

INFLUÊNCIA DO GRADIENTE DE INCLINAÇÃO NA PRONAÇÃO SUBTALAR EM CORRIDA SUBMÁXIMA

INFLUENCE OF SLOPE ON SUBTALAR PRONATION IN SUBMAXIMAL RUNNING PERFORMANCE

VINICIUS MACHADO DE OLIVEIRA¹, GUILHERME CESCA DETONI¹, CRISTHIAN FERREIRA¹, BRUNO SERGIO PORTELA¹,
MARCOS ROBERTO QUEIROGA², MARCUS PEIKRISZWILI TARTARUGA^{1,3}

RESUMO

Objetivo: Investigar a influência do gradiente de inclinação na máxima pronação subtalar em velocidade submáxima de corrida. **Métodos:** Dezesesseis corredores de rendimento participaram de um teste de Economia de Corrida (ECO) em esteira rolante composto de quatro gradientes de inclinação (+1%, +5%, +10%, +15%). Para cada gradiente de inclinação foi realizada uma corrida de 4 minutos, sem intervalo entre os mesmos, com propósito de mensurar as magnitudes das variáveis cinemáticas através de uma filmadora de alta frequência, posicionada no plano frontal-posterior do indivíduo. **Resultados:** Não foram verificadas diferenças significativas nos valores de máxima pronação subtalar entre as pernas e entre os gradientes de inclinação adotados, demonstrando que prováveis alterações na técnica de corrida, resultantes das mudanças no gradiente de inclinação, não são capazes de modificar o comportamento da máxima pronação subtalar. **Conclusão:** A pronação subtalar independe do gradiente de inclinação, podendo esta ser influenciada por outras variáveis intervenientes. **Nível de Evidência II, Estudo Diagnóstico.**

Descritores: Pronação. Articulação subtalar. Locomoção. Corrida.

ABSTRACT

Objective: To investigate the slope influence on the maximal subtalar pronation in submaximal running speeds. **Methods:** Sixteen endurance runners participated of a running economy (RE) test in a treadmill with different slopes (+1%, +5%, +10%, +15%). For each slope a 4-minute run was performed with no rest break for the purpose of measuring the magnitude of kinematic variables by means of a high frequency video camera positioned in a frontal-posterior plane of the individual. **Results:** No significant differences were verified in maximal subtalar pronation between legs and between the slopes adopted, showing that changes of running technique due to modifications of slope aren't enough to modify the behavior of maximum subtalar pronation. **Conclusion:** The subtalar pronation is independent of slope, which may be influenced by other intervening variables. **Level of Evidence II, Diagnostic Study.**

Keywords: Pronation. Subtalar joint. Locomotion. Running.

Citação: Oliveira VM, Detoni GC, Ferreira C, Portela BS, Queiroga MR, Tartaruga MP. Influência do gradiente de inclinação na pronação subtalar em corrida submáxima. *Acta Ortop Bras.* [online]. 2013;21(3):163-6. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>.

Citation: Oliveira VM, Detoni GC, Ferreira C, Portela BS, Queiroga MR, Tartaruga MP. Influence of slope on subtalar pronation in submaximal running performance. *Acta Ortop Bras.* [online]. 2013;21(3):163-6. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>.

INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, o estudo da marcha humana tem se difundido consideravelmente entre os diversos centros de pesquisas esportivos.¹ Muitas pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de estudar a relação entre atividade física e lesão, principalmente lesões referente à corrida.^{2,3} Estudos relacionando o comportamento do ângulo da articulação subtalar, especificamente a pronação subtalar, e o tipo de calçado utilizado no transcorrer da corrida, têm tido importância significativa na busca de uma melhor compreensão das lesões referentes ao quadril, joelho, tornozelo e pé.² A pronação subtalar consiste em um mecanismo de absorção de impacto, que age de forma combinada com outros mecanismos

do corpo, diminuindo as tensões sobre algumas estruturas articulares, com um nível de impacto adequado, sem provocar micro traumatismos. Porém a pronação passa a ser patológica quando ultrapassa sua amplitude de movimento articular fisiológico, no qual esse estado é conhecido como hiperpronação, considerada como sendo um valor máximo de pronação subtalar acima de 12 graus, aproximadamente.^{4,5} Está bem difundido na literatura que a pronação da articulação subtalar é resultado de uma associação de movimentos, sendo estes a eversão, a dorsoflexão e a abdução do pé, (Figura 1) que ocorrem nos planos frontal, sagital e transversal.^{6,7} A máxima pronação subtalar, geralmente alcançada entre 20 e 40% do período da fase de suporte, (Figura 2) é influenciada,

Todos os autores declaram não haver nenhum potencial conflito de interesses referente a este artigo.

1. Laboratório de Biomecânica e Ergonomia – UNICENTRO, Guarapuava, PR, Brasil.

2. Laboratório de Fisiologia Experimental e Aplicada a Atividade Física – UNICENTRO, Guarapuava, PR, Brasil.

3. Laboratório de Pesquisa do Exercício – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

Trabalho realizado no Laboratório de Biomecânica e Ergonomia (LABIER) da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), PR, Brasil.

Correspondência: Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná - UNICENTRO - Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 - Bairro Cascavel, 85040-080, Guarapuava, PR, Brasil. oliveira_vm@hotmail.com / mtartaruga@hotmail.com



Figura 1. Pronação excessiva da articulação subtalar.

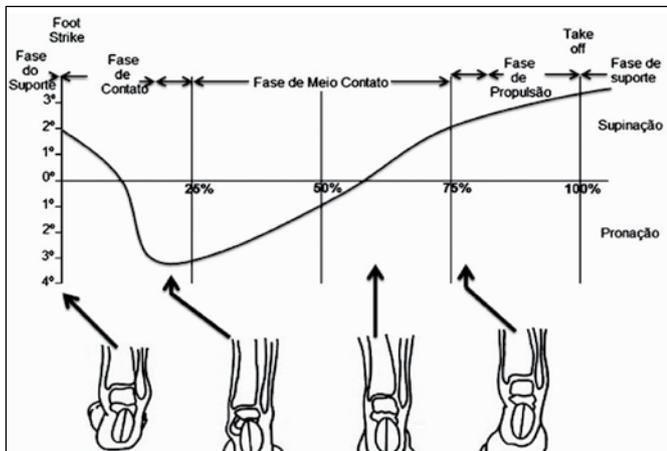


Figura 2. Movimento da parte posterior do pé durante a fase de suporte.

principalmente, pela velocidade linear de corrida, pela intensidade de esforço, pelo desequilíbrio muscular e/ou lassidão ligamentar e pela técnica de corrida imposta pelo corredor.^{3,5}

Diversos estudos têm relacionado a máxima pronação subtalar com a velocidade linear de corrida. Entretanto, alguns estudos têm associado o comportamento desta variável, principalmente, à intensidade de esforço físico.⁸ Segundo Tartaruga et al.⁵ a máxima pronação subtalar apresenta fortes correlações com a economia de corrida (ECO) e, conseqüentemente, com a intensidade de esforço. Entende-se como ECO o consumo submáximo de oxigênio em uma determinada velocidade submáxima de corrida.^{1,9} Tartaruga et al.⁵ verificaram que com o aumento da velocidade linear de corrida (14 kmh⁻¹ para 16 kmh⁻¹ em homens e 11 kmh⁻¹ para 13 kmh⁻¹ em mulheres - velocidades diferentes, mas intensidades semelhantes entre homens e mulheres referentes ao consumo máximo de oxigênio - VO_{2máx}) a máxima pronação subtalar aumentou significativamente de 6,79 para 9,69 graus nos homens e de 5,87 para 9,44 graus nas mulheres, ou seja, aumentos semelhantes para ambos os sexos. Em diversas situações na vida diária, o ser humano depara-se com locais de acesso em plano inclinado, como rampas, aclives e declives de diversos tipos. O sistema musculoesquelético é capaz de detectar e responder prontamente às alterações da superfície, por meio de mudanças no tempo de ativação e na magnitude da atividade neuromuscular. Para manutenção do equilíbrio corporal, tronco, cintura pélvica e membros inferiores se adaptam constantemente através de vários mecanismos, dentre os quais, a projeção do centro de gravidade para frente durante o aclave. Por meio de estudos que avaliaram as adaptações locomotoras ocorridas na transição do plano horizontal para o inclinado sabe-se que diversas alterações posturais são observadas, como flexão aumentada das articulações do quadril, joelho e tornozelo,³ apesar de Scholz et al.¹⁰

acarretarem as mudanças posturais e a ECO a questões relacionadas a adaptações neuromusculares. No plano inclinado é necessário diminuir o período de amortecimento e aumentar o tempo de propulsão. Para isso, ocorre um aumento do tempo de aplicação da força na fase de propulsão, caracterizada pela atividade eletromiográfica aumentada dos músculos gastrocnêmio medial e tibial anterior, que quando co-ativados, promovem maior propulsão e, provavelmente, mudanças no comportamento biomecânico da articulação subtalar.¹¹ Apesar dos estudos desenvolvidos com objetivo de investigar a relação entre pronação subtalar e velocidade de marcha, bem como a relação entre marcha em plano inclinado e lesões musculoesqueléticas, não foram verificados estudos investigando a influência do gradiente de inclinação no comportamento da articulação subtalar. Dessa forma, teve-se por objetivo analisar a influência do gradiente de inclinação na máxima pronação subtalar de corredores de rendimento.

MATERIAL E MÉTODO

A amostra foi composta por 16 corredores, com experiência em corridas de meia e longa distância, selecionados de forma não aleatória, por voluntariedade, isentos de problemas físicos e de tratamento farmacológico. O número amostral, definido com base nos estudos de Tartaruga et al.¹² e Williams & Cavanagh,¹³ foi determinado através do programa *Computer Programs for Epidemiologic Analyses* (PEPI) adotando-se um nível de significância de 0,05 e um poder de 90%. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (N^o 415238) e está de acordo com a declaração de Helsinki de 1995.

Para as coletas de dados utilizou-se uma balança e um estadiômetro (WELMY-110, Santa Bárbara d'Oeste/SP, Brasil), um compasso de dobras cutâneas (CESCORF-científico, Porto Alegre/RS, Brasil), uma fita métrica (STARRETT-510, Itu/SP, Brasil), uma esteira rolante (MOVEMENT-RT250, Pompéia/SP, Brasil) e uma filmadora digital (CASIO-EXFH25, Tóquio, Japão) com frequência de amostragem de 240 Hz. Inicialmente, os indivíduos preencheram a ficha de dados pessoais, a anamnese e assinaram o termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Em seguida, foi realizada a mensuração dos dados de massa corporal, estatura, comprimento de perna e percentual de gordura corporal (%G), com base no protocolo adotado por Siri.¹⁴ Para a realização dessas medidas, os indivíduos estavam descalços e trajando, apenas, um calção. A medida do comprimento de perna, realizada em ambas as pernas, consistiu da distância correspondente entre o trocanter maior do fêmur e o solo. Indivíduos que apresentaram diferenças superiores a 1 centímetro entre as pernas foram desconsiderados do estudo. Todas as medidas foram realizadas por um profissional de Educação Física com experiência em avaliações antropométricas.

Os indivíduos foram submetidos a um teste de máximo esforço progressivo para a determinação do VO_{2máx}¹⁵ para fins de caracterização amostral. Após uma semana foi realizado um teste de ECO composto de quatro corridas de 4 minutos em diferentes gradientes de inclinação, sem intervalos entre estas. Foram fixados 4 pontos reflexíveis em cada perna, (Figura 3) com base nos protocolos adotados por Ferrandis et al.¹⁶ e Tartaruga et al.³ Posteriormente a fase de preparação, a esteira foi ligada e, após 3 minutos de aquecimento (caminhada em velocidade confortável), a velocidade foi aumentada até à velocidade ótima de corrida, que foi auto selecionada por cada indivíduo, e mantida a mesma durante 4 minutos em cada um dos gradientes de inclinação adotados no estudo (+1%, +5%, +10%, +15%). Todos os indivíduos tinham experiência em corrida em esteira rolante. No último minuto de cada gradiente de inclinação era realizada uma filmagem de

10 segundos através do uso da filmadora digital posicionada a 2 metros do plano frontal-posterior da esteira rolante. (Figura 4) Foi solicitado que todos os corredores utilizassem seus próprios calçados de treino, emborrachados e sem pregos, não sendo permitidos calçados esportivos e anti-pronantes.

Para o tratamento de dados foram analisados três ciclos de passadas para cada perna. Os registros cinemáticos foram digitalizados de forma manual e automática através do *software Dvideo* e, posteriormente, utilizados para a determinação dos ângulos máximos da articulação subtalar através de uma rotina desenvolvida no *software MATLAB*. Foram verificadas a normalidade e a homogeneidade dos dados através dos testes de Shapiro-Wilk e Levene. Como os resultados apresentaram comportamentos simétricos, foi realizada a análise descritiva com média e desvio-padrão e aplicado o teste *t* de *Student* para amostras dependentes com o objetivo de comparar os valores médios da máxima pronação subtalar de ambas as pernas. Para a comparação dos valores entre os gradientes de inclinação foi adotado o teste de Análise de Variância (ANOVA) de Medidas Repetidas, com *post-hoc* de *Tukey B*. Para todos os testes estatísticos foi adotado um $\alpha < 0,05$. O pacote estatístico utilizado foi o *Statistical for Social Sciences Software - SPSS*, versão 15.0.

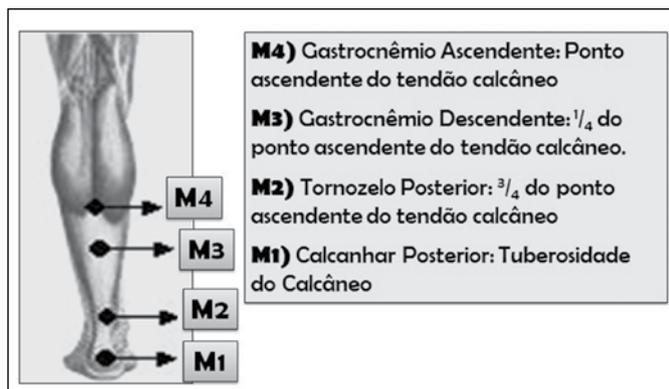


Figura 3. Pontos anatômicos.

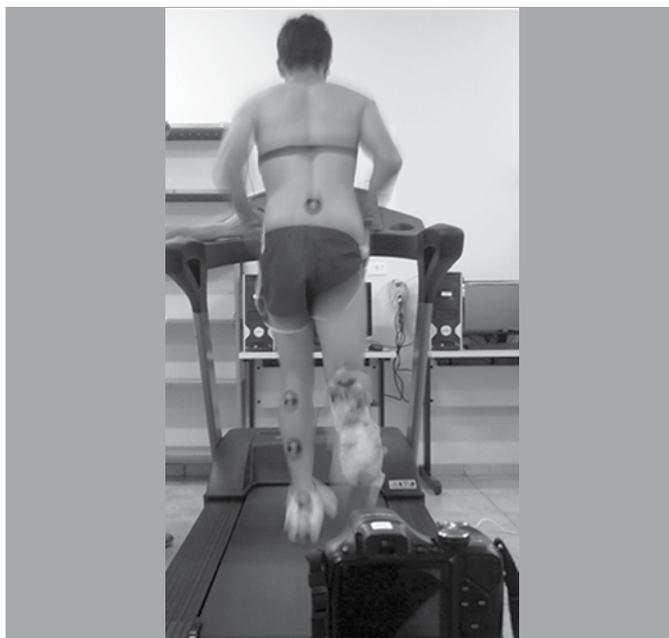


Figura 4. Cinemetria do plano frontal posterior.

RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os resultados referentes a caracterização da amostra.

Não foram verificadas diferenças significativas nos valores de máxima pronação (MP) entre as pernas e entre os gradientes de inclinação em ambas as pernas. (Figuras 5)

Tabela 1. Caracterização da amostra: média, desvio padrão (DP), valores mínimos e máximos das variáveis idade, massa corporal, estatura, percentual de gordura corporal e consumo máximo de oxigênio de 16 corredores de rendimento.

Variáveis	Média	DP	Mínimo	Máximo
Idade (anos)	29,0	6,98	19,0	41,0
Massa Corporal (kg)	70,0	10,1	54,0	90,0
Estatura (m)	1,71	0,06	1,62	1,82
Comprimento de Perna (m)	0,79	0,03	0,75	0,87
Gordura Corporal (%)	14,6	3,15	11,5	23,2
VO _{2máx} (mLO ₂ .kg ⁻¹ .min ⁻¹)	52,0	4,92	42,3	58,4

Nota: Consumo Máximo de Oxigênio (VO_{2máx}).

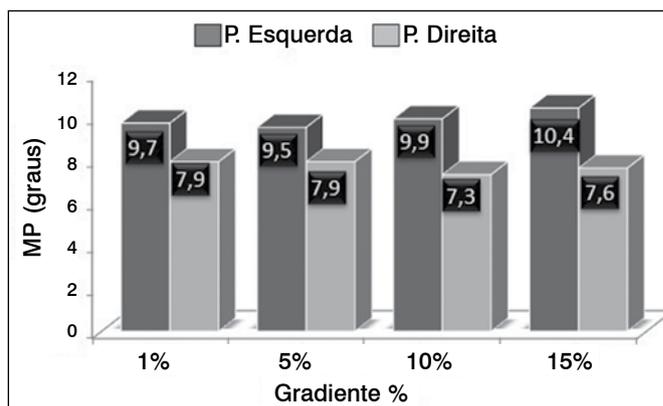


Figura 5. Comparação das médias dos valores de máxima pronação entre a perna esquerda e direita nos gradientes de inclinação +1%, +5%, +10% e +15%.

DISCUSSÃO

É de consenso na literatura que a excessiva pronação subtalar (hiperpronação) é uma das principais causas de lesões nos membros inferiores, principalmente de corredores, onde esse mecanismo passa a ser constantemente acionado durante a corrida a fim de minimizar os efeitos lesivos da força resultante (força normal) advinda do contato do pé com o solo, bem como da excessiva rotação interna da Tíbia. Segundo Snook¹⁷ a rotação interna da tíbia, quando feita em demasia, pode resultar em hiperpronação da articulação subtalar e, com isso, em diversas complicações ósseo-articulares. As causas das patologias nos membros inferiores também parecem ser decorrentes das forças de impacto que sobrecarregam o mecanismo de pronação oferecendo riscos às estruturas articulares. Dessa forma, quando verificamos uma hiperpronação da articulação subtalar é bem provável que esta esteja associada, também, a uma situação de grande impacto, durante a fase de contato do pé com o solo, já que a pronação é entendida como sendo um mecanismo de atenuação do impacto resultante do contato do pé com o solo e, conseqüentemente, de proteção ósseo-articular.¹⁸

As forças de impacto parecem ser mais proeminentes no primeiro contato do pé com solo, e equivalem a duas ou três vezes o peso corporal

em uma frequência média de passada de 70 a 100 passos por minuto.⁵ A força de impacto é influenciada pela velocidade linear de corrida, pela técnica de movimento, pelo tipo de calçado utilizado durante a locomoção e pelo plano em que o indivíduo está se deslocando.^{5,11,18} Em relação ao gradiente de inclinação, no nosso estudo esta variável não influenciou de forma significativa no comportamento da máxima pronação subtalar. Também não foram constatados valores de hiperpronação. Como consequência, acredita-se que o gradiente de inclinação, entre +1% e +15%, além de não influenciar nos valores de máxima pronação subtalar, provavelmente não é capaz de alterar a força de impacto do pé com o solo. Gottschall e Kram¹¹ verificaram que as forças de impacto são mais influenciadas por alterações de gradientes de inclinação negativos devido à maior utilização de energia elástica em comparação a alterações de gradientes positivos durante a locomoção. Além disso, no nosso estudo, a velocidade de corrida foi mantida constante em situação confortável, o que, provavelmente, não foi suficiente para resultar em fadiga muscular e, conseqüentemente, em mudanças no comportamento articular.

Muitos autores justificam as alterações nos valores de máxima pronação subtalar principalmente a técnica de corrida.⁹ Ortega et al.¹⁹ comparando corredores e caminhantes, encontram diferenças nos valores máximos de pronação subtalar, onde o grupo dos caminhantes apresentaram uma maior pronação (16,27 graus na perna direita e 18,60 graus na perna esquerda) em relação aos corredores (9,73 graus na perna direita e 10,13 na perna esquerda), mesmo os caminhantes apresentando velocidades de locomoção menores que os corredores. Os autores justificam esse curioso achado a uma melhor técnica de corrida por parte dos corredores. Tartaruga et al.⁵ constataram que a máxima pronação subtalar aumentou significativamente, da velocidade de 14 km.h⁻¹ para 16 km.h⁻¹ (6,79 ± 4,01 graus para 9,69 ± 3,14 graus) em um grupo de homens, da mesma forma como ocorreu em um grupo de mulheres, da velocidade de 11 km.h⁻¹ para 13 km.h⁻¹ (5,87 ± 4,66 graus para 9,44 ± 5,15 graus). As velocidades de 11 e 14 km.h⁻¹ e 13 e 16 km.h⁻¹ corresponderam a 70 e 75% da velocidade do VO_{2máx}, respectivamente, para ambos os sexos. Esses resultados demonstram a importância da intensidade de esforço no comportamento da máxima pronação subtalar, como já demonstrado por Gheluwe e Madsen⁸.

Da mesma forma, autores têm pontuado a importância do condicionamento físico e da experiência profissional como variáveis aliadas a uma boa técnica de corrida e, conseqüentemente, a uma menor probabilidade de desenvolvimento de hiperpronação subtalar.^{12,13,20}

Em relação à comparação entre os valores máximos de pronação subtalar das pernas direita e esquerda, não foram encontradas diferenças significativas. Os resultados obtidos no nosso estudo estão de acordo com os achados de Tartaruga et al.³ que também não encontraram diferenças significativas nos valores desta variável, determinados metodologicamente de forma diferente (com o uso de 2 pontos de referência, apenas). Os nossos resultados também corroboram com os resultados de Wit et al.¹⁸ cujo a técnica de determinação da máxima pronação subtalar foi semelhante. Entretanto, embora no nosso estudo não tenhamos verificado diferenças significativas na máxima pronação subtalar entre as pernas, houve uma tendência da perna esquerda apresentar valores de máxima pronação subtalar maiores que a perna direita. Segundo Tartaruga et al.¹² essa tendência pode estar relacionada a uma leve inclinação lateral do tronco, resultante de uma imperceptível inclinação existente nas pistas de atletismo e ao treinamento contínuo sem alteração de sentido de deslocamento.

CONCLUSÃO

O gradiente de inclinação não influencia no comportamento da articulação subtalar durante a corrida submáxima e, conseqüentemente, no surgimento de lesões articulares advindas desta variável. Provavelmente a pronação subtalar é dependente de outras variáveis intervenientes como, por exemplo, a velocidade de corrida e, principalmente, a intensidade do esforço físico. Futuros estudos relacionando a máxima pronação subtalar ao trabalho mecânico total e a eficiência de corredores de rendimento são sugeridos para uma melhor compreensão das causas da hiperpronação e, conseqüentemente, do surgimento de lesões decorrentes no quadril, joelho e tornozelo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Araucária pelo apoio financeiro dado a pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. Conley DL, Krahenbuhl GS. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1980;12(5):357-360.
2. James SL, Bates BT, Osternig LR. Injuries to runners. *Am J Sports Med.* 1978;6(2):40-50.
3. Tartaruga MP, Cadore EL, Alberton CL, Nabiger E, Peyré-Tartaruga LA, Ávila AOV, et al. Comparison of protocols for determining the subtalar joint angle. *Acta Ortop Bras.* 2010;18(3):122-6.
4. Klingman RE, Liaos SM, Hardin KM. The effect of subtalar joint posting on patellar glide position in subjects with excessive rearfoot pronation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1997;(25):185-91.
5. Tartaruga LAP, Tartaruga MP, Black GL, Coertjens M, Ribas LR, Krueel LFM. Comparison of the subtalar joint angle during submaximal running speeds. *Acta Ortop Bras.* 2005;13(2):57-60.
6. Arangio GA, Phillippy DC, Xiao D, Gu WK, Salathe EP. Subtalar pronation-relationship to the medial longitudinal arch loading in the normal foot. *Foot Ankle Int.* 2000;(21):216-20.
7. Munuera PV, Dominguez G, Palomo IC, Lafuente G. Effects of rearfoot-controlling orthotic treatment on dorsiflexion of the hallux in feet with abnormal subtalar pronation: a preliminary report. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2006;(96):283-9.
8. Gheluwe BV, Madsen G. Frontal rearfoot kinematics in running prior to volitional exhaustion. *J Appl Biomech.* 1997;13:66-75.
9. Tartaruga MP, Brisswalter J, Peyré-Tartaruga LA, Ávila AO, Alberton CL, Coertjens M, Cadore EL, Tiggemann CL, Silva EM, Krueel LF. The relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners. *Res Q Exerc Sport.* 2012;83(3):367-75.
10. Scholz MN, Bobbert MF, van Soest AJ, Clark JR, van Heerden J. Running biomechanics: shorter heels, better economy. *J Exp Biol.* 2008;211:3266-71.
11. Gottschall JS, Kram R. Ground reaction forces during downhill and uphill running. *J Biomech.* 2005;38(3):445-52.
12. Tartaruga LAP, Tartaruga MP, Ribeiro JL, Coertjens M, Ribas LR, Krueel LFM. Correlation between running economy and kinematic variables in high level runners. *Braz J Biomech.* 2004;5(9):51-8.
13. Williams KR, Cavanagh PR. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *J Appl Physiol.* 1987;63(3):1236-45.
14. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. *Nutrition.* 1993;9(5):480-91.
15. Ellestad MH, Allen W, Wan MC, Kemp GL. Maximal treadmill stress testing for cardiovascular evaluation. *Circulation.* 1969;39(4):517-22.
16. Ferrandis R, García AC, Ramiro J, Hoyos JV, Vera P. Rearfoot motion and torsion in running: the effects of upper vamp stabilizers. *J Appl Biomech.* 1994;10:28-42.
17. Snook AG. The relationship between excessive pronation as measured by navicular drop and isokinetic strength of the ankle musculature. *Foot Ankle Int.* 2001;(22):234-240.
18. Wit BD, Clercq DD, Leonoir M. The effect of varying midsole hardness on impact forces and foot motion during foot contact in running. *J Appl Biomech.* 1995;11:395-406.
19. Ortega DR, Cruces AG, Martín PR, Rosa FJ. Analysis of pronation and supination subtalar in racewalking. *Apunts Educación Física y Deportes.* 2009;4:51-8.
20. Nummela A, Keranen T, Mikkelsen LO. Factors related to top running speed and economy. *Int J Sports Med.* 2007;28(8):655-61.