques dels participants

Grup	Edat (anys)	Estatuta (cm)	Massa corporal total (kg)	IMC (kg/m ²)
Dones (n = 10)	27 ± 3,8	168 ± 4,1	56,2 ± 4,5	24,7 ± 3,8
Homes (n = 10)	27 ± 3,9	175 ± 6,9	75,2 ± 7,8	25,6 ± 4

IMC: índex de massa corporal.

Taula 2 Rendiment del salt vertical entre protocols experimentals en grups d'homes i dones

Grup	TRAD (cm)	EEP (cm)	Δ%	Grandària de l'efecte	p
Dones (n = 10)	47,9 ± 13,1	53,6 ± 8,5*	11,9%	0,43	0,021
Homes (n = 10)	51,4 ± 9,6	58,4 ± 12,3*	13,6%	0,72	0,001

EEP: protocol d'estirament estàtic passiu aplicat als músculs flexors del genoll abans de l'SV; SV: salt vertical; TRAD: SV sense estirament estàtic.

* Diferència estadísticament significativa de la condició TRAD ($p \leq 0,05$).

ment de l'SV després del protocol EEP, en comparació amb el protocol sense estirar. Tanmateix, hi ha diversos músculs implicats en la missió de l'SV, i els nostres resultats propo-

sen presentar la resposta induïda per la implementació d'EEP aplicada només als músculs isquiotibials i la seva influència en el rendiment de l'SV.

Per altra banda, alguns estudis han observat efectes perjudicials de l'EEP sobre el rendiment de força i potència quan l'estirament s'aplica als músculs agonistes (és a dir, els músculs objectiu), tant en homes com en dones^{6,20}. Bradley et al.¹¹ investigaren l'efecte d'EEP, estirament balístic i facilitació neuromuscular propioceptiva (FNP) aplicada als quàdriceps, isquiotibials i extensors de turmell en l'execució de l'SV immediatament després de l'estirament i durant intervals de 5, 15, 30, 45 i 60 min. Els autors trobaren una reducció significativa del rendiment d'SV fins a 15 min després de realitzar l'EEP. Malgrat aquesta troballa controvertida, certes diferències metodològiques, com els músculs implicats en l'estirament, poden justificar aquestes diferents evidències. A Bradley et al.¹¹, a més d'estar involucrat el múscul quàdriceps, que és considerat un dels agonistes del moviment, es realitzaren un total de 10 min de 5 exercicis d'estiraments, en 2 sèries de 30 s a ambdues cames; això no obstant, aquest estudi aplicà només 3 sèries de 30 s únicament als FG.

A més, el contrast entre les variables metodològiques de prescripció, com el volum i la durada de cada sèrie d'estiraments, pot influir en les respostes agudes induïdes en una tasca específica. Aquestes influències foren observades en estudis anteriors, com demostraren Power et al.²¹, que observaren una reducció de la torsió i de la força isomètrica dels extensors del genoll després d'un EEP aplicat als quàdriceps, als isquiotibials i als extensors del turmell, durant un protocol compost per 3 sèries de 45 s amb un interval de 15 s. Tanmateix, els autors no trobaren diferències significatives en el rendiment de l'SV. D'altra banda, Franco et al.⁸ investigaren l'efecte de diferents volums d'EEP i FNP aplicats al tríceps braquial abans de la realització de l'exercici de pressió sobre banc. Els autors observaren que una sèrie de 40 s d'EEP reduí significativament el nombre de repeticions realitzades en comparació amb el protocol sense EEP. En aquest context, els estudis que no indiquen efectes nocius d'EEP sobre el rendiment SV sovint s'apliquen a un volum relativament baix d'EEP, similar als procediments adoptats al present estudi. Aquesta evidència suggereix que el volum, la sèrie i els músculs implicats en l'estirament poden ser factors determinants per induir un efecte perjudicial del rendiment de la potència muscular.

Caldria tenir en compte els aspectes biomecànics i neuronals induïts pels exercicis d'estirament que afecten l'SV, amb l'objectiu de comprendre millor les possibles estratègies que podrien aplicar-se per millorar-lo. L'estirament estàtic implica certes adaptacions mecàniques dins el múscul, que alteren propietats dels elements del teixit connectiu, que ocasiona una reducció de la rigidesa i, conseqüentment, la tensió passiva²². Aquests mecanismes implicats probablement modificarien la retroalimentació neuromuscular que originaria una disminució de l'activació i de la capacitat de generació de força muscular²³. A més, malgrat que la funció principal FG com a estabilitzador de l'articulació durant l'execució de la flexió-extensió del genoll^{15,16} només té un paper secundari per impulsar el cos en posició vertical²⁴, així una possible reducció del seu rendiment causada per l'estirament fou suficient per originar un augment del rendiment del seu antagonista, els extensors del genoll, ja que juntament amb el gluti major són els responsables principals de produir l'acceleració angular i, per tant, d'arribar a una alçada superior durant el salt²⁵.

Tenint en compte que els diferents nivells de la flexibilitat de l'individu podrien provocar diferents respostes neuromusculars després de l'estirament²⁶, una de les limitacions d'aquest estudi és que no es mesuraren els nivells basals de flexibilitat abans dels protocols experimentals. A més, els estudis futurs haurien de considerar l'ús de l'electromiograma de superfície per avaluar el patró d'activació muscular durant l'SV i investigar l'efecte de diferents volums d'EEP en els FG i, en conseqüència, el seu rendiment en l'SV. Per tant, caldria investigar la comparació entre els diferents grups musculars en resposta a l'aplicació d'EEP abans de les proves de força muscular. Tanmateix, aquest estudi adoptà procediments que podrien implementar-se fàcilment en camps esportius, i es constatà que EEP simple aplicat als FG millora el rendiment de l'SV. En aquest context, tenint en compte que la majoria d'atletes han dut a terme l'SV en els seus programes d'ER, aquestes troballes poden ajudar els professionals de l'esport en la prescripció d'exercicis d'estirament i força muscular en la mateixa sessió d'entrenament, amb l'objectiu de millorar els resultats del rendiment esportiu.

Conclusió

En conclusió, els resultats d'aquest estudi suggereixen que EEP aplicat als músculs FR amb una durada total de 90 s (3 sèries de 30 s) a cada extremitat és suficient per millorar significativament el rendiment d'SV, tant en dones com en homes amb experiència prèvia en ER. Aquestes troballes indiquen que només es pot aplicar un volum menor d'EEP als músculs FG abans de l'SV i, d'aquesta manera, millora el rendiment muscular durant aquest moviment específic i, en conseqüència, s'optimitzen els resultats de l'entrenament. Per tant, futurs estudis podrien investigar l'efecte de variar el volum d'EEP, o els grups de músculs, i si aplicat a altres tipus d'estirament originaria un augment del rendiment del salt.

Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos

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. Blazeovich 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.