


Efeitos do uso de calçado biomimético na marcha de crianças típicas

Effects of Biomimetic Shoes on Healthy Young Children's Gait

Liria Akie Okai-Nobrega^{1,2}  Thiago Ribeiro Teles Santos³ Ana Paula Lage²
Priscila Albuquerque de Araújo¹ Thales Rezende Souza¹ Sergio Teixeira Fonseca¹

¹ Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil

² Anamê Ciência e Tecnologia em Produtos para Saúde Infantil, Belo Horizonte, MG, Brasil

³ Faculdade de Educação Física e Fisioterapia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil

Endereço para correspondência Liria Akie Okai-Nóbrega, Departamento de Fisioterapia, EEFFTO- Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Brasil (e-mail: okainobrega@gmail.com).

Rev Bras Ortop 2024;59(3):435–442.

Resumo

Objetivo O objetivo deste trabalho foi comparar os parâmetros espaço temporais e cinemáticos da marcha de crianças típicas em três condições: descalças, usando calçados biomiméticos e, calçados de uso diário (não biomiméticos - próprios das crianças).

Métodos Foram analisadas variáveis espaço temporais (velocidade, comprimento e largura da passada), deslocamento vertical do centro de massa (CM), pico de flexão do joelho e altura máxima do pé, coletados via avaliação tridimensional do movimento.

Resultados Comparado com a condição descalça, o uso do calçado biomimético não foi estatisticamente diferente em relação a velocidade da marcha, comprimento da passada e altura do pé. A largura da passada e a altura do pé não foi diferente estatisticamente entre as condições estudadas. O pico de flexão do joelho foi maior nas condições com calçados comparado a condição descalça. Os calçados de uso diário apresentaram maior deslocamento vertical do COM do que nas condições com o calçado biomimético e descalço.

Conclusão Os achados deste trabalho reafirmam que o uso do calçado influencia a marcha de crianças, especificamente na fase de desenvolvimento da marcha mas, que calçados com um design biomimético tem menores impactos no padrão de marcha das crianças.

Palavras-chave

- ▶ biomecânica
- ▶ biomimético
- ▶ caminhada
- ▶ criança
- ▶ lactente
- ▶ marcha
- ▶ sapatos

Abstract

Objective To compare the spatial-temporal parameters and walking kinematics of toddlers wearing biomimetic shoes, regular shoes (daily use owned shoes), and barefoot.

Methods Spatial-temporal parameters (speed, step length, and stride width), the mean vertical displacement of the center of mass (COM), knee flexion peak, and maximal foot height were analyzed.

Trabalho desenvolvido no Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

recebido
10 de novembro de 2022
aceito
27 de fevereiro de 2023

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0043-1771006>.
ISSN 0102-3616.

© 2023. The Author(s).

This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Thieme Revinter Publicações Ltda., Rua do Matoso 170, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20270-135, Brazil

Keywords

- ▶ biomechanics
- ▶ biomimetics
- ▶ child
- ▶ gait
- ▶ infant
- ▶ shoes
- ▶ walking

Results Children were not different in biomimetic shoes and barefoot conditions on speed, step length, and COM vertical displacement. There was no difference among conditions on stride width and foot height. The knee flexion peak was greater in shod conditions than barefoot. The regular shoes showed greater COM vertical displacement than biomimetic shoes and barefoot.

Conclusion The findings showed that shoes affected the walking pattern in young children, but a shoe with a biomimetic design had a lesser effect on the walking pattern.

Introdução

Calçados são a interface primária entre o corpo e o solo e contribuem na forma em que as forças de reação do solo são aplicadas ao pé e transferidas para o corpo todo.^{1,2} Poucos são os estudos que avaliam os efeitos dos calçados na marcha em crianças na fase de desenvolvimento e aquisição da marcha.³ A marcha independente é um marco do desenvolvimento motor que acontece em bebês, em média, por volta dos doze meses de idade.⁴ Nessa fase, a marcha é uma experiência nova para essas crianças, uma vez que nunca haviam experienciado concomitantemente, a postura ortostáticas associadas as posturas dinâmicas bipodais e unipodais necessárias para o domínio da marcha.⁵ Além disso, o padrão de marcha adotado por crianças pequenas difere dos adultos devido à sua própria antropometria (por exemplo, distribuição de massa corporal) e refinamentos contínuos característicos do desenvolvimento de tarefas motoras.⁶ Essas características específicas da marcha de crianças pequenas contribuem para a importância de elementos externos, como calçados, que interferem diretamente, no desenvolvimento desse marco motor crítico.⁷

Detalhes experimentais como roupas, sapatos e diferentes tipos de solos aos quais as crianças caminham, influenciam os movimentos das crianças, mas raramente são relatados em pesquisas.⁸ Apesar disso, a vida urbana impõe regras sociais e de segurança como o uso de calçados. O principal papel dos calçados é proteger os pés das crianças de lesões decorrentes de superfícies ásperas ou irregulares, impacto excessivo e ambientes frios e úmidos.⁸⁻¹⁰ Apesar dos seus muitos benefícios, os calçados trazem também desvantagens. Há muitos estudos que indicam que o desenvolvimento ideal do pé ocorre em condições sem o uso do sapato, ou seja, descalços.⁸⁻¹⁰ Dessa forma, os *designs* de sapatos infantis deveriam proporcionar uma experiência semelhante à condição de pés descalços, considerando a absorção de choque e a distribuição de carga.^{10,12}

O andar descalço desenvolve a força muscular e a mobilidade do pé e contribui para uma maior variabilidade de condições e estímulos no arco plantar medial.^{9,13} A movimentação descalça em solos naturais permite a marcha sobre um substrato macio, como areia, o que afeta a mecânica e a energia de locomoção.¹⁴ O caminhar no mundo real requer enfrentar desafios em superfícies irregulares, o que exige ajustes constantes do padrão de movimento do corpo para manutenção da estabilidade. Michael et al.¹⁵ afirmaram que

sapatos com formato anatômico permitem a estruturação e função biologicamente normais dos pés. Com uma inspiração no caminhar na areia e na natureza (chamado biomimetismo), existe um calçado comercial para crianças pequenas que fez uso de polímeros para simulação do caminhar e um substrato macio e dinâmico na sua entresola. Com este *design* inspirado na natureza, este sapato se propõe a respeitar a morfologia dos pés da criança (antepé arredondado) e proporcionar melhores condições para o desenvolvimento do pé, principalmente nesta fase de aquisição de marcha.¹⁶

Este estudo investigou se o uso de calçados biomiméticos influencia os padrões de marcha de crianças pequenas. Mais especificamente, este estudo teve como objetivo comparar os parâmetros espaço-temporais e a cinemática da marcha de crianças usando calçados biomiméticos, calçados de uso regular (calçados próprios das crianças, de uso diário) e descalças. A hipótese deste trabalho é que a marcha com calçados biomiméticos teria um padrão mais semelhante ao andar descalço do que o uso de calçados regulares, não biomiméticos.

Métodos**Delineamento Experimental e Participantes**

Este estudo experimental foi transversal e de medidas repetidas. Vinte crianças com desenvolvimento típico (1 a 3 anos de idade) participaram deste estudo. A amostra foi recrutada com base em amostragem por conveniência com a ajuda de estudantes da universidade e membros da comunidade local. Os critérios de inclusão foram crianças nascidas a termo, de desenvolvimento normal, sem histórico de problemas médicos significativos, capazes de andar de forma independente (ou seja, sem apoio) e tamanho do pé entre 10 e 16,6 cm. Os critérios de exclusão foram crianças maiores de 3 anos, com queixa de dor durante a marcha, em uso de qualquer medicação neurológica sistêmica e incapazes de completar toda a coleta de dados. O termo de consentimento livre e esclarecido foi assinado por todos os pais e os procedimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade (66806317.1.0000.5149).

Procedimentos

As configurações do laboratório e os procedimentos experimentais foram adaptados para oferecer um ambiente confortável para as crianças. Antes do registro da marcha, um dos pais segurava a criança pela mão adaptação e exploração do ambiente. Os dados cinemáticos dos membros inferiores

foram adquiridos com base em 13 marcadores retrorrefletivos (com 8 mm de diâmetro) colocados no sacro, trocânteres maiores do fêmur, epicôndilos laterais do fêmur, maléolos laterais, tuberosidades calcâneas, primeira e quinta cabeças do metatarso (►Fig. 1). A cinemática bilateral dos membros inferiores foi coletada para considerar as assimetrias funcionais descritas em estudos anteriores em crianças saudáveis.⁵ Os marcadores laterais dos membros inferiores foram utilizados, já que experimentos-piloto mostraram que os marcadores mediais caem com frequência e precisam ser recolocados durante a avaliação. Os dados foram coletados durante a marcha pelo sistema de análise de movimento Qualisys ProReflex MCU (QUALISYS MEDICAL AB®, Gotemburgo, Suíça) a uma taxa de amostragem de 120 Hz. A (►Fig. 2) mostra um fluxograma que ilustra desde a coleta de dados até a análise cinemática. As crianças caminharam em três condições de testes randomizados: descalças, com calçados biomiméticos (►Fig. 3 - Noeh®, www.noeh.com.br, Noeh Baby, Brasil) e com calçados regulares (calçados próprios de uso diário - ►Fig. 4). A condição descalça foi coletada como a avaliação inicial dos parâmetros da marcha para comparação ao uso de calçados. Os calçados biomiméticos (Fig. 3) têm *design* biomimético por apresentar uma entressola dinâmica, imitando o substrato areia, como descrito por Lage (2014). Além disso, nenhuma criança estava familiarizada com esses sapatos biomiméticos antes da coleta de dados. O tamanho dos sapatos foi verificado *a priori* para assegurar o ajuste adequado. Para os calçados regulares (►Fig. 4), foi solicitado aos pais que trouxessem os calçados fechados mais confortáveis e de uso diário, à exceção de chinelos ou sandálias abertas. Todas as crianças usaram apenas fraldas descartáveis para aquisição de dados. Cada participante caminhou cerca de dez tentativas em cada condição experimental.

Durante o registro de dados, as crianças foram encorajadas a caminhar em direção a um dos pais ou pesquisador em

velocidade autosselcionada. As crianças andaram sobre uma plataforma elevada (10 cm de altura) e todos os procedimentos foram realizados pelo mesmo examinador experiente e três assistentes científicos treinados. O responsável pela criança e um integrante da equipe de pesquisa permaneceram ao lado dos participantes para evitar quedas.

Análise de Dados

Os arquivos de dados foram analisados usando o *software* Qualisys Track Manager (QUALISYS MEDICAL AB®, Gotemburgo, Suíça). Os dados cinemáticos foram exportados para processamento no *software* Visual3D (C-Motion, Inc., Rockville, Estados Unidos). Os dados brutos foram inicialmente submetidos a um filtro Butterworth passa-baixa de quarta ordem com corte de 6 Hz. Os seguintes segmentos de membros foram definidos como segmentos rígidos (►Fig. 5): pelve (linha entre o marcador do sacro e o marcador do trocânter maior do fêmur), coxa (linha entre o marcador do trocânter maior do fêmur e o marcador do epicôndilo lateral do fêmur), perna (linha entre o epicôndilo lateral do fêmur e o marcador do maléolo lateral) e pé (linha entre o marcador da tuberosidade calcânea e o ponto médio entre a primeira e a quinta cabeças do metatarso). Os eventos necessários para definir o ciclo da marcha foram criados com base no método adaptado para crianças por Ivanenko et al.¹⁷ Em resumo, o ângulo de elevação (α , ►Fig. 5) de cada membro correspondia ao ângulo entre o eixo principal do membro e a vertical (z). O contato inicial e a retirada do pé foram determinados com os maiores e menores valores de ângulo de elevação, respectivamente. Além disso, todos os eventos foram verificados visualmente de forma individual e ajustados quando necessário.

Trinta a quarenta ciclos de marcha de cada participante foram selecionados para análise. Cada ciclo de marcha foi normalizado para 100% (do contato inicial ao próximo contato inicial). Os seguintes parâmetros espaço-temporais foram extraídos: velocidade da marcha, comprimento e

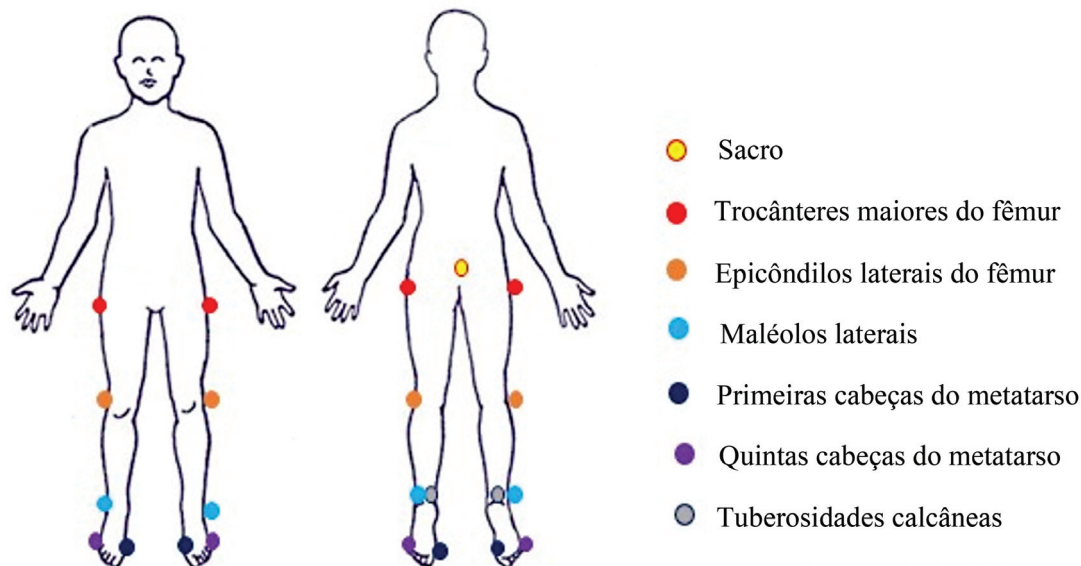


Fig. 1 Protocolo de configuração do marcador usado para coleta de parâmetros espaço-temporais e cinemáticos.

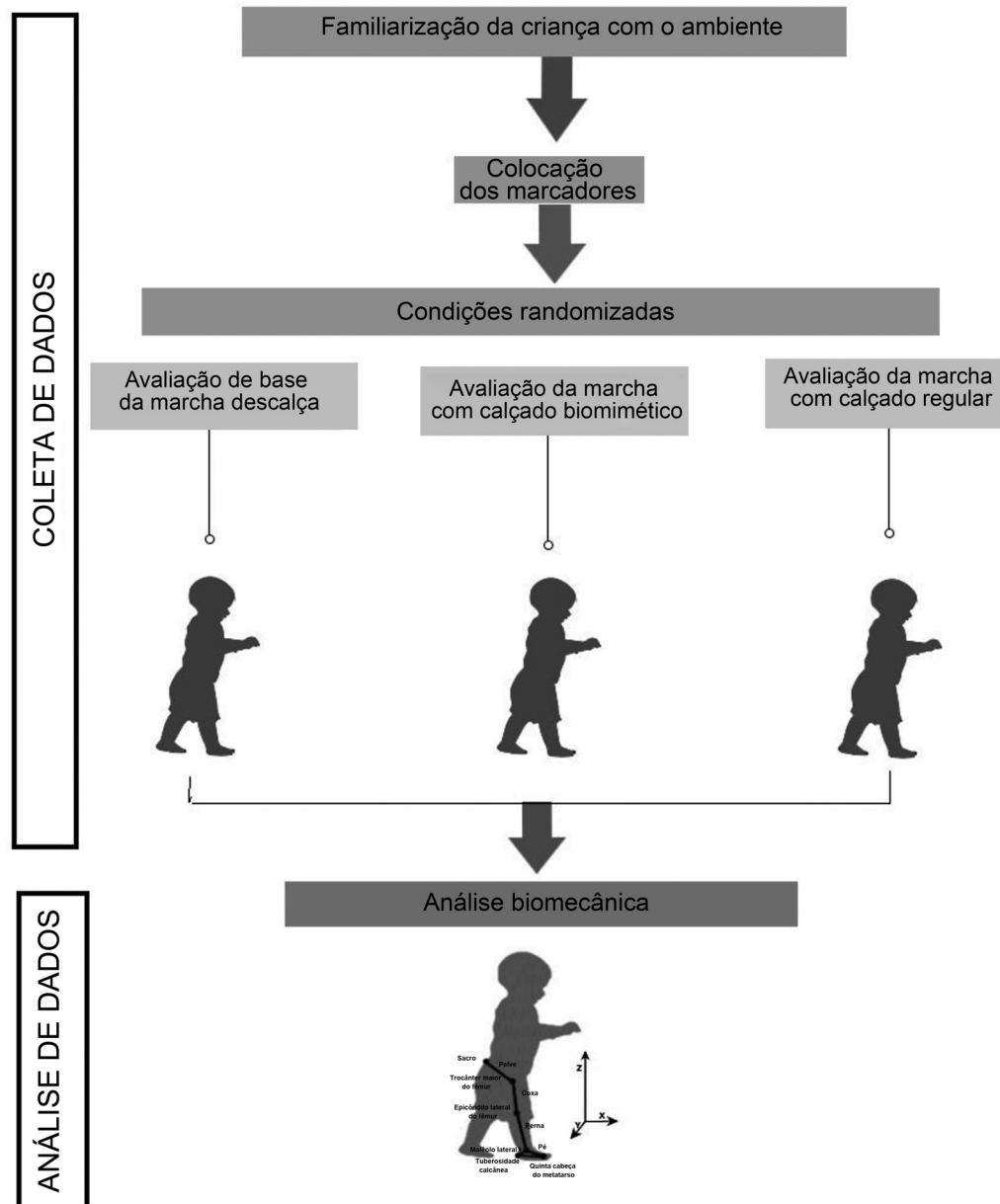


Fig. 2 Fluxograma mostrando desde a coleta de dados até a análise dos dados: i) a criança foi familiarizada com o ambiente de coleta biomecânica; ii) protocolo de colocação de marcadores passivos em pontos anatômicos; iii) a criança foi orientada a andar em três condições randomizadas (descalça, com sapatos biomiméticos e sapatos comuns); iv) análise biomecânica.

largura da passada. Além disso, o deslocamento vertical médio do centro de massa (CM) do corpo¹⁸ foi calculado com base no marcador retrorrefletivo colocado no sacro. Estudos mostraram que esse marcador estima o deslocamento vertical do CM.¹⁸ Por fim, foram calculadas as seguintes variáveis relacionadas à elevação do pé em relação ao solo: o pico de flexão do joelho^{19,20} e a altura máxima do pé durante a fase de balanço. A altura máxima do pé foi considerada o pico máximo de deslocamento vertical do centro de massa do pé.

Análise Estatística

Os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância foram confirmados antes da execução dos testes inferenciais. Uma análise unicaudal de medidas repetidas

(ANOVA) determinou o efeito da condição (descalça, com calçados biomiméticos e com calçados regulares) na velocidade, largura da passada e deslocamento vertical médio de CM. Uma ANOVA bicaudal de medidas repetidas investigou o efeito da condição e do lado (direito e esquerdo) no comprimento da passada, pico de flexão do joelho e altura máxima do pé. Um teste *post-hoc* foi realizado para identificar diferenças pareadas em caso de detecção de um efeito principal significativo à ANOVA. Todas as análises consideraram a probabilidade de erro de tipo I de 0,05. Os tamanhos dos efeitos f e dz de Cohen foram calculados e interpretados da seguinte maneira: pequenos ($f=0,10$ e $dz=0,20$), médios ($f=0,25$ e $dz=0,50$) e grandes ($f=0,40$ e $dz=0,80$) (Cohen, 1969). A análise estatística foi realizada em IBM SPSS Statistics 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, Estados Unidos).



Fig. 3 O sapato biomimético. As imagens da esquerda para a direita mostram as vistas de cima, de baixo, do lado medial e lateral do tênis.

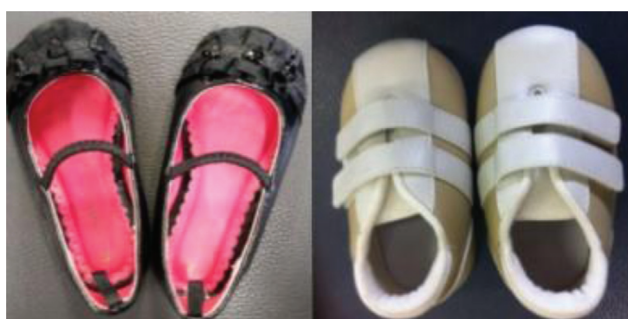


Fig. 4 Imagem com dois exemplares de sapatos comuns de uso diário.

dos parâmetros espaço-temporais e cinemáticos. A princípio, foram recrutadas 20 crianças; no entanto, dados de dezenove crianças (52% de meninas, idade: $14,8 \pm 2,0$ meses, massa corporal: $10,23 \pm 1,19$ kg e altura: $0,77 \pm 0,04$ m) foram analisados. Todas caminhavam sozinhas há mais de 1 mês. Uma criança foi excluída por se recusar a realizar uma das condições analisadas. Além disso, em uma criança, havia dados de ângulo do joelho de apenas um lado com sapatos comuns, já que os dados contralaterais estavam ausentes. Todas as crianças vieram com calçados baixos (sem salto) de uso diário e regular: 33,3% usavam sapatos, conforme ilustrado na **Fig. 4** (à direita), e 66,6% usavam tênis, como mostra a **Fig. 4** (à esquerda).

Resultados

A **Tabela 1** mostra dados descritivos, valores de p, tamanhos de efeito e poder estatístico das análises inferenciais

Parâmetros Espaço-temporais

A velocidade diferiu nas três condições (**Tabela 1**). A análise *post-hoc* mostrou que as crianças andavam mais

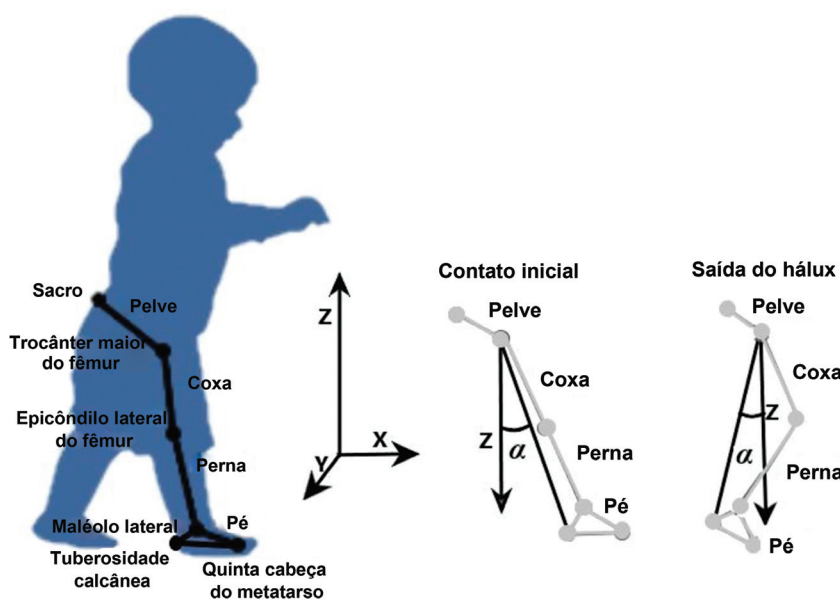


Fig. 5 Marcadores anatômicos usados para modelamento dos segmentos corporais dos membros inferiores: pelve, coxa, perna e pé. Os ângulos de elevação (α) foram computados em relação ao eixo principal do membro (do trocânter maior do fêmur à tuberosidade calcânea) e vertical (Z). O contato inicial foi determinado como o maior ângulo de elevação (α) e o *foot-off* foi o menor ângulo de elevação (α).

devagar quando usavam calçados biomiméticos do que calçados regulares. Não houve diferenças em relação aos pés descalços.

O comprimento da passada também foi diferente entre as condições (–Tabela 1). A análise *post-hoc* revelou que as crianças apresentaram comprimento menor da passada ao usarem calçados biomiméticos em comparação a calçados regulares. Não houve diferença no comprimento da passada entre as condições calçada e descalça. Além disso, não houve diferença entre comprimentos da passada direita e esquerda nem efeito de interação entre condição e lado.

A largura da passada não foi diferente entre as condições (–Tabela 1).

Parâmetros Cinemáticos

O deslocamento vertical médio do CM foi maior em crianças com calçados regulares em comparação àquelas descalças ou com calçados biomiméticos (–Tabela 1). Além disso, esta variável não apresentou diferença estatística entre as condições com calçados biomiméticos e descalço.

O pico de flexão do joelho também foi diferente entre as condições. A análise *post-hoc* mostrou que as crianças com o uso de sapatos apresentaram maior pico de flexão do joelho do que com os pés descalços. Esta variável não foi diferente entre as condições com calçados. Além disso, não houve diferença entre os picos de flexão do joelho direito e esquerdo nem efeito de interação entre a condição e o lado.

A altura máxima do pé durante a fase de balanço não foi diferente entre as condições ou lados e não houve interação entre condição e lado.

Discussão

O principal achado deste estudo foi que os calçados com *design* biomimético têm impacto menor do que os calçados comuns nos parâmetros espaço-temporais e na cinemática da marcha de crianças saudáveis. Este estudo comparou as características da marcha de crianças pequenas em três condições: calçados biomiméticos, calçados regulares de uso diário e pés descalços. Há poucas evidências de qualidade e de confiabilidade razoável que afirmam que calçados, principalmente os infantis, alterariam os parâmetros biomecânicos da marcha.^{20,21} Este trabalho indicou que calçados com *design* biomimético têm um impacto menor nos padrões de marcha de crianças pequenas, sendo similares ao andar descalço.

Como medida global da marcha, os parâmetros espaço-temporais podem fornecer informações sobre as diferenças entre as três condições de caminhada. A velocidade de marcha o comprimento da passada apresentaram diferenças significativas, com grande tamanho de efeito, entre as condições. Estudos anteriores relataram que andar calçado aumenta a velocidade da marcha em comparação aos pés descalços.^{2,22} Por outro lado, outros autores não observaram esta diferença.^{3,7,20,23} No presente estudo, a velocidade da marcha com calçados biomiméticos não foi diferente em comparação aos pés descalços; no entanto, houve diferenças entre os calçados biomiméticos e regulares. A entressola biomimética forma uma superfície de contato irregular para a região plantar

do pé. Esse desafio pode ter contribuído para a redução da velocidade de marcha das crianças. Shkuratova et al.²⁴ descreveram que a menor velocidade de marcha pode melhorar sua estabilidade. Quando a velocidade de marcha foi diretamente manipulada em adultos jovens, as velocidades menores diminuíram a instabilidade dinâmica local, apesar do aumento da variabilidade.²⁴ Assim, a redução da velocidade pode ser uma adaptação da criança para melhorar a estabilidade da marcha ao usar sapatos não usuais que proporcionam uma superfície de contato mais macia para os pés.

O comprimento da passada foi maior com calçados regulares em comparação aos calçados biomiméticos. O aumento do comprimento da passada com o uso do calçado corrobora com a literatura prévia.^{2,10,20,22,23} No entanto, usar calçados biomiméticos não foi diferente de estar descalço. Além disso, o deslocamento vertical médio do CM também não foi afetado pelos calçados biomiméticos em comparação aos pés descalços. O movimento do CM durante a marcha pode representar um indicador resumido do movimento de todo o sistema corporal.^{25,26} Esse comportamento pode fornecer informações gerais sobre a mecânica da marcha quanto ao gasto energético e a eficiência mecânica. Nossos resultados indicaram que o deslocamento vertical médio do CM com calçados regulares foi maior do que nas outras duas condições. Este resultado pode estar relacionado com a maior velocidade^{26,27} obtida com o uso de calçados regulares, de uso diário, também apresentada em nossos dados. Além disso, essa diferença de comportamento do CM pode contribuir para um maior custo metabólico da marcha²⁸ com calçados regulares em comparação a calçados biomiméticos ou pés descalços.

O pico de flexão do joelho diferiu entre as condições com calçados e pés descalços (tamanho de efeito grande). Nossos resultados condizem com a literatura² já que um pequeno aumento no pico de flexão do joelho foi observado com o uso de calçados em comparação aos pés descalços. Esta alteração pode ser atribuída ao aumento de peso relacionado ao uso dos calçados. O maior do peso dos calçados distalmente pode aumentar a flexão do joelho durante a marcha. Dominici et al.²⁹ concluíram que a maior elevação do pé poderia ser uma estratégia simples e segura para evitar possíveis tropeços e quedas e reduzir o efeito do arrasto involuntário do pé e a atividade de dorsiflexão.

Até onde sabemos, nenhum estudo investigou o impacto de calçados com *design* biomimético em crianças. O presente estudo não rastreou os segmentos corporais de forma tridimensional, o que limitou os resultados. O rastreamento tridimensional requer a colocação de mais marcadores retrorreflexivos nas crianças. Durante o estudo-piloto, descobrimos que algumas crianças não toleram a colocação de múltiplos marcadores em seus corpos. Além disso, os marcadores anatômicos utilizados para definir o segmento do pé foram colocados sobre os sapatos e não diretamente na pele do pé. Outra limitação foi que os participantes usavam calçados regulares diferentes. Uma vez que escolheram o mais habitual e confortável, as características dos calçados regulares diferiram entre todos os participantes. Além disso, os resultados deste estudo foram de efeito imediato do uso do calçado biomimético. Assim, nossa pesquisa não considerou

Tabela 1 Estatísticas descritivas e inferenciais das variáveis espaço-temporais e cinemáticas (n = 19)

Variável	Estatística descritiva – média (DP)						ANOVA		Post-hoc – Principal efeito da condição					
	Sapato biomimético		Descalço		Sapato comum		Efeito principal		Efeitos de interação		Sapato biomimético x descalço	Sapato biomimético x sapato comum	Descalço x sapato comum	
	Direito	Esquerdo	Direito	Esquerdo	Direito	Esquerdo	Condição	Lado						
Parâmetros espaço-temporais														
Velocidade (m/s)	0,59 (0,20)		0,63 (0,21)		0,69 (0,24)		p = 0,05* F (2,36) = 3,21 f = 0,42 Poder = 0,58				p = 0,28 t (18) = -1,12 dz = 0,26 Poder = 0,18	p = 0,02* t (18) = -2,52 dz = 0,58 Poder = 0,66	p = 0,19 t (18) = -1,37 dz = 0,31 Poder = 0,25	
Comprimento da passada (m)	0,23 (0,05)	0,21 (0,06)	0,22 (0,05)	0,22 (0,05)	0,24 (0,06)	0,24 (0,06)	p = 0,04* F (2,36) = 3,58 f = 0,45 Poder = 0,63	p = 0,35 F (1,18) = 0,92 f = 0,23 Poder = 0,15	p = 0,06 F (2,36) = 3,08 f = 0,42 Poder = 0,56	p = 0,96 t (18) = -0,06 dz = 0,01 Poder = 0,05	p = 0,02* t (18) = -2,49 dz = 0,57 Poder = 0,65	p = 0,06 t (18) = -1,98 dz = 0,45 Poder = 0,47		
Largura da passada (m)	0,11 (0,03)		0,11 (0,02)		0,11 (0,02)		p = 0,71 F (2,36) = 0,34 f = 0,14 Poder = 0,10							
Parâmetros cinemáticos														
Deslocamento médio vertical de CM (m)	0,016 (0,006)		0,016 (0,006)		0,019 (0,006)		p = 0,02* F (2,36) = 4,13 f = 0,48 Poder = 0,69				p = 0,82 t (18) = -0,23 dz = 0,05 Poder = 0,06	p = 0,01* t (18) = -2,99 dz = 0,68 Poder = 0,81	p = 0,05* t (18) = -2,06 dz = 0,47 Poder = 0,50	
Pico de flexão do joelho (°)	76,5 (9,4)	71,1 (9,0)	71,0 (11,0)	67,5 (9,2)	75,0 (9,1)	75,1 (13,8)	p = 0,01* F (1,5,34) = 6,48 f = 0,62 Poder = 0,80	p = 0,06 F (1,17) = 3,92 f = 0,48 Poder = 0,46	p = 0,19 F (1,3,34) = 1,73 f = 0,31 Poder = 0,27	p < 0,01* t (18) = 3,92 dz = 0,90 Poder = 0,96	p = 0,48 t (17) = -0,73 dz = 0,17 Poder = 0,10	p = 0,01* t (17) = -2,81 dz = 0,66 Poder = 0,73		
Altura máxima do pé (m)	0,098 (0,017)	0,096 (0,017)	0,089 (0,014)	0,089 (0,013)	0,093 (0,019)	0,092 (0,018)	p = 0,07 F (2,36) = 2,85 f = 0,40 Poder = 0,52	p = 0,41 F (1,18) = 0,72 f = 0,20 Poder = 0,13	p = 0,87 F (2,36) = 0,15 f = 0,10 Poder = 0,07					

Observação: DP = Desvio-padrão; CM = centro de massa, * = p < 0,05; F (x,y) = F estatístico (graus de liberdade), f = tamanho do efeito do f de Cohen, dz = tamanho do efeito do dz de Cohen.

o impacto dos calçados biomiméticos em longo prazo. Mais pesquisas sobre o uso de calçados com *design* biomimético por períodos maiores podem melhorar a compreensão do efeito desses calçados.

Conclusão

O presente estudo mostrou que o uso de calçados biomiméticos não alterou a velocidade de caminhada, o comprimento da passada, a largura da passada e o deslocamento vertical do CM em comparação à marcha descalça em crianças pequenas durante o início da fase de aquisição da marcha. O pico de flexão do joelho foi influenciado pelo uso de ambos os calçados avaliados. Os calçados regulares geraram maior deslocamento vertical do CM do que os calçados biomiméticos e a marcha descalça. Portanto, o *design* do calçado biomimético pode proporcionar uma experiência de marcha semelhante ao andar descalço, com menor impacto no padrão de caminhada.

Suporte Financeiro

Este estudo foi parcialmente financiado pelas seguintes agências brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Código Financeiro 001), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Conflito de Interesses

Liria Akie Okai-Nóbrega e Ana Paula Lage trabalham na Anamê Ciência e Tecnologia em Produtos para Saúde Infantil. Os demais autores não têm conflitos de interesse. A Dra. Lage recebeu, durante a realização do estudo, prêmio de Inovação SESI/SENAI; além disso, a Dra. Lage tem patentes pendentes (Brasil, Índia e União Européia) do calçado biomimético.

Referências

- Hill M, Healy A, Chockalingam N. Key concepts in children's footwear research: a scoping review focusing on therapeutic footwear. *J Foot Ankle Res* 2019;12(01):25
- Wegener C, Hunt AE, Vanwanseele B, Burns J, Smith RM. Effect of children's shoes on gait: a systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res* 2011;4:3
- Cranage S, Perraton L, Bowles KA, Williams C. The impact of shoe flexibility on gait, pressure and muscle activity of young children. A systematic review. [published correction appears in *J Foot Ankle Res*. 2020 Jan 20;13:4] *J Foot Ankle Res* 2019;12:55
- WHO Multicentre Growth Reference Study Group. WHO Motor Development Study: windows of achievement for six gross motor development milestones. *Acta Paediatr Suppl* 2006;450:86-95
- Ledeht A, van Wieringen PCW, Savelsbergh GJP. Functional significance of foot rotation asymmetry in early walking. *Infant Behav Dev* 2004;27(02):163-172
- Ivanenko YP, Dominici N, Lacquaniti F. Development of independent walking in toddlers. *Exerc Sport Sci Rev* 2007;35(02):67-73
- Buckland MA, Slevin CM, Hafer JF, Choate C, Kraszewski AP Hospital for Special Surgery Pediatric Research Team. The effect of torsional shoe flexibility on gait and stability in children learning to walk. *Pediatr Phys Ther* 2014;26(04):411-417
- Morrison SC, Price C, McClymont J, Nester C. Big issues for small feet: developmental, biomechanical and clinical narratives on children's footwear. *J Foot Ankle Res* 2018;11:39
- Staheli LT. Shoes for children: a review. *Pediatrics* 1991;88(02):371-375
- Wolf S, Simon J, Patikas D, Schuster W, Armbrust P, Döderlein L. Foot motion in children shoes: a comparison of barefoot walking with shod walking in conventional and flexible shoes. *Gait Posture* 2008;27(01):51-59
- Holowka NB, Wynands B, Drechsel TJ, et al. Foot callus thickness does not trade off protection for tactile sensitivity during walking. *Nature* 2019;571(7764):261-264
- Kurup HV, Clark CI, Dega RK. Footwear and orthopaedics. *Foot Ankle Surg* 2012;18(02):79-83
- Hollander K, de Villiers JE, Sehner S, et al. Growing-up (habitually) barefoot influences the development of foot and arch morphology in children and adolescents. *Sci Rep* 2017;7(01):8079
- Pinnington HC, Lloyd DG, Besier TF, Dawson B. Kinematic and electromyography analysis of submaximal differences running on a firm surface compared with soft, dry sand. *Eur J Appl Physiol* 2005;94(03):242-253
- Wilkinson M, Stoneham R, Saxby L. Feet and Footwear: Applying Biological Design and Mismatch Theory to Running Injuries. *Int J Sports Exerc Med* 2018;4(02):1-7
- Lage APP. O bebê e o desenvolvimento da marcha: uma abordagem para o design de calçados [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais; 2014
- Ivanenko YP, Dominici N, Cappellini G, Dan B, Cheron G, Lacquaniti F. Development of pendulum mechanism and kinematic coordination from the first unsupported steps in toddlers. [published correction appears in *J Exp Biol* 2004;207(Pt 22):4011] *J Exp Biol* 2004;207(Pt 21):3797-3810
- Bisi MC, Stagni R. Evaluation of toddler different strategies during the first six-months of independent walking: a longitudinal study. *Gait Posture* 2015;41(02):574-579
- Sutherland DH, Olshen R, Cooper L, Woo SL. The development of mature gait. *J Bone Joint Surg Am* 1980;62(03):336-353
- Williams C, Kolic J, Wu W, Paterson K. Soft soled footwear has limited impact on toddler gait. *PLoS One* 2021;16(05):e0251175
- Hill M, Healy A, Chockalingam N. Effectiveness of therapeutic footwear for children: A systematic review. *J Foot Ankle Res* 2020;13(01):23
- Lythgo N, Wilson C, Galea M. Basic gait and symmetry measures for primary school-aged children and young adults whilst walking barefoot and with shoes. *Gait Posture* 2009;30(04):502-506
- Cranage S, Perraton L, Bowles KA, Williams C. A comparison of young children's spatiotemporal measures of walking and running in three common types of footwear compared to bare feet. *Gait Posture* 2020;81:218-224
- Shkuratova N, Morris ME, Huxham F. Effects of age on balance control during walking. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85(04):582-588
- Cavagna GA, Franzetti P, Fuchimoto T. The mechanics of walking in children. *J Physiol* 1983;343:323-339
- Malloggi C, Rota V, Catino L, et al. Three-dimensional path of the body centre of mass during walking in children: an index of neural maturation. *Int J Rehabil Res* 2019;42(02):112-119
- Orendurff MS, Segal AD, Klute GK, Berge JS, Rohr ES, Kadel NJ. The effect of walking speed on center of mass displacement. *J Rehabil Res Dev* 2004;41(6A):829-834
- Kerrigan DC, Viramontes BE, Corcoran PJ, LaRaia PJ. Measured versus predicted vertical displacement of the sacrum during gait as a tool to measure biomechanical gait performance. *Am J Phys Med Rehabil* 1995;74(01):3-8
- Dominici N, Ivanenko YP, Cappellini G, Zampagni ML, Lacquaniti F. Kinematic strategies in newly walking toddlers stepping over different support surfaces. *J Neurophysiol* 2010;103(03):1673-1684