



CORRELAÇÃO ENTRE MARCADORES ESPAÇO TEMPORAIS DE ESTABILIDADE E VELOCIDADE DA CAMINHADA

Henrique Bianchi Oliveira
Clarissa Pedrini Schuch

RESUMO

Estudos sobre a variabilidade e estabilidade na locomoção dos idosos vêm sendo motivados por vários fatores. Uma das ferramentas matemáticas mais utilizadas na literatura para calcular a variabilidade é o coeficiente de variação (CoV), obtido através da divisão do desvio padrão pela média. O objetivo do presente estudo foi correlacionar os marcadores espaço temporais de estabilidade (coeficiente de variação do tempo de contato e do tempo de balanço) com cinco velocidades de caminhada e determinar o comprimento (CP) e a frequência de passada (FP) nas mesmas situações. Participaram do estudo dez sujeitos (6 homens e 4 mulheres) com média de idade de 58,3±6,7 anos; 168,2 ±7,5 cm de estatura e massa corporal de 71,9± 6,5 kg; todos livres de problemas de saúde que afetassem o equilíbrio e a mobilidade. Os resultados para CoV tempo de contato (TC) mostram que houve correlação significativa, porém moderada entre aumento da velocidade e diminuição do CoV do tempo de contato ($r=-0,408$; $p=0,003$); enquanto o CoV do tempo de balanço (TB) apresentou correlação baixa com aumento da velocidade ($r=-0,394$; $p=0,005$). Os resultados de FP e CP demonstraram comportamento semelhante entre si: com o incremento da velocidade houve aumento médio tanto CP quanto para FP.

Palavras chave: caminhada, variabilidade, velocidade de caminhada

ABSTRACT

Studies about gait variability and stability in elderly have been motivated by several factors. The mathematical tool most used in literature to calculate gait variability is the coefficient of variation (CoV), obtained by dividing the standard deviation by the mean. The aim of this study was to correlate spatiotemporal markers of stability (coefficient of variation of contact time and swing time) with five speeds of walking and determine stride length (SL) and stride frequency (SF) in the same situations. The study included ten subjects (6 men and 4 women) age: 58.3 ± 6.7 years, height: 168.2 ± 7.5 cm and weight: of 71.9 ± 6.5 kg; all free from health problems impacting on balance and mobility. The results for CoV contact time (CT) showed a significant correlation, however moderate with increased speed and decreased CoV contact time ($r = -0.408$, $p = 0.003$), while the CoV of balance time (BT) showed low correlation with increasing speed ($r = -0.394$, $p = 0.005$). The results of SL and SF showed similar behavior among themselves, with the increase of speed, there was average increase to both SL and SF.

Keywords: walking, variability, speed walking



RESUMEN

Los estudios sobre la variabilidad de la estabilidad en la locomoción de personas mayores ha sido motivada por varios factores, debido a que puede ser una especie de predicción para identificar los riesgos de caídas en adultos mayores. Una de las herramientas matemáticas más utilizadas en la literatura para calcular la variabilidad es el coeficiente de variación (CoV), que se obtiene dividiendo el desvío estándar por la media. El objetivo de este estudio fue correlacionar los marcadores espaciales y temporales de la estabilidad (coeficiente de variación del tiempo de contacto y del tiempo de balanceo) con cinco velocidades de marcha y determinar la duración y frecuencia de la pasada en las mismas situaciones. El estudio incluyó a diez sujetos (6 hombres y 4 mujeres) con una edad media de $58,3 \pm 6,7$ años, $168,2 \pm 7,5$ cm de altura y peso de $71,9 \pm 6,5$ kg; todos sin presentar anomalías musculoesqueléticas y sin alteraciones en el padrón de marcha. Los resultados para CoV (TC) del tiempo de contacto mostraron una correlación significativa, aunque moderada entre el aumento de la velocidad y la disminución del CoV del tiempo de contacto, mientras que el CoV del tiempo de balanceo (TB) mostró una correlación baja ($r = -0,408$, $p = 0,003$), con el aumento de la velocidad ($r = -0,394$, $p = 0,005$).

Palabras claves: caminada, variabilidad, velocidad de caminada

Introdução

Com o aumento da expectativa média de vida, torna-se importante o desenvolvimento de estudos ligados às áreas que promovem uma melhor qualidade de vida dos idosos. As quedas são consideradas fatores de risco para essa população, pois podem gerar diversos prejuízos tanto físicos quanto psicológicos e, em alguns casos, até levar à morte.

A variabilidade é natural entre os sistemas biológicos. No caso específico da caminhada, é quase impossível a geração de padrões idênticos de movimentos (Danion *et al.*, 2003). Por isso, a locomoção humana é descrita como uma atividade de perda e recuperação da estabilidade dinâmica, caracterizada pelas fases de apoio e balanço. A duração dessas fases apresenta relação inversa com a velocidade de caminhada, ou seja, com o aumento da velocidade ocorre a diminuição da duração do apoio e balanço e vice versa. Contudo, a diminuição da estabilidade e da força muscular são frequentes na população idosa, mesmo na ausência de condições patológicas (Gardner, Robertson *et al.*, 2000). A situação de instabilidade na locomoção de idosos saudáveis pode predispor a queda e secundariamente, contribui com medo de quedas, auto-restrição de movimentos e conseqüentemente aumento na dependência funcional. Tanto durante o processo de envelhecimento saudável quanto em situações patológicas, o ser humano passa a desenvolver uma série de mudanças sutis na forma e no controle neuromuscular da locomoção e isso acarreta diferentes mudanças nos parâmetros espaço temporais da caminhada.

Por este motivo diversos estudos sobre a variabilidade dos parâmetros espaço temporais da locomoção dos idosos vêm sendo motivados (Youdas, Hollman *et al.*, 2006). A análise dos parâmetros



espaço temporais têm se mostrado como uma espécie de marcador para risco de queda. A instabilidade é caracterizada pela maior variabilidade da duração dos ciclos de passadas (Youdas, Hollman *et al.*, 2006). A duração do tempo de contato (TC) reflete o ritmo da caminhada e está diretamente relacionada à estímulos centrais e periféricos que resultam no padrão locomotor final (Malatesta, Simar *et al.*, 2003). A velocidade de caminhada também tem demonstrado relevância no quesito instabilidade (Kito e Yoneda, 2006) e por isso a importância de analisar a caminhada em diferentes velocidades. A alta variabilidade da frequência de passada (FP) e comprimento de passo (CP) tem sido identificados também como indicadores de queda, enquanto a baixa variabilidade desses parâmetros indica uma marcha segura (Beauchet, Allali *et al.*, 2009).

A prevenção de quedas é um ponto importante a ser considerado na população que vem envelhecendo. Porém, ainda há poucos estudos referentes às suas principais causas. Portanto, surge a importância de mais pesquisas ligadas à estabilidade dinâmica da caminhada relacionada a processos fisiológicos do envelhecimento.

Desta forma, o objetivo do presente estudo é correlacionar os marcadores espaço temporais de estabilidade (coeficiente de variação do tempo de contato e do tempo de balanço) com cinco velocidades de caminhada.

A importância do tema

O aumento da população de idosos é um fenômeno relativamente recente que vem crescendo de forma evidente na sociedade contemporânea. Fato relacionado, principalmente a uma diminuição da taxa de natalidade e a um aumento considerável na média de esperança de vida (Deschenes, 2004). A diminuição da estabilidade e da força muscular são aspectos importantes para a qualidade de vida e saúde dos idosos, pois são considerados fatores de risco para a ocorrência de quedas (Gardner, 2000).

Portanto, surge a importância de mais estudos ligados à estabilidade dinâmica, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida desta população que vem aumentando consideravelmente nas últimas décadas.

A estabilidade dinâmica no envelhecimento

Durante os movimentos corporais, é necessária a manutenção do controle do CM do corpo sobre a base de apoio. Estes movimentos podem ser, por exemplo, de manipulação ou quando a posição do corpo muda de uma posição para outra, como ocorre durante a locomoção (Murray, 1969).

A locomoção dos idosos apresenta algumas características diferentes da locomoção de indivíduos jovens. Mudanças no equilíbrio, postura e locomoção são tão comumente observadas nos idosos que se acredita que elas sejam sinônimos de envelhecimento. De modo geral, a marcha de idosos é caracterizada por comprimentos de passo menores e, conseqüentemente maiores frequência de passo do que jovens adultos com maiores tempos de apoio (Spiriduso, 2005).

Hill e Vandervoort (1990) compararam a velocidade média de caminhada de homens e mulheres, com idade média de 20 anos, com a velocidade de caminhada de indivíduos entre 60 e 80 anos; sugeriram que a velocidade de caminhada diminui gradualmente durante o tempo de vida, decaindo em um ritmo



mais rápido entre os 65 e 85 anos. As mulheres mais idosas caminham a uma velocidade mais lenta, com uma frequência mais alta e com um comprimento do passo mais curto (Molen, 1973).

Os seres humanos preferem determinadas velocidades de caminhada porque são mais econômicas, com base em sua estrutura corporal, peso, força muscular, flexibilidade, entre outras variáveis, levando a um melhor aproveitamento das energias. Durante um ciclo de passada de caminhada, a energia cinética (E_k) do CM varia inversamente em relação à energia potencial gravitacional (E_p). Caracterizado um comportamento em que a E_p é alta quando o CM está perdendo velocidade (E_k). Apesar da presença deste comportamento em oposição de fase, a transformação de energia entre uma forma e outra não é total, e o restante de energia necessária para manter a locomoção é providenciada pelos músculos. Este mecanismo pendular de minimização de energia foi primeiramente observado por Cavagna, et al. (1963) e denominado como modelo do pêndulo invertido. O modelo auxiliou no entendimento e aprofundamento das determinantes mecânicas da locomoção (Cavagna, Saibene *et al.*, 1963; Cavagna, Thys *et al.*, 1976; Cavagna, Tesio *et al.*, 1983; Minetti, Capelli *et al.*, 1995; Cavagna, Willems *et al.*, 2002; Detrembleur, Dierick *et al.*, 2003; Saibene e Minetti, 2003).

Estudos que compararam variáveis espaço temporais da caminhada de idosos saudáveis em esteira e no solo reportam mínima ou nenhuma diferença entre as duas tarefas, ou seja, os padrões mecânicos não se alteram durante a caminhada em velocidade autosselecionada.

Os músculos que exercem força contra o solo durante a caminhada e proporcionam estabilização da articulação do tornozelo ficam consideravelmente mais fracos com o envelhecimento (Vandervoort e Hayes, 1989). Descobriu-se que nas pessoas que sofrem quedas, a força dos dorsiflexores do tornozelo foi 7,5 vezes menor do que a força de um grupo controle de pessoas que não sofriam quedas (Whipple, Wolfson e Amerman, 1987).

Neptune *et al.* (2001) demonstram, por meio da dinâmica direta aplicada em modelos biomecânicos, a importância dos músculos gastrocnêmio e sóleo na manutenção da estabilidade e na progressão do corpo à frente durante as fases da marcha. Na fase inicial de apoio unipodal, a principal função dos músculos gastrocnêmio e sóleo é promover a estabilidade. No apoio terminal e pré-balanço, os autores demonstraram que esses dois músculos são importantes estabilizadores e promotores da progressão.

Com o envelhecimento, as articulações tornam-se mais rígidas e menos flexíveis, podendo haver diminuição de seu líquido sinovial e um aumento de fricção das cartilagens. Essa deterioração das estruturas articulares pode acarretar em inflamação, dor, rigidez e deformidades, fatores que influenciam diretamente a estabilidade destas articulações durante a locomoção.

Materiais e Métodos

Participantes

Dez sujeitos (6 homens e 4 mulheres) com média de idade de $58,3 \pm 6,7$ anos; $168,2 \pm 7,5$ cm de estatura e massa corporal de $71,9 \pm 6,5$ kg participaram do estudo; todos livres de alterações musculoesqueléticas e sem alterações na marcha. Todos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido antes da participação. O protocolo experimental foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).



Procedimentos

A aquisição dos dados foi realizada no Laboratório de Pesquisa em Exercício (LAPEX) da UFRGS. Foram utilizados os seguintes instrumentos: quatro câmeras de vídeo (JVC GR-DVL 9800 – JVC Company of América, Wayne, New Jersey, USA), quatro holofotes, quatro *notebooks*, um calibrador tridimensional Peak Performance (Peak Performance Technologies Inc., Englewood, USA). O modelo corporal utilizado para análise cinemática foi composto por dezoito referências anatômicas (base do quinto metatarso, calcâneo, maléolo lateral, epicôndilo lateral do fêmur, trocânter maior do fêmur, processo estilóide da ulna, epicôndilo lateral do úmero, acrômio da escápula e osso frontal) (Kadaba, Ramakrishnan *et al.*, 1990; Minetti, Ardigo *et al.*, 1993).

Os sujeitos foram previamente familiarizados com o protocolo de coleta, em que foram testadas as cinco velocidades de caminhada na esteira (BH fitness - Explorer ProAction). As velocidades foram determinadas pelos pesquisadores em 1, 2, 3 e 4 km.h⁻¹. A quinta velocidade avaliada foi auto selecionada, ou seja, aquela escolhida pelo sujeito.

O protocolo foi constituído de caminhada em esteira durante 5 minutos para cada uma das 5 velocidades (de maneira randomizada). Os registros cinemáticos ocorreram entre o 3º e 4º minuto de cada teste. Entre os testes avaliados eram realizados intervalos de 2 minutos para evitar a fadiga.

Para avaliação das variáveis espaço temporais, o TC foi definido como tempo em que cada pé estava em contato com o solo durante a passada. O tempo de balanço (TB) foi determinado como o tempo em que um pé está se movendo do despegue até o próximo contato inicial do mesmo pé. O CP foi definido como a distância em metros entre o primeiro toque do calcanhar na esteira até o subsequente toque do mesmo pé na esteira. A FP foi definida como o número de passadas em função do tempo, expressa em passadas por minuto. No total foram analisados 15 ciclos de passada consecutivos de cada sujeito.

Os dados foram adquiridos e reconstruídos pelo *software Dvideow (Digital Video for Biomechanics)* desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da UNICAMP, Campinas, Brasil versão 5.0). A rotina computacional foi construída no *software Labview* (versão 8.5, National Instruments, Austin, USA).

Análise estatística

A quantificação da estabilidade para os parâmetros TC e TB foram obtidas através do coeficiente de variação (CoV). As correlações entre o CoVTC e CoVTB e as cinco velocidades de caminhada foram realizadas pelo coeficiente de correlação de Pearson (r). Foi adotado nível de significância de 0,05.

Resultados

Houve correlação significativa, porém moderada entre aumento da velocidade e diminuição do CoVTC (r=-0,408; p=0,003). Enquanto o CoVTB apresentou correlação baixa com aumento da velocidade (r=-0,394; p=0,005). Na Figura 1 valores de CoVTC e de CoVTB apresentam comportamento semelhante, contudo os valores de CoVTB apresentam maior variabilidade. Desta forma, pode-se afirmar que os sujeitos foram mais estáveis na velocidade intermediária e nas velocidades acima desta.

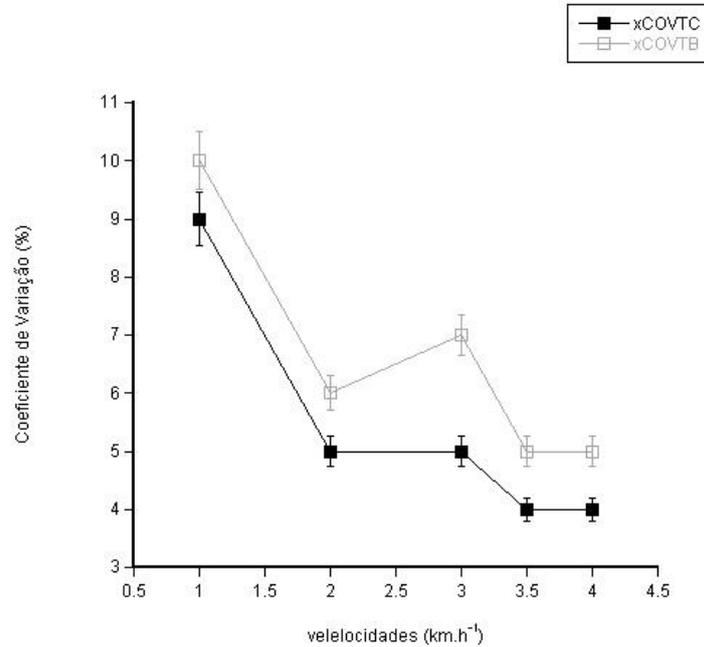


Figura 1: Média e desvio padrão para o coeficiente de variação do tempo de contato (CoVTC) e coeficiente de variação do tempo de balanço (CoVTB) para os 10 sujeitos durante as velocidades de caminhada..

Em relação às variáveis CP e FP (Tabela 1) percebe-se um comportamento de aumento nas médias de CP e FP com o incremento da velocidade.

Tabela 1: Média e desvio padrão para o Comprimento da passada (CP), em metros (m), e para a Frequência de Passada (FP), em passadas por minuto, para os 10 sujeitos durante as velocidades de caminhada.

Variáveis	Velocidades (km h ⁻¹)				
	1	2	3	3,5	4
CP (m)	0,53 (±0,09)	0,73 (±0,13)	0,99 (±0,08)	1,04 (±0,09)	1,18 (±0,07)
FP (passadas min ⁻¹)	32,5 (±6,23)	47,08 (±11,71)	50,79 (±4,66)	56,24 (±5,69)	58,54 (±6,36)



Discussão

Segundo Beauchet (2009), a variabilidade espacial e temporal da caminhada é uma correspondência da instabilidade da marcha. Neste mesmo estudo, foi constatado que a diminuição da velocidade está associada com altos valores de CoV referentes ao comprimento da passada, ao tempo de contato e ao tempo de balanço, comparando sujeitos jovens com sujeitos idosos em uma mesma velocidade. Altas velocidades de caminhada influenciam na estabilidade dinâmica principalmente devido aos ajustes nos parâmetros cinemáticos. Enquanto as baixas velocidades levam a maiores flutuações dos parâmetros temporais como o tempo de contato e tempo de balanço, FP e CP (Abel e Damiano, 1996), ocasionando a maior variabilidade.

Em outras palavras podemos afirmar que a estabilidade aumenta linearmente com a velocidade da caminhada. England *et al* (2007) realizaram a correlação entre estabilidade dinâmica e velocidade de caminhada de adultos saudáveis e encontrou um $p < 0,001$, utilizando a análise do expoente de Lyapunov como metodologia.

As variáveis espaço temporais analisadas estão, portanto, de acordo com dados da literatura. Diversos outros autores (Jordan, Challis *et al.*, 2007); (Kito e Yoneda, 2006); (Ko, Gunter *et al.*, 2007); (Owings e Grabiner, 2004) concluíram, através de diferentes metodologias e com sujeitos jovens, que a velocidade está diretamente relacionada com a estabilidade dinâmica. Além disso, segundo Newell (1993), a variabilidade cinemática é um índice de estabilidade. Por exemplo, durante caminhada em velocidade constante, uma alta variabilidade angular e uma baixa variabilidade de tempo de passada tem sido associados a uma maior estabilidade de caminhada (Heiderscheit, 2000).

De acordo com Maki (1997), flutuações no comprimento da passada, na velocidade e no tempo da fase de suporte duplo durante a marcha aumentam consideravelmente a chance de quedas, independente do medo de sofrer quedas.

As variáveis CP e FP estão também de acordo com dados da literatura. Em um estudo com mulheres jovens, Jordan, Challis *et al.* (2007), descreveram o comportamento de comprimento e frequência de passada. Os resultados para essas variáveis apresentaram mesmo comportamento do presente estudo: com o aumento da velocidade, houve aumento nas médias de CP e FP. Kito e Yoneda (2006), Ko, Gunter *et al.* (2007), em estudos com idosos, demonstraram que idosos caidores possuem maior variabilidade de CP e FP quando comparados com idosos não caidores.

Os achados do estudo indicam que durante a caminhada em esteira os sujeitos conseguem adotar padrões de pouca variabilidade e grande simetria. A situação avaliada em esteira permite a realização de treinamento ou reabilitação com evidente melhora nos parâmetros mecânicos da caminhada repercutindo em menor risco de quedas.

Perspectivas de pesquisa

A variabilidade da caminhada e sua relação direta com a estabilidade dinâmica é um fator de grande importância, segundo a literatura, sob diversas perspectivas. Neste artigo, foi investigada a correlação entre a velocidade de caminhada e a estabilidade dinâmica, determinada pelos coeficientes de variação, em uma população de dez sujeitos com mais de 50 anos, sem qualquer tipo de limitação de locomoção.



O estudo da variabilidade torna-se interessante também em outras situações peculiares de caminhada; como em situações de lesão que deixam algum tipo de seqüela sensorio-motora *e.g.*, acidente vascular encefálico isquêmico; amputação de membro inferior, paralisia cerebral, diabetes ou doença de parkinson.

Além disso, também é interessante investigar, nessas situações, a relação da estabilidade com diferentes velocidades de caminhada, com o trabalho mecânico (o trabalho realizado pelos músculos para gerar movimento), com o custo de transporte (quantidade de energia metabólica necessária para percorrer determinada distância), entre outros.

A caminhada na esteira se difere da caminhada no solo em alguns aspectos. O tipo de ambiente é uma das diferenças mais importantes. Na esteira, o ambiente é controlado e faz com que o sujeito que está caminhando sobre a esteira se concentre apenas na realização de sua tarefa de caminhar; já em situação de caminhada no solo, o ambiente não é controlado, com isso, o sujeito que está caminhando direciona sua atenção para as variações deste ambiente (outras pessoas, irregularidades no solo, condições climáticas, etc.). Portanto, também julga-se importante a realização de estudos com referências a essas diferenças entre solo e esteira.

A descrição dos parâmetros espaço temporais da marcha tem grande aplicabilidade no estudo da estabilidade da marcha, na marcha patológica; no envelhecimento; e no acompanhamento clínico da reabilitação. Com instrumentos de coleta relativamente simples, uma esteira e duas câmeras, é possível obter dados espaço-temporais suficientes para calcular a variabilidade dos parâmetros citados nesse artigo. Uma rotina matemática, construída para esse estudo no *software* LabVIEW 8.5, com dados de entrada dos tempos de contato, obtidos através da análise da quantidade de quadros dos vídeos, pode gerar os resultados para os CoVs obtidos e também CP e FP. Outra forma de determinação dos parâmetros espaço temporais é por meio de sistemas de *footswitch*, que podem ser facilmente instrumentado em palmilhas com baixo custo de produção. Contudo, o padrão ouro para a determinação dos eventos espaço temporais da caminhada é a plataforma de força (Wall e Crosbieb, 1996).

Perspectivas de pesquisa

A variabilidade da caminhada e sua relação direta com a estabilidade dinâmica é um fator de grande importância, segundo a literatura, sob diversas perspectivas. Neste artigo, foi investigada a correlação entre a velocidade de caminhada e a estabilidade dinâmica, determinada pelos coeficientes de variação, em uma população de dez sujeitos com mais de 50 anos, sem qualquer tipo de limitação de locomoção.

O estudo da variabilidade torna-se interessante também em outras situações peculiares de caminhada. Sujeitos com algum tipo de problema motor como, por exemplo, decorrentes do acometimento sensorio-motor de um dos hemisférios (em função de um acidente vascular encefálico isquêmico); situações de acidentes (com conseqüente amputação de membro inferior e utilização de prótese); situações patológicas (paralisia infantil, diabetes, parkinson).

Além disso, também é interessante investigar, nessas situações, a relação da estabilidade com diferentes velocidades de caminhada, com o trabalho mecânico (o trabalho realizado pelos músculos para gerar movimento), com o custo de transporte (quantidade de energia metabólica necessária para percorrer determinada distância), entre outros.



A caminhada na esteira se difere da caminhada no solo em alguns aspectos. O tipo de ambiente é uma das diferenças mais importantes. Na esteira, o ambiente é controlado e faz com que o sujeito que está caminhando sobre a esteira se concentre apenas na realização de sua tarefa de caminhar; já em situação de caminhada no solo, o ambiente não é controlado, com isso, o sujeito que está caminhando presta atenção nas variações deste ambiente (outras pessoas, irregularidades no solo, condições climáticas, etc.). Portanto, também julga-se importante a realização de estudos com referências a essas diferenças entre solo e esteira.

Com instrumentos de coleta relativamente simples, uma esteira e duas câmeras, é possível obter dados espaço temporais suficientes para calcular a variabilidade dos parâmetros citados nesse artigo. Uma rotina matemática, construída para esse estudo no *software* LabVIEW 8.5, com dados de entrada dos tempos de contato, obtidos através da análise da quantidade de *frames* dos vídeos, pode gerar os resultados para os CoVs obtidos e também CP e FP.

Conclusão

Os resultados sugerem que a maior estabilidade dinâmica, mostrada pelos coeficientes de variação foi atingida principalmente nas maiores velocidades de caminhada em esteira. Portanto, sugere-se a inclusão da avaliação do coeficiente de variação dos parâmetros espaço temporais durante a análise biomecânica da caminhada de idosos com e sem alteração da marcha como possível indicador do risco de quedas.



Referências

- ABEL M.F., DAMIANO D.L. Strategies for increased walking speed in diplegic cerebral palsy. **Journal of Pediatric Orthopedics**, 16:753–8. 1996.
- BEAUCHET, O., ALLALI, G., *et al.* Gait Variability among Healthy Adults: Low and High Stride-to-Stride Variability Are Both a Reflection of Gait Stability. **Gerontology**, v.55, n.6, p.702-706. 2009.
- CAVAGNA, G. A., SAIBENE, F. P., *et al.* External work in walking. **Journal of Applied Physiology**, v.18, Jan, p.1-9. 1963.
- CAVAGNA, G. A., TESIO, L., *et al.* Ergometric evaluation of pathological gait. **Journal of Applied Physiology**, v.55, n.2, Aug, p.607-13. 1983.
- CAVAGNA, G. A., THYS, H., *et al.* The sources of external work in level walking and running. **Journal Physiology**, v.262, n.3, Nov, p.639-57. 1976.
- CAVAGNA, G. A., WILLEMS, P. A., *et al.* Pendular energy transduction within the step in human walking. **Journal Experimental Biology**, v.205, n.Pt 21, Nov, p.3413-22. 2002.
- CAVAGNA, G.A., LEGRAMANDI, M.A., PEYRÉ-TARTARUGA, L.A. Old men running: mechanical work and elastic bounce. **Proceedings of the Royal Society B**, 275 (1633): 411-418, 2008. 10.1098/rspb.1288. 2007.
- CAVAGNA, G. A., MARGARIA, R. Mechanics of walking. **Journal of Applied Physiology**, 21, 271-278. 1963.
- DANION, F., VARRAINE, E., BONNARD, M., PAILHOUS, J. Stride variability in human gait: the effect of stride frequency and stride length. **Gait and Posture**, 18:69-77, 2003.
- DESCHENES, M. R. Effects of aging on muscle fibres type and size. **Sports Medicine**. 34 (12): 809-824. 2004.
- ENGLAND S. A, GRANATA K. P. The influence of gait speed on local dynamic stability of walking. **Gait Posture**. 25:172–8. 2006.
- GARDNER, M. M., ROBERTSON, M. G., *et al.* Exercise in preventing falls and fall related injuries in older people: a review of randomised controlled trials. **British Journal of Sports Medicine**, v.34, n.1, Feb, p.7-17. 2000.
- HEIDERSCHEIT, B.C. Movement variability as a clinical measure for locomotion. **Journal of Applied**



Biomechanics., 16, 419-427. 2000.

HILL, K., VANDERVOORT A. M., KRAMER J, F. Reproducibility of performance on a test of postural responses in healthy elderly females. **Physiotherapy Canada Journal**, 42:61-7. 1990.

JORDAN, K., CHALLIS, J. H., *et al.* Walking speed influences on gait cycle variability. **Gait & Posture**, v.26, n.1, Jun, p.128-134. 2007.

KADABA, M., RAMAKRISHNAN, H., *et al.* Measurement of Lower Extremity Kinematics During Level Walking. **Journal of Orthopaedic Research** v.8, p.383-392. 1990.

KITO, T., YONEDA, T. Dominance of gait cycle duration in casual walking. **Human Movement Science**, v.25, n.3, Jun, p.383-392. 2006.

KO, S. U., GUNTER, K. B., *et al.* Stride width discriminates gait of side-fallers compared to other-directed fallers during overground walking. **Journal of Aging and Health**, v.19, n.2, Apr, p.200-212. 2007.

MAKI, B. E. Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear. **Journal American Geriatric Socyti**. 45(11): 1406. 1997.

MALATESTA, D., SIMAR, D., *et al.* Energy cost of walking and gait instability in healthy 65-and 80-yr-olds. **Journal of Applied Physiology**, v.95, n.6, Dec, p.2248-2256. 2003.

MINETTI, A. E., ARDIGO, L. P., *et al.* Mechanical determinants of gradient walking energetics in man. **Journal Physiology**, v.472, Dec, p.725-35. 1993.

MINETTI, A. E., CAPELLI, C., *et al.* Effects of stride frequency on mechanical power and energy expenditure of walking. **Medicine Science Sports Exercercise**, v.27, n.8, Aug, p.1194-202. 1995.

MOLEN, H. H. Problems on the evaluation of gait. Unpublished doctoral dissertation, Institute of Biomechanics and experimental Rehabilitation, Free University, Amsterdam. 1973.

MURRAY, M., KORY, P., ROSS, C., CLARKSON, B. H. Walking patterns in healthy old men. **Journals of Gerontology**, 24, 169-178. 1969.

NEPTUNE, R. R. *et al.* Contributions of the individual ankle plantar flexors to support, forward progression and swing initiation during walking. **Journal of Biomechanics**. 34 (11): 1387-1398. 2001.

NEWELL, K. M., CORCOS D. M. Issues in variability and motor control. In: Newell KM, Corcos DM, editors. Variability and motor control. Champaign: **Human Kinetics Publishers**. 1993.



SAIBENE, F., MINETTI, A. E. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. **European Journal of Applied Physiology**, v.88, n.4-5, Jan, p.297-316. 2003.

SPIRDUSO, W. W. Dimensões físicas do envelhecimento. Barueri: Manole, 482. 2005.

OWINGS, T. M., GRABINER, M. D. Step width variability, but not step length variability or step time variability, discriminates gait of healthy young and older adults during treadmill locomotion. **Journal of Biomechanics**, v.37, n.6, Jun, p.935-938. 2004.

VANDERVOORT, A. A., HAYES, K. C. Plantarflexor muscle function in young and elderly women. **European Journal of Applied Physiology**, 58, 389-394. 1989.

WHIPPLE R. H., WOLFSON, L.I., AMERMAN, P. M. The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: An isokinetic study. **Journal of the American Geriatrics Society**, 35, 13-20. 1987.

YOUODAS, J. W., HOLLMAN, J. H., *et al.* Agreement between the GAITRite walkway system and a stopwatch-footfall count method for measurement of temporal and spatial gait parameters. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v.87, n.12, Dec, p.1648-1652. 2006.

Henrique Bianchi Oliveira

End: Av. Jerônimo de Ornelas, 590/02 - Porto Alegre, RS

e-mail: henrique.bianchi@hotmail.com

Recurso tecnológico necessário: data-show

Laboratório de Pesquisa do Exercício

Departamento de Educação Física/Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, Brasil