

Medidas temporoespaciais indicativas de quedas em mulheres saudáveis entre 50 e 70 anos avaliadas pela análise tridimensional da marcha

Falls risk detection based on spatiotemporal parameters of three-dimensional gait analysis in healthy adult women from 50 to 70 years old

La detección de los riesgos de caídas en mujeres sanas de 50 a 70 años de edad desde el análisis de medidas temporoespaciales de la marcha

Flávia Martins Gervásio¹, Guilherme Augusto Santos², Darlan Martins Ribeiro³, Ruth Losada de Menezes⁴

RESUMO | Objetivou-se comparar e correlacionar medidas temporoespaciais da marcha indicativas de quedas. Participaram do estudo 35 mulheres saudáveis, sem histórico de quedas no ano da avaliação. A análise computadorizada tridimensional da marcha forneceu cinco medidas temporoespaciais de cada participante, dos membros inferiores direito (D) e esquerdo (E). A análise inferencial abordou dois grupos de mulheres: jovens (20-40 anos) e adultas-idosas (50-70 anos). Houve diferença estatística significativa entre os grupos para comprimento da passada D ($p=0,003$) e E ($p=0,002$); passo D ($p=0,008$) e E ($p=0,001$); tempo de apoio E ($p=0,008$); tempo de passo D ($p=0,049$); tempo de apoio duplo E ($p=0,003$); largura da base E ($p=0,005$); resposta à carga E ($p=0,001$); pré-balanço D ($p=0,001$) e E ($p=0,001$) e para algumas medidas em percentil do ciclo de marcha: apoio E ($p=0,001$); balanço E ($p=0,001$); apoio simples E ($p=0,025$); resposta à carga E ($p=0,00$); pré-balanço E ($p=0,001$) e pré-balanço D ($p=0,014$). A regressão linear indicou que a variação da idade modificou em média 18% as medidas de comprimento do passo e da passada e em 20% a velocidade da marcha. Com o avanço da idade, as medidas funcionais diminuíram; e, conseqüentemente, as medidas de estabilidade, como duração dos períodos de apoio, apoio duplo e pré-balanço, aumentaram. Essas

modificações indicam risco de queda na faixa etária de 50 a 70 anos. Algumas medidas de marcha podem apresentar alteração em uma faixa etária ainda considerada de baixo risco.

Descritores | Marcha; Acidentes por Quedas; Saúde da Mulher; Meia-Idade; Tecnologia Biomédica.

ABSTRACT | The aim of this study was to compare and correlate spatiotemporal parameters that would indicate falls risk. Thirty-five healthy women without a history of falls in the previous year were selected. Five spatiotemporal parameters were collected from right (R) and left (L) lower limbs using three-dimensional gait analysis. Two groups: young women (20-40 years) and adult/older women (50-70 years) were analyzed. The comparisons between the groups differed in R ($p=0.003$) and L ($p=0.002$) stride length, R ($p=0.008$) and L ($p=0.001$) step length, L stance period ($p=0.008$), R step period ($p=0.049$), L double support time ($p=0.003$), step width ($p=0.005$), L loading response time ($p=0.001$), R ($p=0.001$) and L ($p=0.001$) pre-swing time. Gait cycle percentage data also showed statistical difference in L stance ($p=0.001$), L swing ($p=0.001$), L single support ($p=0.025$), L loading response ($p=0.001$), R ($p=0.014$) and L ($p=0.001$) pre-swing. Linear regression indicated that step and stride length increased

¹Fisioterapeuta, docente e coordenadora no Laboratório de Movimento Dr. Cláudio A. Borges da Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Goiânia (GO), Brasil.

²Fisioterapeuta colaborador no Laboratório de Movimento Dr. Cláudio A. Borges da Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Goiânia (GO), Brasil.

³Fisioterapeuta do Centro de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo (CRER) – Goiânia (GO), docente da Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Goiânia (GO), Brasil.

⁴Fisioterapeuta, docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde da Universidade de Brasília (UnB), Faculdade de Ceilândia – Brasília (DF), Brasil.

18% and gait velocity increased 20% with age variation. The results propose that functional measures (velocity, step and stride length) decrease as age increases, while stability measures (stance, double support and pre-swing time) increase. These findings suggest that women aged between 50-70 years may have falls risk. Women aged 50-60 are usually considered as having low falls risk.

Keywords | Gait; Accidental Falls; Women's Health; Middle Age; Biomedical Technology.

RESUMEN | El propósito de este estudio fue comparar y correlacionar las medidas temporoespaciales de la marcha, indicativas de caídas. Del estudio participaron 35 mujeres sanas, sin historial de caídas en el periodo del estudio. El análisis computadorizado tridimensional de la marcha brindó cinco medidas temporoespaciales de cada participante, de los miembros inferiores derecho (D) e izquierdo (I). En el análisis inferencial se evaluaron dos grupos de participantes: jóvenes (20-40 años) y adultas-personas mayores (50-70 años). Hubo diferencia estadísticamente significativa entre grupos en la

longitud del paso D ($p=0,003$) e I ($p=0,002$); paso D ($p=0,008$) e I ($p=0,001$); tiempo de apoyo I ($p=0,008$); tiempo de paso D ($p=0,049$); tiempo de doble apoyo I ($p=0,003$); longitud de la base I ($p=0,005$); respuesta a la carga I ($p=0,001$); preoscilación D ($p=0,001$) e I ($p=0,001$) y para algunas medidas en percentil de ciclo de marcha: apoyo I ($p=0,001$); oscilación I ($p=0,001$); apoyo simples I ($p=0,025$); respuesta a la carga I ($p=0,00$); preoscilación I ($p=0,001$) y preoscilación D ($p=0,014$). La regresión lineal mostró que la variación de la edad cambió en media un 18% en las medidas de la longitud del paso y del movimiento y un 20% en la velocidad de marcha. Avanzado la edad, las medidas funcionales disminuyen, y, en consecuencia, aumentan las medidas de estabilidad, como duración de los periodos de apoyo, doble apoyo y preoscilación. Esos cambios señalan el riesgo de caída en la franja etaria de 50 a 70 años. Algunas medidas de marcha pueden presentar alteraciones en una franja etaria que todavía la consideran de bajo riesgo.

Palabras clave | Marcha; Accidentes por Caídas; Salud de la Mujer; Mediana Edad; Tecnología Biomédica.

INTRODUÇÃO

O fator preditor mais consistente para detectar quedas é a modificação intrínseca da marcha¹, geralmente não identificada por escalas clínicas². Assim, a análise instrumentada tridimensional é a avaliação padrão-ouro para o estudo de marcha³. Velocidade⁴, comprimentos do passo² e passada^{5,6}, tempo de balanço e duplo suporte⁷ são as medidas de marcha que mais frequentemente se associam ao risco de queda em idosos caídores e não caídores a partir dos 65 anos de idade.

Há aumento da prevalência e da incidência nas alterações da marcha com o avançar da idade⁸. A identificação de alterações de marcha relacionadas ao risco de queda em mulheres na faixa etária de transição entre a fase adulta e idosa não tem descrição na literatura brasileira, e há poucos relatos internacionais⁹. A detecção de instabilidade dinâmica em grupos etários não considerados de risco pode oferecer informações a respeito da prevenção de alterações da mobilidade e do declínio de capacidades funcionais, além de encorajar mudanças nos hábitos diários para promover um envelhecimento saudável¹⁰, que minimize agravos físicos, financeiros e sociais.

O presente estudo visou comparar e correlacionar, dentre as medidas temporoespaciais da marcha de

mulheres jovens e de adultas idosas, as que indiquem possibilidade de queda.

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo analítico transversal realizado no Laboratório de Movimento Dr. Cláudio de Almeida Borges, da Universidade Estadual de Goiás (UEG), aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás (UFG), protocolo nº 741.298/2014. Todos os voluntários assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

Amostra

A amostra probabilística intencional foi composta por mulheres saudáveis, recrutadas por convite, oriundas da região metropolitana de Goiânia (GO). O cálculo amostral para este estudo considerou: intervalo de confiança de 95%; nível de significância de 0,05 (erro tipo I); poder de 95% (erro tipo II); e tamanho de efeito de 1,29. Utilizando a medida de comprimento da passada, esse cálculo mostrou a necessidade de um total de 34 sujeitos, sendo 17 para o grupo de jovens e 17 para o grupo de adultas-idosas. O cálculo foi realizado pelo

software GPower versão 3.2. Considerando uma perda de 10%.

Os critérios de exclusão foram: relato de osteoartrose na coluna vertebral e/ou endoprótese em membros inferiores; diagnóstico médico de artrite reumatóide; doença neuromuscular ou neurodegenerativa; incluindo diabetes mellitus; sequelas de doença neurológica; dor articular ou edema nos últimos 30 dias; volume abdominal que impedisse a visualização de marcadores refletores na pelve; deficiência visual; índice de massa corporal (IMC) igual ou superior a 30 kg/m²; uso de dispositivos auxiliares de marcha; prática regular de atividade física¹¹; ausência de histórico de queda no ano anterior à avaliação de marcha.

As mulheres apresentam maior ocorrência de limitações funcionais e de quedas com o avanço da idade¹², e um IMC maior que 30 modifica a marcha do idoso devido à obesidade^{13,14}. O gênero e a idade marcam a diferença entre os parâmetros temporoespaciais de marcha a partir dos 70 anos, independente do histórico de quedas⁸. A associação desses fatores justifica o desenvolvimento deste estudo com uma amostra de mulheres estratificadas nos grupos denominados “jovens” e “adultas-idosas”, sem histórico prévio de quedas.

Procedimentos do estudo

Em ortostatismo, foram colocados marcadores refletores nas participantes, segundo o protocolo de Helen Hayes¹⁵. As coletas foram feitas individualmente,

com a mulher descalça, andando em velocidade autosselcionada, em uma pista de oito metros (8 m) de comprimento, com duas plataformas de força (AMTI® modelo OR6; OR7) localizadas no solo, até se obter cinco filmagens válidas para cada mulher.

O tempo de filmagem foi de sete segundos, feita por duas câmeras VHS nas vistas sagital e frontal e por seis câmeras infravermelhas Pulmix® 120 hz por segundo (modelo TM-6701AN). Os dados foram processados pelo software Vicon Peak 9.2®¹⁶⁻¹⁸.

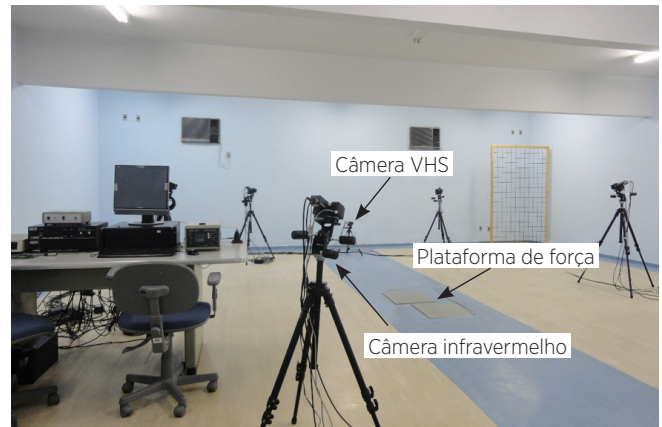


Figura 1. Vista panorâmica do Laboratório UEG, indicando plataformas de força, câmeras infravermelhas e VHS

As medidas temporoespaciais consideradas na pesquisa totalizaram 46 variáveis, considerando os lados direito e esquerdo de forma independente, definidos no quadro a seguir^{19,20}:

Quadro 1. Descrição dos parâmetros temporoespaciais da marcha aplicados na pesquisa

Parâmetros de marcha (unidade de medida)	Descrição
Comprimento do passo (metros)	Distância anteroposterior desde o contato inicial de um pé até o contato do outro pé.
Comprimento da passada (metros)	Distância anteroposterior entre dois passos consecutivos do mesmo pé.
Largura da base (metros)	Distância, perpendicular à linha de progressão, entre os pontos de contato dos pés.
Cadência (passos/minuto)	Número de passos por minuto.
Período do passo (segundo)	Tempo decorrido desde o contato inicial de um pé até o contato inicial do pé oposto.
Período da passada (segundo)	Tempo decorrido entre os contatos iniciais de dois passos consecutivos do mesmo pé.
Período de apoio (segundo)	Tempo decorrido entre o contato inicial de um pé até o desprendimento do mesmo pé.
Período de balanço (segundo)	Tempo decorrido entre o desprendimento do pé e o contato inicial do mesmo pé.
Período de suporte simples (segundo)	Tempo em que apenas um dos pés está em contato com o solo.
Período do duplo suporte (segundo)	Tempo decorrido com os dois pés apoiados no solo.
Parâmetro cíclico (porcentagem)	Corresponde a todos os eventos de um ciclo de marcha mensurados em porcentagem.
Velocidade da marcha (metros/segundo)	Distância percorrida em um dado intervalo de tempo.

A análise estatística verificou normalidade de distribuição dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk, considerando p≤0,01. Realizou-se análise inferencial

com média, desvio-padrão e intervalo de confiança. Comparou-se as médias dos grupos pelos testes t de Student e de Mann-Whitney seguindo a distribuição

da variável. Utilizou-se a regressão linear para analisar a previsão das alterações nas variáveis temporoespaciais de marcha pela idade com o programa Statistical Package for Social Sciences versão 22.0 – nível de confiança de 95%.

Resultados

A amostra foi composta por dois grupos de mulheres, denominados “jovens” (n=19, média 28,5 anos±5,6)

e “adultas-idosas” (n=19, média de 61,2 anos ±6,9) (Tabela 1).

As adultas-idosas do estudo eram eutróficas²¹, com IMC médio de 23 kg/m², havendo diferença estatisticamente significativa na comparação entre mulheres jovens e adultas-idosas para vários parâmetros temporoespaciais (Tabela 2).

A comparação (Tabela 2) e a regressão linear (Tabela 3) apresentaram resultados indicativos de diferenças entre os grupos, com presença de medidas de risco de queda.

Tabela 1. Descrição e análise inferencial das variáveis antropométricas, comparando os grupos etários jovens (20-40 anos) e adultas idosas (50-70 anos)

Variáveis antropométricas	Média (DP)		Shapiro-Wilk	Teste t Student (p<0,05)
	Jovens	Adultas-idosas	Jovens/adultas-idosas	
Idade (anos)	28,5 (5,66)	61,2 (6,99)	0,07/0,14	<0,001*
Peso (quilogramas)	54,7(7,88)	59,7 (8,87)	0,7/0,35	0,073
Altura (metros)	1,59(0,06)	1,56(0,06)	0,04*/0,58	0,125
IMC (kg/m ²)	21,7 (2,96)	24,5(3,04)	0,4/0,39	0,007*

*Diferença significativa entre grupos

Tabela 2. Comparação dos parâmetros temporoespaciais da marcha entre jovens (20-40 anos) e adultas idosas (50-70 anos)

Variáveis da marcha	Média/mediana/ (DP)		IC (95%)		Teste t Student (p<0,05)
	Jovens	Adultas-idosas	Sup.	Inf.	
Comprimento passada D (m)	1,3±0,07	1,2±0,08	1,33	1,16	0,003
Comprimento passada E (m)	1,31±0,07	1,21±0,09	1,34	1,16	0,002
Comprimento passo D (m)	0,67±0,04	0,61±0,05	0,69	0,58	0,008
Comprimento passo E (m)	0,64±0,04	0,59±0,04	0,66	0,57	0,001
Período apoio E (s)	0,64±0,04	0,39±0,02	0,66	0,38	0,008
Período passo D (s)	0,54±0,03	0,55±0,02	0,56	0,52	0,049
Duplo suporte E (s)	0,24±0,03	0,28±0,04	0,31	0,22	0,003
Largura base E (m)	0,12*	0,1*	0,13	0,08	0,005 ¹
Resposta carga E (m)	0,14±0,01	0,16±0,01	0,17	0,14	0,001
Pré-balanço D (s)	0,14±0,01	0,16±0,01	0,17	0,14	0,001
Pré-balanço E (s)	0,1±0,02	0,12±0,02	0,14	0,09	0,011
Período apoio E (%CM)	61,26±1,24	63,27±1,88	64,27	60,66	0,001
Período balanço E (%CM)	38,74±1,23	36,72±1,88	39,34	35,72	0,001
Período suporte simples E (%CM)	37,68±1,14	36,64±1,44	38,23	35,87	0,025
Período resposta carga E (%CM)	13,67±0,82	14,94±1,11	15,54	13,28	>0,001
Período pré-balanço D (%CM)	13,76±0,88	15,11±1,28	15,79	13,34	0,001
Período pré-balanço E (%CM)	9,9±1,8	11,68±2,26	12,89	9,04	0,014

Sup: superior; Inf: inferior; D: direito; E: esquerdo; CM: percentil do ciclo de marcha; m: metros; s: segundos

*valores de mediana; 1 Mann-Whitney(p<0,05).

Tabela 3. Análise da previsão da idade sobre as alterações dos parâmetros temporoespaciais de marcha, utilizando a regressão linear.

Parâmetros temporoespaciais da marcha	R	R ² (%)	(p<0,05)
Comprimento passada D	0,44	0,195	0,002
Comprimento passada E	0,42	0,184	0,003
Comprimento passo D	0,43	0,189	0,003
Comprimento passo E	0,4	0,155	0,007

continua...

Tabela 3. Continuação

Parâmetros temporoespaciais da marcha	R	R ² (%)	(p<0,05)
Período apoio D	0,41	0,171	0,005
Período apoio E	0,48	0,234	0,001
Período duplo suporte D	0,48	0,237	0,001
Período duplo suporte E	0,6	0,368	<0,001
Período pré-balanço D	0,62	0,386	<0,001
Período pré-balanço E	0,53	0,288	<0,001
Pré-balanço D em porcentagem do ciclo	0,56	0,324	<0,001
Pré-balanço E em porcentagem do ciclo	0,53	0,285	<0,001
Velocidade média	0,45	0,204	0,002

D: direito; E: esquerdo

DISCUSSÃO

No estudo, as mulheres de 50 a 70 anos de idade apresentaram alteração precoce dos parâmetros temporoespaciais da marcha, indicativos de risco de queda. A alteração na marcha do idoso ocorre a partir de 60 a 65 anos^{22,23}, sem considerar que há risco de quedas na população entre 45 a 65 anos²⁴.

Identificou-se outros marcadores biomecânicos de alterações no aparelho locomotor que implicam risco de queda. O enfraquecimento muscular, as alterações na mobilidade articular, na flexibilidade e no equilíbrio são condições próprias do envelhecimento, que influenciam na marcha independente da idade definida para o senescente²⁵.

Houve diferença significativa para as medidas temporoespaciais entre os lados direito e esquerdo no estudo, confirmando assimetria e risco de queda nas mulheres da pesquisa, como foi analisado por Patterson et al.²⁶. Essas diferenças podem ter ocorrido devido à oscilação do centro de massa ou à direção do pé dominante durante a fase de balanço²⁷.

A medida da largura da base apresentou diferença estatística significativa entre jovens e adultas-idosas no estudo, concordando com Muir et al.²⁸. A largura da base reflete no equilíbrio e na marcha, atuando na regulação do posicionamento do centro de massa²⁹, marcando a diferença de marcha entre idosos caídores e não caídores⁴.

A velocidade média de marcha é um marcador funcional que indica risco de queda no idoso³⁰, especialmente a partir da sétima década de vida¹¹. No estudo, cuja média de idade é 42 anos, a velocidade de marcha das jovens foi de 1,26 m/s, e das adultas-idosas, 1,12m/s – valores semelhantes aos de outros estudos^{31,32}. Considerou-se o efeito da variação da idade sobre a

velocidade, e a análise de regressão linear mostrou que, a cada avanço em um ano na idade, a velocidade de marcha das mulheres mudaria em 20%. A diminuição da velocidade de marcha pode ser utilizada como um marcador de fragilidade³³, e quanto mais precocemente identificada a alteração da velocidade na marcha, melhor a condução terapêutica para diminuir o risco de quedas.

Os comprimentos da passada e do passo, bilateralmente, apresentaram diferença significante. A redução do comprimento da passada está associada a quedas em homens acima de 74 anos, o que não ocorre em mulheres na mesma faixa etária ou entre homens e mulheres de 65 a 74 anos de idade⁴.

No presente estudo, com o avançar da idade, as medidas funcionais – comprimentos do passo, passada e velocidade – diminuíram, e as medidas de estabilidade – duração dos períodos de apoio, apoio duplo e pré-balanço – aumentaram na busca por estabilidade, no intuito de diminuir o risco de quedas^{34,35}. A medida de apoio duplo apresentou relação direta com o avançar da idade a partir dos 50 anos ($r=0,48$ e $p=0,010$ à direita; e $r=0,60$ e $p<0,001$ à esquerda), semelhante ao estudo de LaRoche et al.³⁶. Alguns programas de fisioterapia³⁷ podem mudar os parâmetros de velocidade, tempo e comprimento da passada, que são medidas de risco para quedas. Além disso, as medidas temporoespaciais apresentam mudanças sutis, e os equipamentos tridimensionais de análise de movimento detectam mínimas diferenças na marcha advindas da relação com a idade.

CONCLUSÃO

As medidas do comprimento do passo, passada e velocidade diminuem, enquanto as medidas de tempo de apoio, apoio duplo e pré-balanço aumentam.

Na comparação entre os grupos etários, as modificações que indicam risco de queda ocorrem na faixa etária de 50 a 70 anos de idade. Nossos achados ampliam os conhecimentos sobre as alterações de marcha em uma faixa etária ainda não considerada de risco.

REFERÊNCIAS

- Ganz DA, Bao Y, Shekelle PG, Rubenstein LZ. Will my patient fall? *JAMA*. 2007;297(1):77-86.
- Senden R, Savelberg HH, Grimm B, Heyligers IC, Meijer K. Accelerometry-based gait analysis, an additional objective approach to screen subjects at risk for falling. *Gait Posture*. 2012;36(2):296-300. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.03.015.
- Callisaya ML, Blizzard L, Schmidt MD, McGinley JL, Srikanth VK. Ageing and gait variability – a population-based study of older people. *Age Ageing*. 2010;39(2):191-7. doi: 10.1093/ageing/afp250.
- Thaler-Kall K, Peters A, Thorand B, Grill E, Autenrieth CS, Horsch A, et al. Description of spatio-temporal gait parameters in elderly people and their association with history of falls: results of the population-based cross-sectional KORA-Age study. *BMC Geriatr*. 2015;15(1):32. doi: 10.1186/s12877-015-0032-1.
- Schwesig R, Fischer D, Lauenroth A, Becker S, Leuchte S. Can falls be predicted with gait analytical and posturographic measurement systems? A prospective follow-up study in a nursing home population. *Clin Rehabil*. 2013;27(2):183-90. doi: 10.1177/0269215512452880.
- MacAulay RK, Allaire TD, Brouillette RM, Foil HC, Bruce-Keller AJ, Han H, et al. Longitudinal assessment of neuropsychological and temporal/spatial gait characteristics of elderly fallers: taking it all in stride. *Front Aging Neurosci*. 2015;7:34. doi: 10.3389/fnagi.2015.00034.
- Verghese J, Holtzer R, Lipton RB, Wang C. Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2009;64A(8):896-901. doi: 10.1093/gerona/glp033.
- Doyo W, Kozakai R, Kim HY, Ando F, Shimokata H. Spatiotemporal components of the 3-D gait analysis of community-dwelling middle-aged and elderly Japanese: age and sex-related differences. *Geriatr Gerontol Int*. 2011;11(1):39-49. doi: 10.1111/j.1447-0594.2010.00632.x.
- Talbot LA, Musiol RJ, Witham EK, Metter EJ. Falls in young, middle-aged and older community dwelling adults: perceived cause, environmental factors and injury. *BMC Public Health*. 2005;5:86. doi: 10.1186/1471-2458-5-86.
- Oh-Park M, Holtzer R, Xue X, Verghese J. Conventional and robust quantitative gait norms in community-dwelling older adults. *J Am Geriatr Soc*. 2010;58(8):1512-8. doi: 10.1111/j.1532-5415.2010.02962.x.
- Arnold JB, Mackintosh S, Jones S, Thewlis D. Differences in foot kinematics between young and older adults during walking. *Gait Posture*. 2014;39(2):689-94. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.09.021.
- Suzuki T, Bean JF, Fielding RA. Muscle power of the ankle flexors predicts functional performance in community-dwelling older women. *J Am Geriatr Soc*. 2001;49(9):1161-7.
- Silva-Hamu TCD, Formiga CKMR, Gervásio FM, Ribeiro DM, Christofoletti G, França Barros J. The impact of obesity in the kinematic parameters of gait in young women. *Int J Gen Med*. 2013;6:507-13. doi: 10.2147/IJGM.S44768.
- Ko S, Stenholm S, Ferrucci L. Characteristic gait patterns in older adults with obesity – Results from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *J Biomech*. 2010;43(6):1104-10. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.
- Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *J Orthop Res*. 1990;8(3):383-92. doi: 10.1002/jor.1100080310.
- Peak Performance Technologies. Manual Peak Motus 9.2. Colorado: Motus; 2000.
- Elble RJ, Thomas SS, Higgins C, Colliver J. Stride-dependent changes in gait of older people. *J Neurol*. 1991;238(1):1-5.
- Novaes RD, Miranda AS, Dourado VZ. Usual gait speed assessment in middle-aged and elderly Brazilian subjects. *Rev Bras Fisioter*. 2011;15(2):117-22.
- Kaufman KR, Sutherland DH. Cinemática da marcha normal. In: Rose J, Gamble JG, editors. *Marcha: teoria e prática da locomoção humana*. 3. ed. São Paulo: Guanabara Koogan; 2007. p. 35-52.
- Perry J, Burnfield JM. *Gait analysis: normal and pathological function*. 2. ed. New Jersey: Slack Incorporated; 2010.
- Lipschitz DA. Screening for nutritional status in the elderly. *Prim Care*. 1994;21(1):55-67.
- Moreira BS, Sampaio RF, Kirkwood RN. Spatiotemporal gait parameters and recurrent falls in community-dwelling elderly women: a prospective study. *Braz J Phys Ther*. 2015;19(1):61-9. doi: 10.1590/bjpt-rbf.2014.0067.
- DeVita P, Hortobagyi T. Age causes a redistribution of joint torques and powers during gait. *J Appl Physiol* (1985). 2000;88(5):1804-11.
- Talbot LA, Musiol RJ, Witham EK, Metter EJ. Falls in young, middle-aged and older community dwelling adults: perceived cause, environmental factors and injury. *BMC Public Health*. 2005;18(5):86. doi: 10.1186/1471-2458-5-86.
- Kerrigan DC, Todd MK, Della Croce U, Lipsitz LA, Collins JJ. Biomechanical gait alterations independent of speed in the healthy elderly: evidence for specific limiting impairments. *Arch Phys Med Rehabil*. 1998;79(3):317-22.
- Patterson KK, Nadkarni NK, Black SE, McIlroy WE. Gait symmetry and velocity differ in their relationship to age. *Gait Posture*. 2012;35(4):590-4. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.11.030.
- Krishnan V, Rosenblatt NJ, Latash ML, Grabiner MD. The effects of age on stabilization of the mediolateral trajectory of the swing foot. *Gait Posture*. 38(4):923-8. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.04.023.
- Muir BC, Rietdyk S, Haddad JM. Gait initiation: the first four steps in adults aged 20-25 years, 65-79 years, and 80-91 years. *Gait Posture*. 2014;39(1):490-4. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.08.037.
- McAndrew Young PM, Dingwell JB. Voluntarily changing step length or step width affects dynamic stability of

- human walking. *Gait Posture*. 2012;35(3):472-7. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.11.010.
30. Montero-Odasso M, Schapira M, Soriano ER, Varela M, Kaplan R, Camera LA, et al. Gait velocity as a single predictor of adverse events in healthy seniors aged 75 years and older. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2005;60(10):1304-9.
31. Allard P, Lachance C, Aissaoui R, Duhaime M. Simultaneous bilateral 3-D able-bodied gait. *Hum Mov Sci*. 1996;15:327-46.
32. Crosbie J, Vachalathiti R, Smith R. Age, gender and speed effects on spinal kinematics during walking. *Gait Posture*. 1997;5:13-20.
33. Freire Junior RC, Porto JM, Rodrigues NC, Brunelli R M, Braga LF, Abreu DC. Spatial and temporal gait characteristics in pre-frail community-dwelling older adults. *Geriatr Gerontol Int*. 2016;16(10):1102-8. doi: 10.1111/ggi.12594.
34. Bridenbaugh SA, Kressig RW. Laboratory review: the role of gait analysis in seniors' mobility and fall prevention. *Gerontology*. 2011;57(3):256-64. doi: 10.1159/000322194.
35. König N, Singh NB, von Beckerath J, Janke L, Taylor WR. Is gait variability reliable? An assessment of spatio-temporal parameters of gait variability during continuous overground walking. *Gait Posture*. 2014;39(1):615-7. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.06.014>.
36. LaRoche DP, Greenleaf BL, Croce RV, McGaughy JA. Interaction of age, cognitive function, and gait performance in 50-80-year-olds. *Age (Dordr.)* 2014;36(4):9693. doi: 10.1007/s11357-014-9693-5.
37. Verlinden VJ, van der Geest JN, Hoogendam YY, Hofman A, Breteler MM, Ikram MA. Gait patterns in a community-dwelling population aged 50 years and older. *Gait Posture*. 2013;37(4):500-5. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.09.005.