



Revista de Educação Física

Journal of Physical Education

Home page: www.revistadeeducacaofisica.com



Artigo Original

Original Article

Determinação dos eventos da marcha com diferentes frequências de aquisição em plataformas de força

Determination of Gait Events with Different Force Plate Acquisition Frequencies

Mateus Corrêa Silveira MS^{§1}; Franciele Marques Pivetta²; Carlos Bolli Mota² PhD

Recebido em: 14 de março de 2016. Aceito em: 13 de junho de 2016.
Publicado online em: 29 setembro de 2016.

Resumo

Introdução: A análise da marcha permite avaliar parâmetros da marcha de diferentes populações. Frequentemente essas variáveis estão associadas aos eventos que determinam as fases da marcha: o toque do calcanhar e a saída do pé. Os dados fornecidos por plataformas de força são considerados ideais para detectar o instante correto desses eventos, mas o efeito de diferentes frequências de aquisição adotadas para determiná-los não é muito conhecido.

Objetivo: Determinar o efeito de diferentes frequências de aquisição de plataformas de força para detectar os eventos da marcha.

Métodos: Um homem adulto caminhou na sua velocidade preferida. Os dados cinéticos foram obtidos por duas plataformas de força com frequências de aquisição em 1000 Hz. Após as coletas, os dados foram amostrados novamente em 500 Hz, 250 Hz, 200 Hz e 100 Hz, removendo amostras a partir eliminação de múltiplos. Dois limiares de força foram adotados na detecção dos dois eventos: 5 Newtons e 20 Newtons.

Resultados: Os resultados mostraram diferenças entre todas as frequências de aquisição, exceto 250 Hz e 200 Hz, para o toque do calcanhar e a saída do pé em ambos os limiares de força. Um atraso na detecção dos eventos foi observado à medida que a frequência de aquisição diminuía.

Conclusão: Maiores frequências de aquisição das plataformas são mais apropriadas para a detecção dos eventos da marcha. Os dados cinéticos podem ser mais precisos para definir os tempos de apoio e balanço do que dados cinemáticos.

Palavras-chave: marcha, instrumentação, cinética.

Pontos-Chave Destaque

- A frequência de aquisição é interveniente na obtenção dos eventos da marcha: frequências menores implicam no atraso de informações.
- O uso de dados de plataformas de força é mais adequado para medir os tempos de apoio que o uso de dados cinemáticos.
- A detecção incorreta dos eventos pode implicar em interpretações equivocadas de resultados em características espaço-temporais da marcha.

[§] Autor correspondente: Mateus Corrêa Silveira – e-mail: mm.biomec@gmail.com
Afiliações: ¹Universidade Federal do Paraná, ²Universidade Federal de Santa Maria.

Abstract

Introduction: Gait analysis allows assessing walking parameters of different populations. Frequently, these variables are associated with events which determine the phases of the gait: the heel strike and the foot off. Data provided by force plates are considered a good mean to detect precise event times, however the effect of different data acquisition frequencies adopted are still unknown.

Objective: To determine the effect of different acquisition frequencies of force plates on gait events detection.

Methods: An adult man walked in his preferred gait speed. Kinetic data were obtained by two force plates with acquisition frequency of 1000 Hz. After data collection, the data was resampled again in 500 Hz, 250 Hz, 200 Hz e 100 Hz, removing samples by eliminating multiples. Two force thresholds were adopted to detect gait events: 5 Newtons e 20 Newtons.

Results: Differences between all frequencies of acquisition were shown, except between 250 Hz and 200 Hz, for both heel strike and foot off and force thresholds. A detection delay is observed as the acquisition frequency decrease.

Conclusion: Higher force plates acquisition frequencies are better to detect gait events. Kinect data can be more accurate to define stance and swing times than kinematic data.

Keypoints

- The frequency of acquisition is intervening in getting the gait events: lower frequencies imply delay information.

- The use of force platforms data is more appropriate to measure stance time instead using kinematic data.

- The incorrect detection of events may result in misinterpretations of results in spatiotemporal gait characteristics.

Keywords: gait, instrumentation, kinetics.

Determinação dos eventos da marcha com diferentes frequências de aquisição em plataformas de força

Introdução

A análise biomecânica da marcha é uma das diversas abordagens possíveis para avaliar a estabilidade da caminhada(1-3), momentos articulares(4), ou até mesmo simples parâmetros espaço temporais do andar de diferentes populações(5, 6). Para tais análises, desde as simples até as mais complexas, frequentemente o cálculo das variáveis de interesse está associado ao emprego dos eventos que determinam as fases da marcha: o toque do calcanhar no solo e a saída do pé do solo.

O uso de plataformas de força (detectando os limiares verticais de força) ou de recursos cinemáticos (tentando estimar o momento exato de toque ou saída do pé em relação ao solo) são os principais meios utilizados para identificar os instantes dos eventos da marcha. A partir do uso de instrumentos cinemáticos como câmeras e marcadores, diferentes estudos têm proposto a criação de algoritmos para detectar precisamente os eventos da

marcha(7, 8). Porém, mesmo nestes estudos, o “padrão ouro” usado para confirmar a precisão na determinação dos eventos da marcha é a plataforma de força.

Com isso, a frequência de aquisição dos dados torna-se um fator importante a ser observado, à medida que determina com maior ou menor exatidão o instante de acontecimento dos eventos. Frequências de aquisição mais baixas das plataformas poderiam “retardar” o reconhecimento do toque do pé ou da saída do pé do solo, devido à captura mais intervalada dos quadros e valores de força, o que distorceria parcialmente os resultados encontrados. Como consequência, as comparações dos parâmetros da marcha citados (estabilidade, momento articular, espaço temporais), que são atrelados à detecção destes eventos, podem resultar em falsas diferenças ou igualdades estatísticas. Pouco se sabe, no entanto, de pesquisas que tenham investigado o efeito de diferentes frequências de aquisição

na detecção dos eventos da marcha. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da frequência de amostragem dos dados cinéticos, obtidos a partir de plataformas de força, na determinação dos eventos da marcha. Temos as hipóteses de que (i) as maiores frequências de aquisição apresentarão maior exatidão na detecção dos eventos e (ii) que um maior limiar de detecção atenuará o número de diferenças encontradas entre frequências de aquisição.

Métodos

Desenho de estudo e amostra

Um homem adulto sem problemas musculoesqueléticos ou neuromusculares que comprometessem a execução da marcha participou voluntariamente do estudo (idade: 28 anos; estatura: 1,71 m; massa: 63 kg). O desenho experimental, incluindo os procedimentos e o número de participantes, foi baseado em estudos prévios que testaram a validade da obtenção dos eventos da marcha através de dados cinemáticos(7, 8). O indivíduo assinou um termo de consentimento, o qual esclarecia os procedimentos de coleta e foi previamente aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal de Santa Maria (Protocolo 08437612.8.0000.5346), local onde foi realizado o estudo.

Materiais e procedimentos das coletas de dados

Sete câmeras de infravermelho (VICON Motion System, UK), operando a uma frequência de 200 Hz, rastream o movimento de 16 marcadores (14 mm de diâmetro) colocados em pontos anatômicos da pelve e dos membros inferiores do indivíduo (modelo PlugInGait). Os dados cinemáticos do marcador da espinha ilíaca do quadril esquerdo foram utilizados para analisar a velocidade do indivíduo em cada tentativa, com objetivo de assegurar a ausência de variabilidades excessivas de velocidades e, conseqüentemente, de forças de reação do solo entre as caminhadas. As trajetórias dos marcadores passaram por um filtro passa baixas Butterworth de 4ª ordem, com frequência de corte de 10 Hz.

Para determinar os eventos da marcha, duas plataformas de força (AMTI OR6-6 2000, USA) capturaram os dados cinéticos com frequência de aquisição de 1000 Hz. As plataformas estavam dispostas no percurso de caminhada, alinhadas e não estavam cobertas durante as coletas. A escolha por não cobrir as plataformas objetivou evitar interferências na captura dos dados de força vertical (utilizada na detecção dos eventos), uma vez que as forças de reação do solo (FRS) parecem ser afetadas por materiais colocados sobre a plataforma(1). Porém, nenhuma informação prévia sobre o propósito do estudo foi fornecida ao indivíduo, para que o mesmo não modificasse sua caminhada para acertar propositalmente a pisada na superfície das plataformas de força. Com isso, o indivíduo caminhou repetidas vezes em um percurso de oito metros, passando pelas duas plataformas, até completar 20 tentativas que apresentassem a aterrissagem do pé completamente sobre a superfície da plataforma de força. Após a coleta, duas tentativas com problemas nos dados da pisada foram excluídas, resultando na análise final de 18 tentativas.

Variáveis de estudo

Após a coleta, os dados coletados originalmente com frequência de aquisição (FAQ) ajustada em 1000 Hz (FAQ1000) foram subamostrados nas seguintes FAQ: 100 Hz (FAQ100), 200 Hz (FAQ200), 250 Hz (FAQ250) e 500 Hz (FAQ500). A subamostragem foi realizada eliminando as informações que não seriam registradas no caso da opção por uma frequência mais baixa, removendo amostras a partir da simples eliminação de múltiplos. Adicionalmente, o processamento dos dados contou com dois diferentes limiares de força vertical para o reconhecimento dos eventos da marcha: 5 N e 20 N, devido ao uso mais frequente das mesmas entre diferentes estudos. Os valores brutos de FRS verticais que definiram o acontecimento dos eventos de toque do calcanhar (TC) e de saída do pé (SP) foram levados para a análise e comparação entre as diferentes FAQ.

Análise estatística

Os dados de FRS vertical no TC e na SP foram comparados entre as FAQ através de

uma ANOVA para medidas repetidas em cada um dos limiares de força (5N e 20N) separadamente. A esfericidade das variâncias foi verificada a partir do teste de Mauchly, utilizando o fator de Greenhouse-Geisser no caso de necessidades de correção. Em caso de diferenças apontadas pela ANOVA, o *post-hoc* de Bonferroni identificou os locais destas diferenças. O nível de significância adotado para todos os testes foi de 5%.

Resultados

A velocidade média preferida de caminhada do sujeito foi de 1,507 m/s ($\pm 0,082$ m/s de desvio-padrão). A variação de velocidade entre tentativas correspondeu a um valor médio de 4%, caracterizando velocidades homogêneas entre caminhadas.

Quanto à detecção dos eventos, todas as FAQ apresentaram diferença significativa para a FAQ1000 tanto no TC quanto na SP (Figura 1) em ambos os limiares de força. A FAQ1000 sempre apresentou valores de detecção dos eventos mais próximos em relação aos limiares de força sugeridos, indicando uma maior exatidão para identificar os eventos. À medida que a FAQ diminui, os limiares de detecção do TC aumentam e os limiares de detecção de SP diminuem (em ambos os casos os valores se distanciam do valor pré-estipulado).

Discussão

O presente trabalho objetivou verificar os efeitos das frequências de aquisição e dos limiares de detecção das plataformas de força

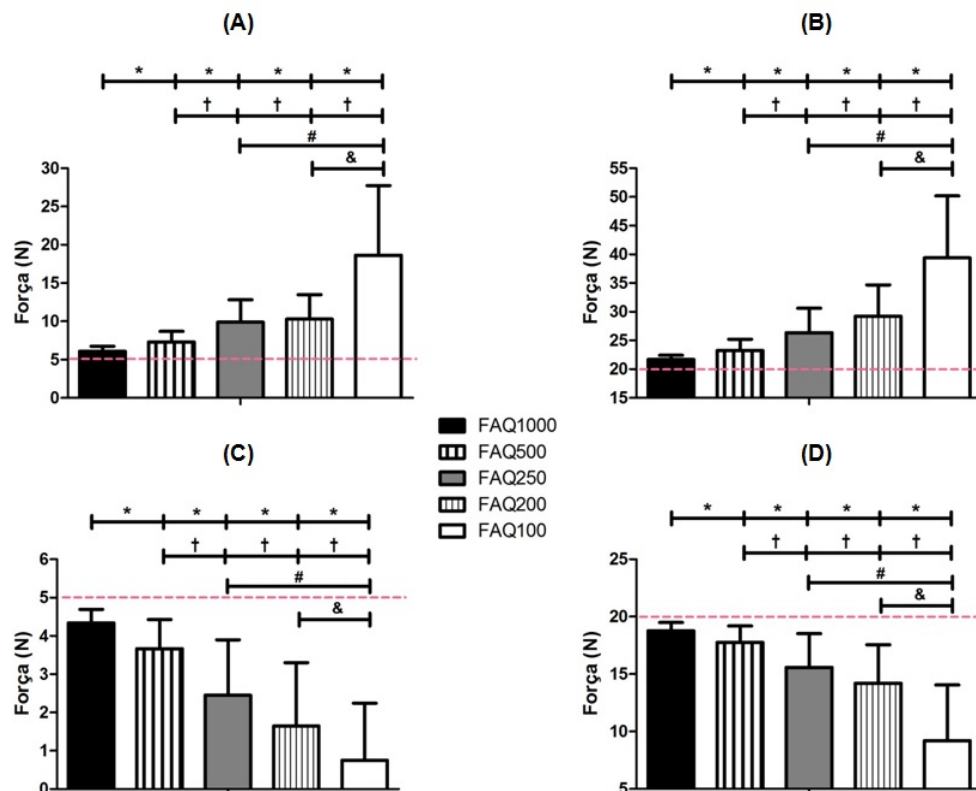


Figura 1 – Comparação entre as diferentes frequências de aquisição (FAQ), nos instantes de toque do calcanhar, com limiares de força (linha tracejada) de 5 N (A) e 20 N (B), e saída do pé do solo, nos limiares de força de 5 N (C) e 20 N (D). Legenda: * $p < 0,05$ vs. FAQ1000; † $p < 0,05$ vs. FAQ500; # $p < 0,05$ vs. FAQ250; & $p < 0,05$ vs. FAQ200.

na identificação dos eventos da marcha. Os resultados observados apontam que menores frequências de aquisição afastam o instante de detecção dos eventos do limiar pré-estipulado,

sugerindo o uso de altas frequências para detectar os instantes de TC e SP.

Ao estimar as forças de reação do solo durante a marcha, normalmente estudos adotam altas frequências de aquisição ($\geq 1000\text{Hz}$) para avaliar parâmetros de estabilidade(9, 10), momentos articulares(11, 12) e espaço temporais(6, 13). Porém, não são raros os estudos utilizando frequências de aquisição intermediárias ($\cong 500\text{ Hz}$)(14, 15) ou reduzidas ($< 500\text{ Hz}$)(4, 5, 16) para avaliar estes mesmos parâmetros. Como estas análises são dependentes da determinação dos eventos da marcha, isto faz com que certas precauções sejam adotadas ao interpretar: medidas de estabilidade nos instantes de TC e de SP, o cálculo dos momentos articulares em função do instante de início e final do apoio, parâmetros espaço temporais como comprimento de passo, largura do passo e duração das fases da marcha.

A escolha inadequada da frequência de amostragem pode implicar na estimativa incorreta dos eventos da marcha, que são o ponto de partida no cálculo dos tempos de apoio (simples e duplo). Consequentemente, diferenças ou igualdades estatísticas inexistentes poderiam ser assumidas, o que a nível clínico significaria admitir que grupos/condições instáveis (comumente com maior duração em apoio)(5, 6) apresentam o mesmo padrão que um grupo/condição estável. Com isso, conclusões sobre tratamentos ou treinamentos em estudos que usam baixas frequências de amostragem devem ser interpretadas com cautela.

O limiar de força não pareceu ser um fator determinante para as frequências de aquisição. Independente do limiar adotado, todas as frequências de aquisição mostraram atraso na detecção dos eventos da marcha em relação à frequência de 1000 Hz. Estudos têm adotado diferentes limiares, utilizando principalmente limiares de força de 5 N e 20 N. Tínhamos a hipótese de que o limiar de 20 N não apresentaria diferenças entre todas as frequências de aquisição. Isso era esperado por imaginarmos que apenas nas pequenas variações de força as frequências de aquisição se estabeleceriam como fator determinante. Futuros estudos podem analisar as relações adicionais de limiares de força distintos para verificação dos eventos em diferentes frequências de aquisição, visando observar

consequentes alterações nos parâmetros espaço temporais da marcha.

A partir de análises de espectro dos sinais de força, baseado no teorema proposto por Nyquist ($FAQ > 2 \cdot 15\text{ Hz} \rightarrow$ frequência de variação do sinal biológico), é possível afirmar que a frequência de aquisição mínima necessária de dados cinéticos para uma coleta da marcha é de 30 Hz(17). Porém, para evitar riscos de *aliasing* (descrição incorreta do evento devido à captura insuficiente de dados) é recomendável que as frequências sejam aumentadas para adquirir maior exatidão na captura dos dados de força. A estimativa dos eventos, automaticamente, segue a necessidade de controlar estes parâmetros de força. Em nosso conhecimento, este é o primeiro estudo que aponta a necessidade de altas frequências de aquisição para estimar precisamente a ocorrência dos eventos da marcha.

Pontos fortes e limitações do estudo

Os algoritmos que calculam a partir dos dados cinemáticos os instantes de TC e SP parecem identificar precisamente a ocorrência dos eventos(7, 8). Porém, estes estudos além de adotarem a plataforma de força como “padrão ouro” para a detecção dos eventos, admitem existir um erro associado ao instante calculado do seu acontecimento. Sendo assim, algumas limitações devem ser observadas. Normalmente os dados cinemáticos são coletados subamostrados em relação aos dados cinéticos, como no caso do presente estudo, com menos dados capturados. Portanto, é necessário destacar que ao combinar as informações de movimento e de força, as análises ficam limitadas aos quadros cinemáticos, mesmo que exista maior exatidão de captura dos dados de força. Nossos resultados podem sugerir medidas alternativas para interpretação de algumas variáveis, como por exemplo: os tempos de apoio de balanço, partindo das medidas de plataforma de força para estimar a duração de cada fase com maior exatidão, ao invés do uso dos dados cinemáticos para tal análise.

Conclusão

O presente trabalho reforça que a escolha da frequência de aquisição das plataformas de

força afeta a detecção dos eventos da marcha, independente do limiar de força adotado. Sendo assim, sugere-se adotar maiores frequências de aquisição para detectar os eventos de saída do pé do solo e de toque do calcanhar no solo, mesmo ao trabalhar com análises da marcha em velocidades consideradas preferidas.

Agradecimentos

Agradecimentos ao laboratório de Biomecânica da Universidade Federal de Santa Maria.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram a ausência de conflitos de interesse no presente estudo.

Declaração de financiamento

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

1. Remelius JG, Hamill J, van Emmerik REA. Prospective dynamic balance control during the swing phase of walking: Stability boundaries and time-to-contact analysis. *Human Movement Science*. 2014;36(0):227-45.
2. Lugade V, Lin V, Chou L-S. Center of mass and base of support interaction during gait. *Gait & Posture*. 2011;33(3):406-11.
3. Silveira MC, Lemos LFC, Pranke GI, Mota CB. Gait stability in young adults under different visual conditions: a pilot study. 2014. 2015 2014-12-29;17(1):8.
4. Zabala ME, Favre J, Scanlan SF, Donahue J, Andriacchi TP. Three-dimensional knee moments of ACL reconstructed and control subjects during gait, stair ascent, and stair descent. *Journal of Biomechanics*. 2013;46(3):515-20.
5. Vitória R, Lirani-Silva E, Barbieri FA, Raile V, Batistela RA, Stella F, et al. The role of vision in Parkinson's disease locomotion control: Free walking task. *Gait & Posture*. 2012;35(2):175-9.
6. Hallemans A, Beccu S, Van Loock K, Ortibus E, Truijten S, Aerts P. Visual deprivation leads to gait adaptations that are age- and context-specific: I. Step-time parameters. *Gait & Posture*. 2009;30(1):55-9.
7. Hreljac A, Marshall RN. Algorithms to determine event timing during normal walking using kinematic data. *Journal of Biomechanics*. 2000;33(6):783-6.
8. O'Connor CM, Thorpe SK, O'Malley MJ, Vaughan CL. Automatic detection of gait events using kinematic data. *Gait & Posture*. 2007;25(3):469-74.
9. Bierbaum S, Peper A, Karamanidis K, Arampatzis A. Adaptational responses in dynamic stability during disturbed walking in the elderly. *Journal of Biomechanics*. 2010;43(12):2362-8.
10. Bierbaum S, Peper A, Karamanidis K, Arampatzis A. Adaptive feedback potential in dynamic stability during disturbed walking in the elderly. *Journal of Biomechanics*. 2011;44(10):1921-6.
11. Butler RJ, Minick KI, Ferber R, Underwood F. Gait mechanics after ACL reconstruction: implications for the early onset of knee osteoarthritis. *British Journal of Sports Medicine*. 2009;43(5):366-70.
12. Ko S-u, Stenholm S, Ferrucci L. Characteristic gait patterns in older adults with obesity—Results from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Journal of Biomechanics*. 2010;43(6):1104-10.
13. Hallemans A, Ortibus E, Meire F, Aerts P. Low vision affects dynamic stability of gait. *Gait & Posture*. 2010;32(4):547-51.
14. Espy DD, Yang F, Bhatt T, Pai YC. Independent influence of gait speed and step length on stability and fall risk. *Gait & Posture*. 2010;32(3):378-82.
15. Espy DD, Yang F, Pai YC. Control of center of mass motion state through cuing and decoupling of spontaneous gait parameters in level walking. *Journal of Biomechanics*. 2010;43(13):2548-53.
16. Hollman JH, Brey RH, Robb RA, Bang TJ, Kaufman KR. Spatiotemporal gait

deviations in a virtual reality environment.
Gait & Posture. 2006;23(4):441-4.

17. Antonsson EK, Mann RW. The frequency content of gait. Journal of Biomechanics. 1985;18(1):39-47.