

ANÁLISE DE VARIÁVEIS ESPAÇO-TEMPORAIS DURANTE A LOCOMOÇÃO EM ESTEIRA, COM DIFERENTES GRADIENTES

Matheus Marques*

Marcelo Costa de Paula**

Mário Hebling Campos***

RESUMO

A marcha e a corrida são caracterizadas por movimentos cíclicos e de alta reprodutibilidade, o que as qualificam como valiosas fontes de informações a respeito da condição biomotora. Sabe-se que a postura corporal é extremamente sensível à velocidade, tipo de locomoção e inclinação do terreno no qual se caminha ou corre. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi analisar o comprimento e a frequência da passada, durante a locomoção em esteira, com diferentes gradientes. Os voluntários foram submetidos às velocidades de 1,5 m/s (marcha) e 2,2 m/s (corrida) nos seguintes gradientes: -6° (descida); 0° (plano); e $+6^\circ$ (subida). A amostra foi composta por quatro sujeitos saudáveis e ativos fisicamente, sendo três homens e uma mulher. O protocolo experimental teve início com a busca do melhor posicionamento da câmera de vídeo, com o intuito de obter o melhor enquadramento dos membros inferiores para quantificação das variáveis espaço-temporais (comprimento e frequência da passada). Para verificar as diferenças entre as variáveis analisadas, em cada forma de locomoção, foi utilizada a anova *one way* e, quando necessário, o teste de Tukey para constatar entre quais situações tais variáveis distinguiram entre si. Em todas as análises foi adotada a significância estatística de 5% ($p < 0,05$). Constatou-se que o comprimento aumentou e a frequência da passada diminuiu, durante a caminhada, em decorrência do aumento do gradiente da esteira. Por outro lado, na corrida, dois voluntários apresentaram um comportamento inverso àquele encontrado durante a marcha e outros dois não apresentaram diferenças significativas nas variáveis cinemáticas investigadas.

Palavras-chave: Locomoção, gradiente, biomecânica, cinemática

* Instituto Federal de Goiás – IFG

**Professor do Instituto Federal de Goiás; doutorando no Programa em Educação Física pela UNICAMP

*** Prof. Dr da Universidade Federal de Goiás - UFG; Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Física da UNICAMP

INTRODUÇÃO

Locomoção é a capacidade de se deslocar de um lugar a outro e este fenômeno pode ser executado, por exemplo, mediante tarefas motoras como rastejar, rolar, saltitar, saltar, caminhar e correr. No entanto, é comum utilizar este conceito para representar a marcha e a corrida já que estas são as duas principais formas de locomoção utilizadas pelo homem, pois, são movimentos simples e eficientes sob o ponto de vista mecânico e fisiológico já que se caracterizam pelo movimento suave do corpo pelo espaço com um gasto mínimo de energia (WATERS E MULROY, 1999).

A caminhada e a corrida são dois fenômenos de bastante interesse quando o objetivo é investigar a atividade funcional humana, pois, apresentam características individuais (LAKANY, 2008), são atividades cíclicas e de alta reprodutibilidade (JORDAN; CHALLIS; NEWELL, 2007) – o que garante bastante robustez nos resultados obtidos.

Apesar de serem movimentos de mesma natureza, estas duas atividades possuem algumas características distintas entre si que possibilitam diferenciá-las. Através de parâmetros biomecânicos pode-se distinguir claramente estas duas formas de locomoção. Aliás, análises qualitativas como, por exemplo, a observação visual já é suficiente para classificar estes dois gestos motores, pois, a marcha apresenta fases de duplo apoio e a corrida fases de vôo (NOVACHECK, 1998).

Neste sentido, o ciclo da marcha apresenta a seguinte ordem cronológica: contato inicial (toque do pé direito/esquerdo), caracterizando uma fase de duplo apoio; apoio simples direito/esquerdo; outra fase de duplo apoio; e apoio simples esquerdo/direito, finalizando com um novo contato do pé direito/esquerdo (LAKANY, 2008). Em contrapartida, o ciclo da corrida apresenta a seguinte seqüência: contato inicial, caracterizando o apoio simples; uma fase de vôo; o outro apoio simples; e mais uma fase de vôo que termina com um novo contato do pé direito/esquerdo no solo (NOVACHECK, 1998).

O trabalho realizado pelo corpo durante a caminhada e/ou a corrida depende intensamente da velocidade de locomoção. Uma relação ótima entre estas variáveis permite minimizar os gastos energéticos (DANION et al., 2003). Sabe-se que a velocidade de locomoção resulta do produto da frequência das passadas pelo comprimento das mesmas. Assim, para uma dada velocidade, existe uma participação relativa de cada um destes dois fatores (HIRASAKI et al., 1999).

Neste sentido, Paula et al. (2009) verificou que os parâmetros espaço-temporais (comprimento e frequência da passada) apresentam uma relação bem próxima da linearidade ($r > 0,99$; $p < 0,05$), independentemente do modo de locomoção. Acredita-se que as variáveis biomecânicas sejam sensíveis também à inclinação do terreno ao qual o indivíduo se locomove.

Gottschall e Kram (2005) analisaram a força de reação do solo durante a corrida (3 m/s) na descida, plano e subida. Os pesquisadores verificaram que a força normal é maior durante a corrida em declive, principalmente logo após o toque do pé no chão – o que não ocorre na corrida no plano e na subida já que a maior sobrecarga no aparelho locomotor é vista no momento em que o indivíduo impulsiona o solo para avançar o respectivo membro.

Portanto, a presente pesquisa tem como objetivo analisar, tanto durante a marcha como na corrida, o efeito proporcionado pela mudança do gradiente da esteira nas variáveis espaço-temporais (comprimento e frequência da passada).

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do estudo e da amostra

Esta pesquisa é um estudo observacional do tipo transversal. Os voluntários da pesquisa foram quatro sujeitos adultos, ativos fisicamente, sendo três homens e uma mulher – com as seguintes características: $30,50 \pm 2,65$ anos; $1,75 \pm 0,10$ m de estatura; e $75,50 \pm 14,27$ kg de peso corporal.

Local de realização da pesquisa e materiais utilizados

A pesquisa foi desenvolvida no Instituto Federal de Goiás (IFG) e na Universidade Federal de Goiás (UFG). Toda a coleta de dados foi realizada no Laboratório de Bioengenharia e Biomecânica da Faculdade de Educação Física da UFG, enquanto que o tratamento e análise dos dados foram feitos no IFG - Campus Luziânia.

Para a coleta de dados foram utilizados os seguintes equipamentos do Laboratório de Bioengenharia e Biomecânica da UFG: esteira ergométrica e câmera de vídeo digital conectada a um computador. Para tratamento e análise dos dados foi utilizado um notebook, do próprio pesquisador.

Procedimentos e protocolo experimental

Os voluntários da pesquisa foram contatados pelo pesquisador responsável, que explicou detalhadamente os procedimentos e protocolos que foram utilizados na pesquisa. Posteriormente, o participante assinou o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), ficando ciente de que poderia interromper sua participação na pesquisa, em qualquer momento, tanto nos testes quanto na pesquisa sem apresentar qualquer justificativa.

Os participantes foram avaliados quanto à movimentação dos membros inferiores durante a locomoção (toque e retirada do pé em relação ao tapete da esteira). Portanto, os avaliados foram orientados a utilizarem roupa ginástica ou algum traje confortável que permitisse caminhar e correr sobre a esteira.

O posicionamento da câmera de vídeo foi previamente planejado com a finalidade de obter o melhor enquadramento e visualização dos instantes de toque e retirado do pé em relação ao tapete da esteira. Neste sentido, a câmera foi posicionada lateralmente ao participante, com o intuito de possibilitar somente a visualização dos membros inferiores e resguardar a identidade dos avaliados.

Todas as sessões experimentais tiveram como início o aquecimento que consistiu de uma caminhada, sobre a esteira, a uma velocidade de 1,5 m/s durante 4 minutos para permitir uma adaptação à atividade proposta (TAYLOR; EVANS; GOLDIE, 1996). As coletas foram feitas de forma *on line*, ou seja, não foi utilizada fita de vídeo já que as câmeras foram conectadas diretamente a um computador – o que possibilitou registrar somente os trechos de interesse, desprezando a filmagem do aquecimento.

O protocolo experimental propriamente dito foi executado na seguinte ordem cronológica: caminhada na descida; corrida na descida; caminhada no plano; corrida no plano; caminhada na subida; corrida na subida. A velocidade de marcha e corrida foi de 1,5 m/s e 2,2 m/s, respectivamente. A descida e subida foram executadas nos seguintes gradientes, respectivamente: -6° e $+6^\circ$. Cada um dos seis estágios teve a duração de um minuto para possibilitar o registro de várias passadas. Ao final do experimento, a velocidade da esteira foi diminuída gradativamente até que o avaliado se sentisse confortável para finalizar a locomoção.

Forma de análise dos resultados

Na presente pesquisa, o ciclo de marcha e/ou corrida teve como início e fim o toque do pé direito no solo. Para efeito de análise, foram selecionadas vinte passadas completas em cada estágio – que leva em consideração a inclinação da esteira e a forma de locomoção. As análises dos resultados relativos às variáveis

comprimento/frequência da passada foram obtidas a partir do registro videográfico de cada uma das vinte passadas, registradas em cada estágio.

Os procedimentos utilizados para quantificação das variáveis cinemáticas estão descritos a seguir. Com base na frequência de amostragem da câmera (60 Hz) e com a identificação no número de quadros (*frames*) para cada passada, é possível quantificar o período da respectiva passada em segundos. A frequência da passada é o inverso do período e o comprimento é a razão entre a velocidade da esteira e a frequência (DANION et al., 2003).

Tratamento estatístico

Para verificar se o comprimento e a frequência da passada sofreram alterações em decorrência da inclinação da esteira, utilizou-se a anova *one way* para testar a hipótese nula de que as médias das variáveis em questão não distinguiram entre si devido à mudança no gradiente da esteira. Nos casos em que a hipótese nula foi rejeitada, ou seja, quando foram encontradas diferenças significativas entre as médias investigadas, utilizou-se o teste de comparação múltipla de Tukey para constatar entre quais situações ocorreram estas distinções. A significância estatística adotada foi de 5% ($p < 0,05$) e as análises foram feitas em ambiente Matlab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo verificar se o comprimento e a frequência da passada são suscetíveis a mudanças devido à inclinação da superfície de locomoção. A tabela 1 mostra os valores de média e desvio padrão referentes à frequência da passada dos quatro voluntários durante a caminhada e a corrida na descida, plano e subida.

Tabela 1: Valores da frequência da passada de cada participante em cada situação.

Sujeitos	Frequência da Passada (Hz)					
	Caminhada			Corrida		
	-6°	0°	+6°	-6°	0°	+6°
<i>Participante 1</i>	0,98* (0,01)	0,97* (0,01)	0,96* (0,02)	1,22 (0,02)	1,22 (0,02)	1,22 (0,02)
<i>Participante 2</i>	0,96* (0,02)	0,95 (0,02)	0,94* (0,03)	1,27* (0,02)	1,28 (0,02)	1,32* (0,04)
<i>Participante 3</i>	1,06* (0,02)	1,06 (0,02)	1,04* (0,02)	1,30* (0,02)	1,34* (0,03)	1,38* (0,03)
<i>Participante 4</i>	1,00* (0,02)	0,99 (0,02)	0,98* (0,01)	1,25 (0,04)	1,26 (0,02)	1,25 (0,03)

*p<0,05

Com base nos resultados da tabela 1 percebe-se que, para todos os participantes, a oscilação dos membros inferiores é consideravelmente menor durante as situações de marcha do que àquelas vistas na corrida. Estes achados corroboram com os dados da literatura já que as velocidades mais intensas de locomoção exigem maior mobilidade das diferentes estruturas corporais (PAULA et al., 2009). A tabela 2 ilustra os valores de média e desvio padrão do comprimento da passada dos quatro voluntários durante a locomoção em declive, plano e aclive.

Tabela 2: Valores do comprimento da passada de cada participante em cada situação.

Sujeitos	Comprimento da Passada (m)					
	Caminhada			Corrida		
	-6°	0°	+6°	-6°	0°	+6°
<i>Participante 1</i>	1,52* (0,02)	1,54* (0,01)	1,57* (0,03)	1,81 (0,03)	1,80 (0,03)	1,81 (0,03)
<i>Participante 2</i>	1,57* (0,03)	1,57 (0,04)	1,60* (0,05)	1,73* (0,03)	1,72 (0,03)	1,67* (0,04)
<i>Participante 3</i>	1,41* (0,03)	1,42 (0,03)	1,45* (0,02)	1,69* (0,03)	1,64* (0,03)	1,59* (0,03)
<i>Participante 4</i>	1,51* (0,03)	1,52 (0,03)	1,54* (0,02)	1,76 (0,05)	1,75 (0,03)	1,75 (0,05)

*p<0,05

Os resultados da tabela 2 mostram que, independentemente do gradiente, a corrida exige maior amplitude da passada do que a situação de marcha. Portanto, as duas variáveis cinemáticas investigadas aumentaram consideravelmente ao modificar o modo de locomoção. Este fenômeno ocorre porque a única forma de aumentar a velocidade de caminhada e/ou corrida é aumentando a frequência e/ou o comprimento da passada (DANION et al., 2003).

Entre os voluntários, nota-se que o terceiro avaliado apresentou valores bem mais altos na frequência da passada e, conseqüentemente, mais baixos na amplitude da passada do que os demais participantes. Krul et al. (2007) relata que os aspectos antropométricos influenciam diretamente a amplitude da passada e, por este motivo, acredita-se que esta seja a explicação para o ocorrido já que se trata de uma mulher e por ser a mais baixa entre os avaliados.

Segundo Gottschall e Kram (2005) a inclinação da esteira obriga o sujeito a modificar o padrão de

movimento dos membros inferiores. Talvez seja por isto que, durante a caminhada, todos os participantes apresentaram diferenças significativas tanto no comprimento como na frequência da passada entre o declive e o aclave – sendo que o aumento do gradiente proporcionou valores mais altos na amplitude e menores na oscilação dos membros inferiores.

De forma análoga, durante a corrida, dois participantes apresentaram diferenças significativas nas variáveis entre a superfície declinada e inclinada. Por outro lado, os outros dois voluntários não apresentaram diferenças significativas devido à inclinação da esteira. Porém, diferentemente da marcha, verificou-se que a frequência tende a aumentar e o comprimento da passada tende a diminuir conforme se aumenta o gradiente – o que parece ser uma estratégia para amenizar as forças de reação do solo que atuam no aparelho locomotor (DERRICK et al., 1998).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados da presente pesquisa mostram que as variáveis espaço-temporais tendem a se modificar em decorrência da mudança do gradiente da esteira. Durante a caminhada, os voluntários aumentaram a amplitude e diminuíram a frequência da passada em função do aumento da inclinação da esteira. Por outro lado, na corrida, as variáveis investigadas apresentaram comportamento oposto aqueles observados durante a marcha.

Devido ao baixo número de indivíduos avaliados, sugere-se, para estudos futuros, avaliar um maior número de voluntários para obter resultados mais conclusivos e melhor compreender as alterações cinemáticas ocasionadas pela locomoção na superfície declinada, plana e inclinada. Além disto, seria interessante também aumentar o número de gradientes a serem investigados.

REFERÊNCIAS

- DANION, F., VARRAINE, E., BONNARD, M., PAILHOUS, J. (2003), "Stride variability in human gait: the effect of stride frequency and stride length". *Gait & Posture*, 18, 69-77.
- DERRICK, T.R., HAMILL, J., CALDWELL, G.E. (1998), "Energy absorption of impacts during running at various stride lengths". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 128-135.
- GOTTSCHALL, J.S., KRAM, R. (2005), "Ground reaction forces during downhill and uphill running". *Journal of Biomechanics*, 38, 445-452.
- HIRASAKI, E., MOORE, S.T., RAPHAN, T., COHEN, B. (1999), "Effect of walking velocity on head and body movements during locomotion". *Experimental Brain Research*, 127, 117-130.
- JORDAN, K., CHALLIS, J. H., NEWELL, K. M. (2007), "Walking speed influences on gait cycle variability". *Gait & Posture*, 26, 128-134.
- KRUEL, L.F.M., TARTARUGA, L.A.P., COERTJENS, M., OLIVEIRA, A.S., RIBAS, L.R., TARTARUGA, M.P. (2007), "Influências das variáveis antropométricas na economia de corrida e no comprimento de passada em corredoras de rendimento". *Motriz*, 13, 1: 1-6.
- LAKANY, H. "Extracting a diagnostic gait signature". (2008), *Pattern Recognition*, 41, 1627-1637.
- NOVACHECK, T. F. (1998), "The biomechanics of running". *Gait and Posture*, 7, 77-95.
- PAULA, M.C., CAMPOS, M.H., MEIRELLES, A.A., MORAES, M.A.A, BREZIKOFER, R. (2009), "Relação da amplitude de movimento da coluna vertebral, do comprimento e da frequência da passada com a velocidade de marcha e corrida". *Revista Brasileira de Biomecânica*, 18, 1-8.
- TAYLOR, N. F., EVANS, O. M., GOLDIE, P. A. (1996), "Angular movements of the lumbar spine and pélvis can be reliably measured after 4 minutes of treadmill walking". *Clinical Biomechanics*, 11, 484-486.
- WATERS, R. L., MULROY, S. (1999), "The energy expenditure of normal and pathologic gait. Review". *Gait & Posture*, 9, 207-231.