

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA ACTIVACIÓN NEUROMUSCULAR CORRIENDO DESCALZO Y CALZADO
PRELIMINARY STUDY OF THE NEUROMUSCULAR ACTIVATION DURING BAREFOOT AND SHOD RUNNING

Jimenez-Perez, I.¹, Lucas-Cuevas, A.G.¹, Priego, J.I.^{1,2}, Aparicio, I.¹, Giménez, J.V.¹, Gil, M.¹, Llana-Belloch, S.¹, Pérez-Soriano, P.¹.

¹ Grupo de Investigación en Biomecánica aplicada al Deporte (GIBD), Departamento de Educación Física y Deportiva, Universidad de Valencia, Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport. C/ Gascó Oliag, 3. 46010. Valencia, España.

² Unidad de Biofísica, Departamento de Fisiología, Universidad de Valencia, Facultad de Medicina y Odontología. Avd. Blasco Ibáñez 15. 46010. Valencia, España.

Irene Jiménez Pérez, Graduada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, estudiante de máster de la Universidad de Valencia, irene_jp_92@hotmail.com

Ángel Gabriel Lucas Cuevas, Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, investigador no doctor contratado en la Universidad de Valencia, angel.lucas@uv.es

José Ignacio Priego Quesada, Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, investigador no doctor contratado en la Universidad de Valencia, j.priego.gibd@gmail.com

Inmaculada Aparicio Aparicio, Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Diplomada en Fisioterapia, investigador no doctor contratado y profesora asociada en la Universidad de Valencia, i.aparicio.gibd@gmail.com

José Vicente Giménez Gil, Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, estudiante de doctorado en la Universidad de Valencia, jv.gimenez.gibd@gmail.com

Marina Gil Calvo, Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, estudiante de doctorado en la Universidad de Valencia, m.gil.gibd@gmail.com

Salvador Llana Belloch, Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y profesor titular de la Universidad de Valencia, salvador.llana@uv.es

Pedro Pérez Soriano, Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y profesor titular de la Universidad de Valencia pedro.perez-soriano@uv.es

Código UNESCO: 2406.04 Biomecánica

Clasificación Consejo de Europa: 3. Biomecánica del deporte

Recibido el: 31 de marzo de 2015

Aceptado el: 19 de abril de 2015

Agradecimientos

Agradecer en la realización de este estudio la colaboración del Dr. Juan M. Cortell-Tormo (Universidad de Alicante, Facultad de Educación).

PALABRAS

CLAVE:

Carrera,
Descalzo, Calzado,
Electromiografía,
Fatiga

RESUMEN El objetivo del presente estudio preliminar fue comparar la actividad muscular de los músculos tibial anterior, peroneo lateral largo, gastrocnemio medial y gastrocnemio lateral entre la carrera con y sin calzado, y la influencia de la fatiga. 7 participantes realizaron una carrera de fatiga de 20 minutos al 75% de su velocidad aeróbica máxima en cinta con 1% de pendiente. Se midió la actividad mioeléctrica de los músculos antes mencionados tanto antes como después de la prueba de fatiga en dos condiciones: con calzado y sin calzado. Los resultados mostraron una mayor actividad del tibial anterior durante la carrera en fatiga descalzo respecto a la carrera calzado y una mayor actividad del peroneo lateral largo durante la carrera sin fatiga descalzo. Por otra parte, también se encontró una menor actividad del gastrocnemio medial durante la carrera con zapatillas y en fatiga respecto a la carrera sin fatiga

KEY**WORDS:**

Barefoot running,
Shod running,
Electromyography,
Fatigue,
Running

ABSTRACT

The aim of this preliminary study was to compare the influence of footwear and the fatigue state on the muscle activity of the tibialis anterior, peroneus longus, gastrocnemius medialis and gastrocnemius lateralis. For this purpose, 7 participants ran a 20-min fatiguing run on a treadmill at 1% slope at 75% of their individual maximal aerobic speed. Muscle activation was measured twice during 30 seconds before and after the fatiguing run while running shod and barefoot. Before the fatiguing run, running barefoot led to a greater activation of the peroneus longus compared to running shod. When running fatigued, running barefoot also increased the activation of the tibialis anterior compared to running shod. Moreover, the fatigue state decreased the gastrocnemius medialis activity when running shod.

INTRODUCCIÓN

La carrera es una de las prácticas deportivas que más beneficios a la salud reporta^{1,2}. No es de extrañar que la popularidad y la práctica de esta actividad haya aumentado de forma considerable en todo el mundo en los últimos 30 años^{3,4}. Un ejemplo de ello es la cifra de aproximadamente 30 millones de estadounidenses (10-20% de la población) que practican la carrera de forma recreativa o competitiva^{5,6}.

La carrera es una actividad que no requiere una gran técnica, es relativamente barata, y se puede practicar durante todo el año⁷, lo que puede estar influyendo en su aumento de popularidad en los últimos años. Sin embargo, la práctica de la carrera también lleva asociado un alto índice de lesiones. Se considera que la incidencia anual de lesiones en corredores se encuentra entre el 20 y el 79% de corredores⁸. Debido a esta problemática se han planteado diversas modificaciones en la mecánica y las condiciones de carrera para reducir su índice lesivo⁹. Una de estas recomendaciones ha sido la carrera sin zapatillas⁹.

Desde la popularización del libro *"Born to Run: A Hidden Tribe, Superathletes and the Greatest Race in the World"* de Christopher MacDougall¹⁰ y la publicación del artículo de Lieberman y colaboradores en la revista *Nature: "Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners"*¹¹ que describe que correr descalzo puede disminuir el riesgo de sufrir lesiones, ha surgido

cierta controversia en cuanto a la necesidad de utilizar zapatillas durante la carrera. Prueba de ello es el aumento del número de atletas que ahora corren descalzos y el aumento del número de artículos de investigación en este campo de estudio^{5,11}.

Diferentes estudios han observado una diferente activación muscular entre la carrera con y sin zapatillas y sugieren que estas diferencias podrían jugar un papel relevante en la incidencia de lesiones^{12,13}. Se ha observado que el tibial anterior presenta mayor actividad muscular durante la carrera con zapatillas¹⁴, mientras que parece ser que correr descalzo produce una mayor activación muscular de los músculos gastrocnemio lateral y medial^{15,16}. Sin embargo, estos reclutamientos musculares pueden verse alterados con la fatiga¹⁷, por lo que analizar la actividad neuromuscular durante la carrera con y sin fatiga aportará interesante información sobre el comportamiento neuromuscular de las extremidades inferiores.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio preliminar fue comparar la actividad muscular de los músculos de la parte inferior de la pierna entre la carrera con y sin calzado, además de conocer el efecto de la fatiga en ambas condiciones. Se formularon las hipótesis de que a) la activación muscular del músculo tibial anterior sería mayor durante la carrera calzado; b) la activación muscular de los músculos gastrocnemio medial y lateral sería mayor durante la carrera descalzo; y c) la actividad muscular aumentaría después de la fatiga.

MATERIAL Y MÉTODOS

Participantes

Participaron en el presente estudio preliminar siete corredores populares (n=7), 2 hombres y 5 mujeres, de forma voluntaria. Los participantes debían estar libres de lesiones en los últimos 6 meses y estar habituados a correr distancias largas. La edad media (con su desviación estándar) de la muestra fue de 30.14 (3.67) años; los participantes tenían una altura media de 168.03 (7.47) cm y un peso de 67.44 (9.38) kg; y realizaban una distancia media de entrenamiento semanal de 23.29 (10.03) km/semana. Todos los participantes firmaron su consentimiento informado por escrito antes del inicio del estudio. El estudio fue aprobado previamente por el comité de ética de la Universidad de Valencia (número de procedimiento H1400681273772), de modo que todos los procedimientos descritos en este estudio cumplieron con los requisitos establecidos en la declaración de Helsinki de 1975 y revisada en 2008.

Procedimiento

Antes de iniciarse el estudio, se le realizó a cada participante un test de 5 minutos de carrera a la máxima intensidad posible en una pista de atletismo, para determinar su velocidad aeróbica máxima (VAM) y a partir de ella extraer los porcentajes de ritmo de carrera para las pruebas de laboratorio¹⁸.

La prueba de carrera, que se desarrolló en un laboratorio sobre

una cinta ergométrica (Excite Run 700, TechnoGymSpA, Gambettola, Italia), consistió en una carrera de fatiga de 20 minutos con zapatillas a una intensidad del 75% de la VAM individual y con una pendiente del 1% para simular la carga fisiológica propia de una carrera al aire libre¹⁹. Como calentamiento previo a la prueba de carrera, los participantes realizaron 10 minutos de carrera continua sobre la cinta con 1% de pendiente a una velocidad 2.5 km/h inferior a la velocidad de la prueba de estudio.

Tras el calentamiento y antes de la prueba de fatiga, se realizaron dos mediciones de 30 segundos cada una (calzado pre-fatiga, descalzo pre-fatiga) de la actividad mioeléctrica de los músculos tibial anterior (TA), peroneo lateral largo (PL), gastrocnemio lateral (GL) y gastrocnemio medial (GM) de la pierna derecha a una velocidad correspondiente al 60% de la VAM individual. Tras acabar la prueba de 20 minutos de fatiga, se volvió a realizar dos registros mioeléctricos de 30 segundos de duración (calzado post-fatiga, descalzo post-fatiga). La actividad mioeléctrica se registró mediante un equipo de electromiografía superficial inalámbrico (Mega Electronics Ltd 2010, Kuopio, Finlandia). La intensidad de la actividad mioeléctrica se normalizó como porcentaje de una contracción isométrica voluntaria máxima para cada uno de los músculos analizados.

Tras rasurar, lijar y limpiar con alcohol las zonas de registro electromiográfico, se colocaron los electrodos de superficie siguiendo

los criterios de posicionamiento de electrodos para cada uno de los músculos según recomendaciones de la SENIAM "Surface EMG for

non-invasive assessment of muscles"²⁰(Figura 1).



Figura 1. Instrumentación de los electrodos (izquierda) y ejemplo de un corredor completamente instrumentado (derecha).

El software usado para el tratamiento y la exportación de los datos mioeléctricos fue el MegaWin 3.0 (Mega Electronics Ltd 2010, Kuopio, Finlandia), perteneciente al equipo de electromiografía; mediante el cual se obtuvo el promedio de la RMS que permitió extraer la media y desviación estándar de cada paso registrado. En cada medición de 30 segundos se promediaron 3 pasos, como realizan otros autores en estudios de la pisada en carrera^{21,22}.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico SPSS, versión 17.0. Tras comprobarse la normalidad de la muestra mediante el test de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$), se extrajeron los estadísticos descriptivos de las variables y se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas

(Modelo Lineal General) de 2 factores: modalidad (descalzo y calzado) y fatiga (antes de la fatiga (Pre) y después de ésta (Post)). También se realizó un ajuste de Bonferroni para conocer las comparaciones por pares. El nivel de significación considerado fue de $p < 0.05$.

RESULTADOS

Los resultados muestran diferencias significativas en algunos músculos dependiendo de la modalidad de calzado y el estado de fatiga (Figura 2). En el momento pre o sin fatiga, se observó una mayor actividad del peroneo lateral corriendo descalzo que con calzado ($p = 0.012$). Sin embargo, en el momento post o con fatiga, se observó una mayor actividad muscular del tibial anterior durante la carrera descalzo ($p = 0.048$).

Por otra parte, la fatiga parece tener un efecto significativo sobre la actividad muscular en algunos de los grupos musculares de la pierna durante la carrera (Figura 2). Se

encontró una menor actividad del gastrocnemio medial durante la carrera con zapatillas y en fatiga respecto a la carrera sin fatiga ($p=0.015$).

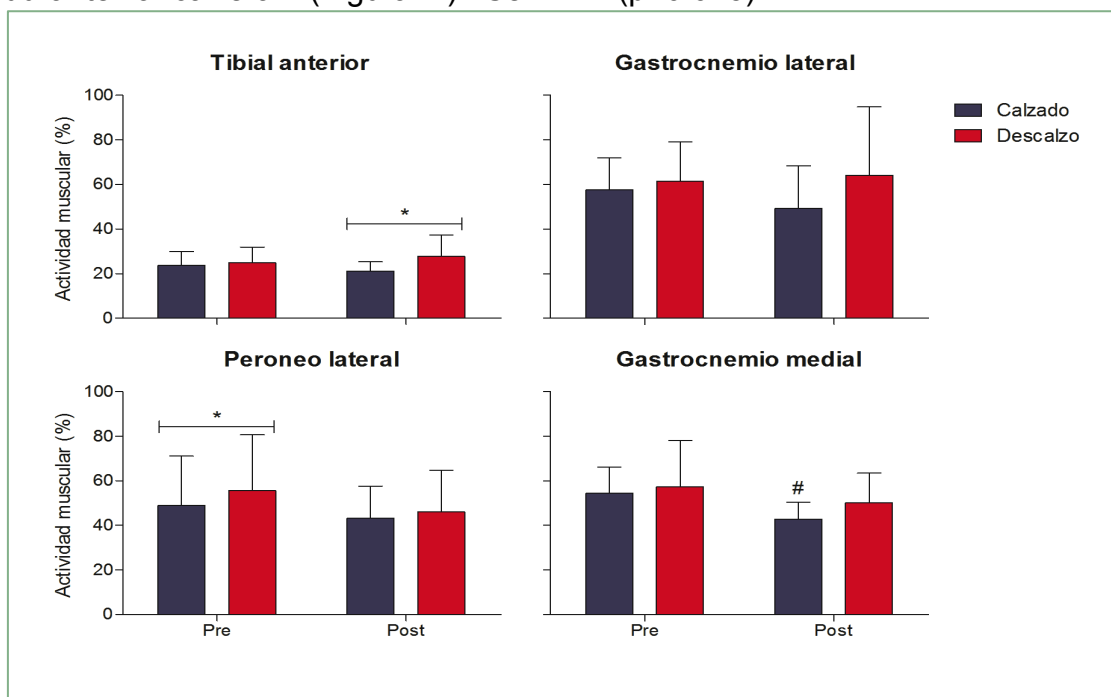


Figura 2. Activación muscular de los 4 músculos evaluados. Diferencias significativas entre las dos condiciones (calzado y descalzo) han sido indicadas con *, y entre los momento (pre y post) en cada una de las condiciones con # sobre la barra del momento post ($p<0.05$).

DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio preliminar fue comparar la activación neuromuscular de la carrera con zapatillas y sin zapatillas, así como determinar la influencia de la fatiga según la modalidad de calzado.

Muchos de los cambios neuromusculares registrados en diferentes estudios entre correr calzado y descalzo son debidos a la modificación del patrón de carrera que se genera en cada una de las condiciones¹⁵. Los diferentes estudios indican de forma general

que correr calzado favorece el patrón de apoyo de retropié y la flexión dorsal asociada a este patrón¹⁴. La función principal del músculo tibial anterior es la flexión dorsal¹⁴. Es por tanto, el responsable de posicionar el pie antes del contacto con el suelo durante un patrón de apoyo de retropié asociado a la carrera con calzado⁹. La propia función mecánica del tibial anterior y su papel en el patrón de carrera de retropié podría explicar su mayor actividad muscular durante la carrera con zapatillas¹⁴.

Por otro lado, correr descalzo favorece que el patrón de carrera cambie a un apoyo de mediopié y antepié a través de una mayor flexión plantar⁹. Puesto que los gastrocnemios son uno de los principales grupos musculares encargados de realizar la flexión plantar de tobillo, parece que la mayor activación muscular de los gastrocnemios durante la carrera descalzo encontrada en estudios previos puede ser explicada por un apoyo más de antepié con una acentuada flexión plantar en el momento de contacto del pie con el suelo^{15,16}.

No obstante, los resultados de este estudio exponen que únicamente se observan diferencias significativas en el tibial anterior durante la carrera en fatiga. Estos resultados contrastan con los resultados de estudios previos¹⁴ y descartan la hipótesis inicial, puesto que la activación muscular del tibial anterior es mayor durante la carrera descalzo en comparación con la carrera con zapatillas. Estos resultados podrían indicar que durante la carrera descalzo los participantes han utilizado un patrón de apoyo de retropié, que en condiciones descalzas puede aumentar el riesgo de lesiones por el incremento del impacto inicial que se produce en cada contacto del pie con el suelo⁹.

Por otro lado, también se observó una mayor activación muscular del peroneo lateral durante la carrera sin fatiga descalzo respecto a la carrera con zapatillas, también sin fatiga. En este sentido, Divert et al. (2005) no observaron diferencias en la actividad muscular del peroneo

lateral entre la carrera calzado y descalzo. Este músculo es la principal estructura anatómica implicada en la estabilidad del tobillo²³, siendo la inestabilidad del pie uno de los factores principales causantes de lesión²⁴. Con la utilización de calzado aumenta la base de sustentación del pie, lo que reporta una mayor estabilidad de tobillo^{9,25}. De esta forma, con el uso de calzado dicho músculo no ha de trabajar tanto, lo que podría explicar la menor actividad del peroneo en la carrera con zapatillas. Y por tanto, este resultado podría señalar que durante la carrera descalzo se hace necesaria una mayor contribución del peroneo para conseguir un apoyo más firme, una mayor estabilización, y reducir la probabilidad de lesión.

Por otra parte, se cree que la fatiga es una de las causas del aumento de la carga dinámica durante la carrera, que es uno de los factores responsables del desarrollo de lesiones²⁶. Es por esto que se ha considerado interesante introducir el factor fatiga en la presente investigación. En este estudio se ha encontrado una menor actividad del gastrocnemio medial durante la carrera con fatiga respecto a la carrera sin fatiga en la carrera con calzado. Este resultado se contradice con la hipótesis formulada inicialmente y con algunos estudios²⁷ que consideran que en condiciones de fatiga la actividad muscular es mayor por la necesidad de reclutar nuevas unidades motoras para mantener la continuidad del ejercicio a la misma intensidad. Así pues, esta menor actividad en fatiga podría deberse a un cambio en la estrategia de

activación muscular durante la fatiga para contrarrestar el agotamiento de los grupos musculares principales.

La limitación principal del presente estudio preliminar es la poca muestra utilizada y por lo tanto el bajo poder estadístico de los resultados, por lo que se sugieren futuros estudios con una muestra mayor que corroboren los resultados obtenidos. Por otro lado, creemos que dichos resultados pueden ser una fuente de partida de hipótesis y discusión de resultados de futuros trabajos. Por último, resaltar la escasez de literatura e investigaciones relacionadas con este campo, por resultar un tema aún bastante novedoso pero en auge, y por tanto manifestar la necesidad de realizar más estudios en esta línea.

CONCLUSIONES

Durante la carrera descalzo y con fatiga el tibial anterior presentó una mayor activación muscular, posiblemente por la utilización de un patrón de apoyo de retropié, muy lesivo en esta modalidad de carrera. Además, la actividad muscular del peroneo lateral fue mayor durante la carrera descalzo y sin fatiga, posiblemente por la necesidad de estabilizar el pie al no contar con el apoyo externo que supone la zapatilla. Por otra parte, la actividad muscular del gastrocnemio medial ha sido menor durante la carrera en fatiga con zapatillas respecto a la carrera sin fatiga, lo que puede ser debido a un cambio de estrategia en la activación muscular.

REFERENCIAS

1. Hespanhol Junior LC, Pena Costa LO, Lopes AD. Previous injuries and some training characteristics predict running-related injuries in recreational runners: a prospective cohort study. *J Physiother.* diciembre de 2013;59(4):263-9.
2. Lohman EB 3rd, Balan Sackiriyas KS, Swen RW. A comparison of the spatiotemporal parameters, kinematics, and biomechanics between shod, unshod, and minimally supported running as compared to walking. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* noviembre de 2011;12(4):151-63.
3. Dinato RC, Ribeiro AP, Butugan MK, Pereira ILR, Onodera AN, Sacco ICN. Biomechanical variables and perception of comfort in running shoes with different cushioning technologies. *J Sci Med Sport.* enero de 2015; 18 (1): 93-7.
4. Van Middelkoop M, Kolkman J, Van Ochten J, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW. Risk factors for lower extremity injuries among male marathon runners. *Scand J Med Sci Sports.* diciembre de 2008;18(6):691-7.
5. Fields KB, Sykes JC, Walker KM, Jackson JC. Prevention of running injuries. *Curr Sports Med Rep.* junio de 2010;9(3):176-82.
6. Novacheck. The biomechanics of running. *Gait Posture.* 1 de enero de 1998;7(1):77-95.
7. Soto, F. & Toledano, J. En forma después de los 50: guía práctica de ejercicio y salud para adultos y mayores. Madrid: Gymnos; 2001. 204 p.
8. Van Gent RN, Siem D, van Middelkoop M, van Os AG, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *Br J Sports Med.* agosto de 2007;41(8):469-80.
9. Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, Daoud AI, D'Andrea S, Davis IS, et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature.* 28 de enero de 2010;463(7280):531-5.
10. Murphy K, Curry EJ, Matzkin EG. Barefoot running: does it prevent injuries? *Sports Med Auckl NZ.* noviembre de 2013;43(11):1131-8.

11. Jungers WL. Biomechanics: Barefoot running strikes back. *Nature*. 28 de enero de 2010;463(7280):433-4.
12. Komi PV, Gollhofer A, Schmidtbleicher D, Frick U. Interaction between man and shoe in running: considerations for a more comprehensive measurement approach. *Int J Sports Med*. junio de 1987;8(3):196-202.
13. Wakeling JM, Pascual SA, Nigg BM. Altering muscle activity in the lower extremities by running with different shoes. *Med Sci Sports Exerc*. septiembre de 2002;34(9):1529-32.
14. Von Tscherner V, Goepfert B, Nigg BM. Changes in EMG signals for the muscle tibialis anterior while running barefoot or with shoes resolved by non-linearly scaled wavelets. *J Biomech*. agosto de 2003;36(8):1169-76.
15. Divert C, Mornieux G, Baur H, Mayer F, Belli A. Mechanical comparison of barefoot and shod running. *Int J Sports Med*. septiembre de 2005;26(7):593-8.
16. Stockton M, Dyson R. A comparison of lower extremity forces, joint angles, and muscle activity during shod and barefoot running. *ISBS - Conf Proc Arch*. 1998;1(1).
17. Konrad P. The abc of emg. *Pract Introd Kinesiol Electromyogr*. 2005.
18. García-Pérez JA, Pérez-Soriano P, Llana Belloch S, Lucas-Cuevas ÁG, Sánchez-Zuriaga D. Effects of treadmill running and fatigue on impact acceleration in distance running. *Sports Biomech*. 3 de julio de 2014;13(3):259-66.
19. Jones AM, Doust JH. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *J Sports Sci*. agosto de 1996;14(4):321-7.
20. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol*. octubre de 2000;10(5):361-74.
21. Ghani Zadeh Hesar N, Van Ginckel A, Cools A, Peersman W, Roosen P, De Clercq D, et al. A prospective study on gait-related intrinsic risk factors for lower leg overuse injuries. *Br J Sports Med*. diciembre de 2009;43(13):1057-61.
22. Willems TM, Witvrouw E, De Cock A, De Clercq D. Gait-related risk factors for exercise-related lower-leg pain during shod running. *Med Sci Sports Exerc*. febrero de 2007;39(2):330-9.
23. Lotito G, Pruvost J, Collado H, Coudreuse J-M, Bensoussan L, Curvale G, et al. Peroneus quartus and functional ankle instability. *Ann Phys Rehabil Med*. julio de 2011;54(5):282-92.
24. Baumhauer JF, Alosa DM, Renström PAFH, Trevino S, Beynon B. A Prospective Study of Ankle Injury Risk Factors. *Am J Sports Med*. 9 de enero de 1995;23(5):564-70.
25. Altman AR, Davis IS. Barefoot running: biomechanics and implications for running injuries. *Curr Sports Med Rep*. octubre de 2012;11(5):244-50.
26. Voloshin, A.S.; Verbitsky, O. & Mizrahi. J. Modification in the shock absorption due to fatigue. *Proc 9th Int Conf on Mechanics in Med and Biology*. Editors, Miklavcic D, Bajd T, Stanic U, Munih M, Ljubljana, Slovenia. 1996; 463-466
27. Potvin JR. Effects of muscle kinematics on surface EMG amplitude and frequency during fatiguing dynamic contractions. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. enero de 1997;82(1):144-51.

Referencias totales citadas: 27

Referencias citadas correspondientes a la Rev Ib CC Act Fis Dep: 0