

Análise das alterações biomecânicas da marcha em indivíduos normais durante a caminhada em esteira utilizando diferentes tipos de calçados.

Cássia K. L. Pereira¹, Ingrid F. Landim², Thais H. de Freitas³, Carlos A. Kelencz⁴.

^{1,2,3,4} Laboratório de biodinâmica - Faculdade de Ciências da Saúde, Curso Fisioterapia.

Universidade do Vale do Paraíba, Brasil, CEP: 12244-000. Fone: +55 12 3947 1015, Fax: +55 12 3947 1015

⁴ Faculdade de Ciências da Saúde, Docente do Curso de Educação Física.

Universidade do Vale do Paraíba, Brasil, CEP: 12244-000. Fone: +55 12 3947 1015, Fax: +55 12 3947-1015

cassia_klp@hotmail.com, ilandim@bol.com.br, tishelena@yahoo.com.br, kelencz@univap.br

Resumo: Algumas características da construção do calçado, como a dureza do solado e a altura podem influenciar direta ou indiretamente nas características biomecânicas da marcha. Esse estudo tem como objetivo analisar as alterações que os diferentes tipos de calçados causam em indivíduos normais ao caminhar em esteira. Foram avaliados 10 indivíduos do sexo feminino, com idade média de $20,5 \pm 5$ anos. Os voluntários foram submetidos a um protocolo de adaptação na esteira e de caminhada com os calçados: Tênis, Plataforma e Salto. Durante o processo de captação dos sinais eletromiográficos e da componente vertical da força de reação do solo. Os resultados mostraram diferença nos parâmetros de tempo, espaço e força derivados da componente vertical da força de reação do solo para o calçado de salto comparado com as outras duas condições. Na análise eletromiográfica não foram obtidos valores considerados significativos comparando a atividade dos músculos tibial anterior e reto femoral utilizando os diferentes calçados.

Palavras-chave: Calçados, Marcha, Biomecânica.

Área do Conhecimento: Fisioterapia

Introdução

Alguns estudos mostram que características de construção do calçado, a dureza do solado e a altura podem influenciar demasiadamente na capacidade na absorção do impacto (SÁ et al 1999)

A relação da altura do salto do calçado e sua forma têm a necessidade de ser abordada, pela influência destes sobre o arco plantar (AVILA et al, 2000).

A força de contato entre a superfície de apoio e os pés também são indispensáveis para analisar as características da marcha (HIRATA et al, 1999).

Já que o pé é uma estrutura que está em contato com o solo, ele controla a distribuição da pressão plantar, suporta o peso e ajusta as posturas na posição ereta (MILANI, 2003).

Um dos métodos utilizados para análise da força de colisão entre o pé e o solo é a avaliação das componentes da força de reação do solo durante a marcha, por meio de plataformas de força (KNUTZEN, 2002; HARRIS; SMITH, 1996).

Outro método usado na análise de marcha é a Eletromiografia, consiste no estudo de variações elétricas musculares, permitindo análise dos principais músculos envolvidos numa determinada atividade (PINTO, 1996).

Com isso, o objetivo deste estudo foi analisar por meio da eletromiografia e da força de reação do solo, a influência de diferentes tipos de calçados na marcha durante a caminhada em esteira.

Material e Métodos

O estudo foi aceito pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Vale do Paraíba sob o protocolo nº H353/CEP/2007. Todos os voluntários assinaram um termo de consentimento autorizando sua participação.

Foram avaliados 10 indivíduos, do sexo feminino, com idade média de $20,5 \pm 5$ anos, sem antecedentes de lesões músculo esquelético ou qualquer outra patologia que pudesse influenciar na marcha. A altura e peso foram adequados de acordo com o Índice de Massa Corpórea (IMC), entre 18,5 e 25, considerado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) o índice adequado para essa faixa etária. Foram critérios de inclusão: indivíduos do sexo feminino, que já andaram em esteira, com numeração de calçado entre 36 e 38, sem patologias de origem ortopédica, cardíaca ou neurológica e que não fizesse uso de medicamentos que influenciassem na prática de atividade física.

As coletas foram realizadas no Laboratório de Biodinâmica da Universidade do Vale do Paraíba.

Inicialmente os indivíduos foram submetidos a uma avaliação clínica para assegurar os critérios de inclusão. Após a seleção, estes voluntários foram submetidos ao protocolo experimental.

Inicialmente foi realizada uma caminhada para adaptação das voluntárias aos equipamentos e a cada calçado utilizado. Em seguida foram captados os sinais eletromiográficos e os parâmetros cinéticos da marcha.

Os calçados adotados foram: tênis, plataforma e salto. Os calçados utilizados eram dos próprios voluntários e a altura deles foi padronizada.

Durante todo o protocolo experimental os sinais eletromiográficos foram monitorizados através do software WINDAQ, e em seguida processados por meio de rotinas específicas desenvolvidas no software Matlab (MATLAB 7) e Origin (ORIGIN 6).

Foram utilizados eletrodos de superfície descartáveis da marca Heartbeat®. Os eletrodos foram posicionados nos músculos: reto femoral e tibial anterior, do lado dominante de cada indivíduo segundo o protocolo de Delagi (2005). O eletrodo de referência foi posicionado no processo estilóide da ulna direita.

Em seguida foram realizadas as coletas de dados, com duração de 10 segundos cada. Os sinais eletromiográficos foram amostrados com uma frequência de 2000 Hz, digitalizados por um conversor A/D de 16 bits, e armazenado num computador padrão para posterior análise. Todos os procedimentos relativos à coleta, ao registro e ao tratamento do sinal de EMG seguiram as recomendações da Sociedade Internacional de Eletrofisiologia e Cinesiologia (ISEK) relativas ao emprego da eletromiografia (KELENCZ, 2007).

Em paralelo, para realizar a coleta dos sinais de força de reação do solo, foi utilizado o Sistema *Gaitway Instrumented Treadmill – Kistler*, que consiste em uma esteira rolante TROTTER 685, com duas plataformas de força Kistler, com conversor A/D 12 bits, frequência de amostragem de 2000 Hz e software de análise Gaitway

Os dados obtidos por ambos os equipamentos foram transportados para planilhas do software *Excel XP*. Os dados de valores brutos foram transportados e utilizados no programa *Matlab 7.0*.

Os parâmetros analisados foram: Primeiro Pico de Força (PPF), Segundo Pico de Força (SPF), Força em Médio Apoio (FMA), Taxa de Aceitação de Peso (TAP), Impulso, Cadência, Comprimento da Passada (CP) e Base de Suporte (BS), Tempo de Contato (TC), Tempo de Duplo Apoio (TDA), Tempo de Apoio Simples (TAS), Tempo da Passada (TP).

Na fase de adaptação foi permitido aos voluntários andar livremente pela esteira, na velocidade adotada para o estudo (3km/h) para adaptação aos equipamentos e aos calçados, durante cerca de 3 minutos.

Para comparar os valores médios das variáveis de força de reação do solo e de eletromiografia, foi aplicada a análise de variância ANOVA e Tukey ($p < 0.05$).

Resultados

Ao comparar os valores médios dos parâmetros obtidos para os lados dominante e não dominante, durante a caminhada com tênis (Tabela 1), foram observadas diferenças estatisticamente

significativas somente para o parâmetro: SPF ($p=0.04$), sendo maior para o lado dominante.

Tabela 1 – Valores de Médias e Desvio Padrão na análise da marcha durante a caminhada em esteira com tênis para os lados dominante e não dominante.

PARÂMETROS	Dominante	Não-dominante
PPF	1.02 ± 0.06	1.04 ± 0.05
SPF	1.05 ± 0.08	1.03 ± 0.06
FMA	0.78 ± 0.16	0.78 ± 0.11
TAP	5.49 ± 1.09	5.28 ± 0.86
Impulso	375.90±73.85	389.19±72.77
CP	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.03
BS	8.67±3.30	8.71 ± 2.90
Cadência	104.45 ± 7.81	104.14 ± 8.84
TP	1.15 ± 0.10	1.15±0.09
TC	0.73±0.20	0.76±0.12
TDA	0.40 ± 0.12	0.46 ± 0.16
TAS	0.44 ± 0.15	0.50 ± 0.14

Ao comparar os valores médios obtidos para os lados dominante e não dominante, durante a caminhada com o uso de plataforma (Tabela 2), foram observadas diferenças estatisticamente significativas para os parâmetros: CP ($p=0.003$), BS ($p=0.02$), TC ($p=0.001$), sendo maiores para o lado dominante, e também FMA ($p=0.02$), sendo maior para o lado não-dominante.

Tabela 2 – Valores de Médias e Desvio Padrão na análise da marcha durante a caminhada em esteira com plataforma para os lados dominante e não dominante.

PARÂMETROS	Dominante	Não-dominante
PPF	1.03±0.05	1.04±0.05
SPF	1.04±0.04	1.04±0.05
FMA	0.82±0.04	0.84±0.03
TAP	5.30±0.67	5.49±1.02
Impulso	361.28±75.94	368.40±70.28
CP	0.03±0.02	0.02±0.01
BS	10.45±2.76	9.98±2.37
Cadência	106.20±7.18	106.66±5.64
TP	1.12±0.07	1.12±0.07
TC	0.71±0.04	0.70±0.05
TDA	0.29±0.04	0.29±0.04
TAS	0.42±0.03	0.42 ± 0.01

Na Tabela 3 podem ser observados os valores médios e desvios padrões obtidos para cada parâmetro analisado durante a caminhada com o uso de salto. Ao comparar os valores médios obtidos para os lados dominante e não dominante, foram observadas diferenças estatisticamente significativas para os parâmetros: PPF ($p=0.001$), SPF ($p=0.03$), TAP ($p=0.002$), Impulso ($p=0.001$), BS ($p=0.04$), TC ($p=0.01$), sendo todos maiores para o lado dominante.

Tabela 3 – Valores de Médias e Desvio Padrão na análise da marcha durante a caminhada em esteira com salto para os lados dominante e não dominante.

PARÂMETROS	Dominante	Não-dominante
PPF	1.08±0.05	1.06 ± 0.05
SPF	1.08 ± 0.09	1.05 ± 0.08
FMA	0.78 ± 0.02	0.78±0.05
TAP	7.06 ± 2.14	6.52 ± 1.71
Impulso	354.95±66.50	347.70 ± 60.61
CP	0.09 ± 0.06	3.08 ± 4.86
BS	7.00 ± 2.30	6.70 ± 2.30
Cadência	109.85±8.72	111.04±8.59
TP	1.08 ± 0.09	1.08 ± 0.09
TC	0.71 ± 0.06	0.68 ± 0.04
TDA	0.30 ± 0.02	0.30 ± 0.02
TAS	0.39 ± 0.04	0.40 ± 0.02

Na comparação entre os calçados foram abordados a seguir apenas aquelas em que a diferença estatística foi encontrada para ambos os lados, em um único parâmetro.

Na análise do parâmetro TDA, foram observadas valores estatisticamente maiores para a plataforma, em relação ao tênis ($p=0.008$ para o lado dominante e $p=0.004$ para o não dominante).

Ao comparar os parâmetros obtidos na caminhada com a utilização de tênis e salto, foi observado que a TAP e a Cadência apresentaram-se estatisticamente maiores para o salto (TAP: $p=0.0084$ para o lado dominante e $p=0.0037$ para o não dominante; Cadência: $p=0.0417$ para o dominante e $p=0.0112$ para o não dominante). Quanto ao Impulso e ao TP, foram estatisticamente maiores para tênis (Impulso: $p=0.031$ para o lado dominante e $p=0.0006$ para o não dominante; TP $p=0.0103$ para o dominante e $p=0.01$ para o não dominante).

Na comparação entre caminhada com plataforma e salto, foi observado que a BS apresenta-se estatisticamente maior com a utilização de plataforma ($p=0.0185$ para o lado dominante e $p=0.0316$ para o não dominante),

Na análise eletromiográfica dos músculos tibial anterior e reto femoral, não foram encontradas diferenças significativas ($p<0.05$) entre os calçados.

Tabela 4 – Valores de Médias da análise da atividade muscular dos músculos tibial anterior e reto femoral para os diferentes calçados.

	Tibial Anterior	Reto Femoral
Tênis	22,81	51,71
Plataforma	20,2	51,53
Salto	27,42	49,85

Discussão

O tênis é um calçado caracterizado principalmente por conciliar conforto, resistência e flexibilidade, permitindo assim a realização de todas

as fases do ciclo da marcha, inclusive no impulso, devido a uma maior distribuição de pressão plantar (AVILA et al, 2001).

Na análise dos resultados obtidos ao comparar os lados dominante e não dominante com a utilização de cada calçado foi observado que a caminhada com o tênis promoveu uma maior descarga de peso no antepé (SPF) para o lado dominante, o que mostra que este calçado traz poucas compensações entre os lados.

Ogon et al (2001), sustentam que a utilização de tênis pode trazer benefícios quanto à manutenção da estabilidade da coluna lombar, melhorando a sincronização entre as forças externas, potencialmente desestabilizadoras e as forças internas estabilizadoras.

Na utilização da plataforma as compensações aumentaram, ocorrendo tanto para o lado dominante quanto para o não dominante. Sendo que para o lado dominante houve um aumento de 2 dos parâmetros de espaço (CP e BS) e 1 temporal (TC), enquanto para o lado não dominante a compensação esteve relacionada a força aplicada durante o médio apoio. Estas alterações podem ter ocorrido como forma de aumentar a estabilidade do lado dominante durante a marcha.

Na utilização do salto durante a caminhada ocorreu um aumento de todos os parâmetros de força analisados, exceto a FMA, além de aumento de 1 parâmetro espacial (BS) e 1 temporal (TC), o que sugere que quanto maior a altura do calçado maiores as compensações biomecânicas.

Os maiores valores de parâmetros de força encontrados durante a marcha com sapato de salto pode ter ocorrido pelo fato da área de contato deste calçado ser menor.

Os elevados valores de TAP, encontrados com o uso do salto, indicam que o aparelho locomotor sofreu a ação de forças com curto intervalo de tempo, caracterizando uma situação de grande impacto do retopé com o solo (AMADIO et al,1996).

Segundo os autores Nasser et al (1999), acredita-se que a diminuição da velocidade na situação com salto possa estar relacionada à altura do salto. Afirmaram que a altura do salto está diretamente relacionada com a diminuição de impulso, como foi observado neste estudo.

O salto provoca maior instabilidade pelo aumento do braço de alavanca e pela maior dificuldade do centro de gravidade se manter dentro da base de sustentação (SERRÃO, 1999).

De acordo com Costa et al (2007), a utilização de sandálias com salto tipo plataforma, possuem um solado grosso e rígido que interfere diretamente na biomecânica da locomoção. O solado grosso diminui a propriocepção e conseqüentemente a estabilidade, o que pode explicar uma maior BS encontrada neste estudo para o calçado do tipo plataforma.

Segundo Manfio et al (2003), foi observado que na marcha com salto alto não ocorre movimento de dorsiflexão, o tornozelo permanece em flexão plantar, levando a um aumento da cadência, pela ausência das completas fases da marcha.

Já na análise da atividade muscular é observado que as maiores compensações que ocorrem nos membros inferiores de acordo, com a altura do salto são, aumento significativo na flexão plantar e na força vertical e diminuição do ângulo máximo do joelho durante a fase de balanço na velocidade de extensão do joelho (SNOW; WILLIAMS, 1994), no entanto, no presente estudo, não foram observadas diferenças significativas na ação muscular

Conclusão

Os resultados deste estudo apontam uma diferença acentuada nos parâmetros relacionados a força, tempo e espaço derivados da Força de Reação do Solo, principalmente durante a caminhada com sapato de salto.

A caminhada com o calçado do tipo plataforma mostrou maior diferença em relação a base de apoio, enquanto que o tênis apontou ser o calçado onde a as todas as fases da marcha são mais preservadas, em relação aos demais calçados.

Já na análise eletromiográfica não foi obtido valores considerados significativos na comparação dos músculos tibial anterior e reto femoral, porém houve maior atividade durante a marcha

Referências

AMADIO, A.C. et al. Fundamentos biomecânicos para análise do movimento. São Paulo: **Laboratório de Biomecânica/ EEFUSP**, p 162, 1996.

ÁVILA, A.O.V. et al. Análise do Caminhar em crianças através de uma esteira instrumentalizada. **Congresso Brasileiro de Biomecânica**. p 585 2001.

ÁVILA A.O.V. et al. Análise do impulso em calçados femininos em diferentes alturas de salto. In: **Anais do 6º Congresso Brasileiro de Biomecânica**; São Paulo; p.491-493, 2000.

COSTA M.S.X. et al. **Fisioterapia em Movimento**, Curitiba, v. 20, n. 3, /set p. 55-62, 2007.

DELAGI, E. F. et al. **Anatomic guide for the eletromyographer the Limbs**. Springfield: Charles C. Thomas Publisher, 2005.

HARRIS, G. F; SMITH, P. A. **Human Motion Analysis: Current Applications and Future Directions**. New York: IEEE Press, 1996.

HIRATA, T. et al. Análise Comparativa da força de Contato da Marcha. Guaratinguetá: **1- Faculdade de Engenharia Química de Lorena; 2- Faculdade de Engenharia/ UNESP**, p 603 1999.

KELENCZ, C. A et al. Análise do comportamento motor através da plataforma de equilíbrio e EMG de superfície: estudo no domínio da frequência. **Rev. Terapia Manual** vol. 05 n.20, 2007.

KNUTZEN, K.M.; HAMILL, J.; **Bases Biomecânicas do Movimento Humano**. São Paulo: Manole, 2001 p 401

MANFIO. L, et al Alterações na marcha descalça e com sapato de salto. In: **X Congresso Brasileiro de Biomecânica**; p.87-90 2003.

MILANI.T.L. Biomechanics research footwear development.**Braz. J. Biomechanic**; Supl.1, p.15-19, 2003.

NASSER, J.P. et al. **Distribuição de Força Relativa na região anterior do pé em diferentes alturas de apoio do calcâneo**. PPGCMH - UFSM e CDS-UFSC; UDESC- CEFID – Laboratório de Biomecânica, p 609 1999

OGON,A .A.R, et al. Footwear affects the behavior of low back muscles when jogging. **International Journal of Sports Medicine**. 2001; 22(6):414-9.

PINTO, C.; **Eletroneuromiografia Clínica**. Atheneu, 1996 p 37-40.

SÁ, M.R et al. Análise da influência da construção de calçado esportivo no desempenho do movimento humano: **Revista de Biomecânica da Escola de Educação Física e Esporte/ USP**, p 83, , 1999

SERRÃO,J.C. Aspectos biomecânicos da influência do calçado esportivo na locomoção humana.[tese] **doutorado. São Paulo: EFEEUSP**; 1999.

SNOW,R. E; WILLIAMS, K.R. High heeled shoes: Three effect on center of mass position, posture, three- dimensional Kinematics, rearfoot motion and ground reaction forces. **Arch Phys Med Rehabil**, 75: 568-576, 1994