



Revista Brasileira de
CIÊNCIAS DO ESPORTE

www.rbceonline.org.br



ARTIGO DE REVISÃO

Aspectos biomecânicos da locomoção de pessoas com doença de Parkinson: revisão narrativa



Elren Passos Monteiro^{a,b,c}, Lúcia Bartmann Wild^d, Flávia Gomes Martinez^a,
Aline de Souza Pagnussat^b e Leonardo A. Peyré-Tartaruga^{a,*}

^a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Laboratório de Pesquisa do Exercício, Porto Alegre, RS, Brasil

^b Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Porto Alegre, RS, Brasil

^c Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Setor de Pesquisas em Distúrbios do Movimento, Porto Alegre, RS, Brasil

^d Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Laboratório de Biologia Desenvolvimental e Neurobiologia, Porto Alegre, RS, Brasil

Recebido em 7 de dezembro de 2015; aceito em 30 de julho de 2016

Disponível na Internet em 27 de agosto de 2016

PALAVRAS-CHAVE

Cinemática;
Eletromiografia;
Marcha patológica;
Parkinsonismo
primário

Resumo A presente revisão narrativa tem por objetivo analisar os aspectos biomecânicos da locomoção e os efeitos de intervenções nos padrões da marcha de pessoas com doença de Parkinson (DP). Fez-se uma pesquisa bibliográfica no banco de dados dos sistemas SciELO e PubMed, com as seguintes palavras: *human locomotion*, *biomechanics*, *pathologic gait* e *Parkinson's disease*, em periódicos nacionais e internacionais. Concluímos que as principais alterações biomecânicas são nos parâmetros espaçotemporais, como menor comprimento de passada e estabilidade dinâmica, além da baixa ativação muscular nos músculos propulsores, bem como menor velocidade autosselecionada da marcha. Fazem-se necessários protocolos de treinamento de caminhada que considerem esses parâmetros para auxiliar a reabilitação da marcha de pessoas com DP.

© 2016 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondência.

E-mail: leonardo.tartaruga@ufrgs.br (L.A. Peyré-Tartaruga).

KEYWORDS

Kinematic;
Electromyography;
Pathologic gait;
Parkinsonism

PALABRAS CLAVE

Cinemática;
Electromiografía;
Marcha patológica;
Parkinsonismo
primario

Biomechanical aspects of locomotion people with Parkinson's disease: review study

Abstract The purpose of this review was to analyze the biomechanical aspects of walking in individuals with Parkinson's disease (PD), as well as to examine the effects of intervention on gait pattern of PD. We carried out a bibliographic search on electronic databases SciELO and PubMed, using the following words: *human locomotion, biomechanics, pathologic gait e Parkinson's disease*, in national and international scientific journals. The main alterations on walking biomechanics are related to spatiotemporal parameters, lower stride length and dynamical stability, as well as reduced electromyographic activation on propulsion muscles and lower self-selected speed. These outcomes seem to be important targets in walking training protocols for rehabilitation of gait in PD.

© 2016 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Aspectos biomecánicos de la locomoción de personas con enfermedad de Parkinson: una revisión

Resumen La presente revisión tiene por objetivo analizar los aspectos biomecánicos de la locomoción y los efectos de las intervenciones en los patrones de la marcha en personas con enfermedad de Parkinson (EP). Se realizó una investigación bibliográfica en las bases de datos SciELO y PubMed, utilizando las siguientes palabras: *human locomotion, biomechanics, pathologic gait y Parkinson's disease*, en revistas nacionales e internacionales indexadas. Se llegó a la conclusión de que las principales alteraciones biomecánicas se encuentran en los parámetros espacio-temporales, como menor longitud de la zancada y estabilidad dinámica, además de una baja activación electromiográfica de los músculos propulsores, como menor velocidad autoseleccionada de la marcha. Estos resultados convierten en necesarios protocolos de entrenamiento de la marcha que tengan en cuenta estos parámetros para la rehabilitación de personas con EP.

© 2016 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introdução

A doença de Parkinson (DP) é uma desordem neurológica, crônica, progressiva e polissintomática. A fisiopatologia se caracteriza pelo acúmulo de uma proteína chamada de alfa-sinucleína e inclusões intraneuronais de corpos de Lewy, que geram perdas seletivas de populações celulares, como os neurônios dopaminérgicos na via *nigro-estriada* (Kleiner et al., 2015). Somando-se a isso, ocorre uma desordem no sistema extrapiramidal, que é composto pelos núcleos da base (NB) e o tálamo, no qual promovem distúrbios dos movimentos que podem ser hipercinéticos ou hipocinéticos (Gallo et al., 2014).

Os principais sintomas clínicos motores se constituem em tremores de repouso, rigidez muscular e alterações posturais (Wild et al., 2013). Outros distúrbios, como bradicinesia e redução de movimentos, constituem uma das maiores dificuldades dos pacientes e eles podem estar associados com a dificuldade de iniciar a marcha, devido à redução da

velocidade, do equilíbrio e à instabilidade estática e dinâmica, fatores que são preponderantes para a marcha patológica (Cho et al., 2010).

Na caminhada parkinsoniana, os padrões de atividade muscular da marcha são alterados e são principalmente caracterizados pela baixa ativação do gastrocnêmio medial (GM). Esse padrão é muito mais acentuado nos pacientes parkinsonianos com *freezing*, que demonstram uma perda de adaptação da atividade muscular com a variação da velocidade de locomoção (Albani et al., 2003; Rochester et al., 2009; Kleiner et al., 2015).

Está documentado na literatura que o treinamento da caminhada em diferentes situações, em esteira, com suspensão do peso corporal e com pistas visuais, parece ser promissor para a melhoria da marcha parkinsoniana (Soares e Peyré-Tartaruga, 2010; Reuter et al., 2011). Contudo, os estudos encontrados são superficiais no que diz respeito à prescrição de treinamento para a reabilitação da locomoção. E ainda não estão claros quanto aos benefícios

das intervenções sobre os parâmetros biomecânicos da marcha nessa população.

Nesse sentido, o objetivo da presente revisão é identificar as principais alterações biomecânicas da marcha de pessoas com DP e os benefícios das intervenções terapêuticas sobre essas alterações biomecânicas.

Metodologia

Fez-se uma revisão da literatura científica nos bancos de dados dos sistemas PubMed e SciELO com as seguintes palavras: *human locomotion, biomechanics, pathologic gait e Parkinson's disease*, em periódicos nacionais e internacionais de 2000 a 2016. A pesquisa *online* dos artigos limitou-se aos idiomas inglês e português e o critério de seleção foi baseado na leitura crítica do material encontrado, os artigos mais relevantes do tema proposto e os mais citados. A partir dessa busca estruturamos a revisão da seguinte forma: 1 – Locomoção de sujeitos com DP: aspectos biomecânicos; 2 – Estabilidade dinâmica da marcha de Parkinson; 3 – Atividade eletromiográfica na marcha de sujeitos com DP; 4 – Reabilitação da marcha e programas de intervenção.

Locomoção de sujeitos com doença de Parkinson: aspectos cinemáticos

As deficiências na marcha são observadas com frequência na DP. Elas são: dificuldade da regulação espaço-temporal, reduzido comprimento de passada (CP), maior frequência de passada (FP), maior tempo do duplo apoio dos pés no chão e maior variabilidade dos parâmetros espaço-temporais em relação aos sujeitos saudáveis (Hausdorff et al., 2003; Cho et al., 2010; Frazzitta et al., 2013; Kleiner et al., 2015). Por exemplo, no estudo de Morris et al. (2012), o CP médio nos sujeitos com Parkinson foi de 1,06 m na velocidade autoselecionada (VAS) de 0,99 m.s⁻¹, enquanto que em sujeitos controle o CP foi de 1,25 m na VAS de 1,30 m.s⁻¹. Nesses mesmos sujeitos e condições, a FP foi de 125 passos por minuto nos parkinsonianos e 112 passos por minuto.

Na DP o parâmetro que mais prejudica a caminhada e promove quedas é a redução do CP, a incapacidade de controlar a FP (festinação) e a alteração nos padrões posturais (Morris et al., 2005; Cho et al., 2010). Os fatores neurofuncionais que alteram a dinâmica da locomoção são a diminuição e a lentidão de movimentos (bradicinesia), a dificuldade de iniciar esses movimentos por causa do *freezing* (congelamento, que é sensação de estar "colado" ao solo) e a acinesia, que é a falta ou ausência de movimento (Sofuwa et al., 2005). Outro mecanismo envolvido na modificação da marcha de parkinsonianos é a disfunção colinérgica, que parece ser um fator preditivo importante para a redução da velocidade da locomoção nessa população (Rochester et al., 2009; Frazzitta et al., 2013).

O impulso dopaminérgico parece ser fundamental para o controle de movimento e particularmente para a estabilidade de locomoção, como demonstrado em estudos que avaliam o efeito da substância levodopa em parkinsonianos (Caliandro et al., 2011). Sofuwa et al. (2005) compararam parâmetros de marcha em DP durante a fase *on* do ciclo de medicação com sujeitos idosos saudáveis (grupo controle – GC) e os resultados mostraram que em sujeitos com

DP houve uma redução significativa nos parâmetros espaço-temporais, como o CP e a velocidade, em comparação com o GC. E ainda foi observado, por meio da cinemetria, que o grupo DP executou uma excursão de flexão plantar do tornozelo, marcadamente reduzida (a 50%-60% do ciclo da marcha).

Outros aspectos são a alteração nos padrões posturais e a redução na coordenação das cinturas escapular e pélvica ocasionada pela rigidez muscular, o que caracteriza a marcha em blocos (Morris et al., 2005). Esses fatores interferem na variabilidade dos parâmetros espaço-temporais da caminhada, promovem, dessa forma, um maior dispêndio energético durante a locomoção (Merello et al., 2010; Hamlet et al., 2011).

Nos estudos de marcha de Herman et al. (2007), Merello et al. (2010) e Ivkovic e Kurz (2011) são descritos os parâmetros espaço-temporais da marcha parkinsoniana e os graus da doença, bem como as intervenções de reabilitação da locomoção de DP. A partir dos estudos analisados, conclui-se que as principais alterações biomecânicas da caminhada de pacientes com DP são: a redução da dissociação das cinturas escapular e pélvica, o aumento da FP, a redução do CP e da VAS, bem como das amplitudes articulares dos membros inferiores, como pode ser observado na tabela 1.

Esses descritores cinemáticos podem ser parâmetros clínicos para a avaliação de mobilidade, risco de quedas e resposta a intervenções de reabilitação. Entretanto, os estudos encontrados têm algumas lacunas, pois não analisam parâmetros importantes, como os parâmetros espaço-temporais da marcha, como CP e FP, a VAS r o estadiamento da doença, e não têm GC pareados por sexo e idade. Dessa forma, tornam-se relevantes e necessários novos estudos, principalmente relacionados aos aspectos biomecânicos da caminhada, visto que esses parâmetros são importante para a reabilitação da marcha, redução de quedas, independência funcional e QV desses sujeitos.

Estabilidade dinâmica da marcha na doença de Parkinson

A estabilidade dinâmica da marcha (ED) envolve aspectos biomecânicos, de equilíbrio e de controle postural e está subdividida em global e local. A estabilidade global refere-se à variabilidade dos parâmetros espaços-temporais, tais como CP, FP, tempo de contato (TC), tempo de balanço (TB) e velocidade. Essa variável pode ser relacionada com o equilíbrio e o risco de quedas. A ED local se refere à determinação da cinemática angular e da variabilidade das amplitudes das articulações (England e Granata, 2007). A variabilidade dos parâmetros espaço-temporais, representado pelo coeficiente de variação (CoV), tem uma relação inversa com a ED, uma vez que quanto maior a variabilidade, menor será a ED da marcha e maior o risco de quedas (Hausdorff et al., 2003; Beauchet et al., 2009; Cho et al., 2010; Oliveira et al., 2013).

Em pessoas com DP o deslocamento do CM é alterado, uma vez que há uma instabilidade postural, sobretudo nas situações de mudança de direção e velocidade, o que contribui para o aumento da variabilidade da marcha e para o aumento do gasto energético da caminhada (Hamlet et al., 2011). Esse aumento do gasto energético pode

Tabela 1 Parâmetros espaço-temporais da marcha parkinsoniana, os graus da doença e as intervenções de reabilitação, advindos de estudos de marcha em sujeitos com DP e grupo controle

Autores dos estudos	Intervenção	Velocidade (m.s ⁻¹)	Estágio H&Y	Grau UPDRS	N sujeitos	Idade (anos)	FP	CP
Ivkovic e Kurz (2011)	Suspensão peso corporal	VAS	X	X	9 DP 9 ID 21 JV	DP (73,4) ID (74,8) JV (19,9)	DP têm maiores variações na cinemática do balançada perna que os ID e JV.	
Merello et al. (2010)	Piso	VAS	Fest.: 3 N. Fest.: 3	Fest.: 21,66 N. Fest.: 20,43	20 DP 17 GC	DP (68,4) GC (67,8)	X	Fest. ↓ N. Fest. ↓
Cho et al. (2010)	Esteira	0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 1,8 e 2,1	Off: 2,9 On: 2,3	Off - 32,1 On - 21,6	10 DP 7 GC	DP (62,9) GC (36,6)	DP - ↑ GC - ↓	GC ↑ DP - ↓ GC - ↑
Herman et al. (2007)	Esteira	X	X	Pré-treino: 29,0 Pós-treino: 22,0	9 DP	DP (70)	X	Pré-treino - ↓ Pós-treino - ↑
Hausdorff et al. (2003)	Piso Freezing	X	X	Off - 44,3 On - 25,6	32 DP	DP (62)	X	X
Morris et al. (1996)	Piso	VAS	X	X	27 DP 27 GC	DP E GC (73,4)	X	DP - ↓
Dietz et al. (1995)	Esteira	0,25; 0,5; 0,75 e 1	X	X	14 DP 10 GC	DP (61) GC (60,6)	DP - ↑ GC - ↓	GC - ↑ DP - ↓ GC - ↑

Nota: As abreviaturas correspondem a: CP = comprimento de passada; DP = Doença de Parkinson, Fest. = marcha festinada, FP = frequência de passada, GC = grupo controle, H&Y = Hoehn e Yahr, ID = idosos saudáveis, JV = jovens, N. Fest. = marcha não festinada, off = período sem o efeito da medicação, on = período ativo da medicação, VAS = velocidade autosseleccionada, X = não informou o dado, UPDRS = Unified Parkinson's Disease Rating Scale (Escala unificada de avaliação da Doença de Parkinson).

ser explicado pela estratégia adotada pelo controle motor quando o sujeito aumenta o tempo de duplo-apoio para a reestabilização postural, tem assim uma ativação excessiva dos músculos posturais e estabilizadores (Albani et al., 2003; Rochester et al., 2009).

De forma geral, o indivíduo com DP é mais instável, uma vez que os parâmetros espaço-temporais e a magnitude dos movimentos articulares são reduzidos e um dos danos mais frequentes pela redução da flexibilidade é a diminuição da mobilidade do quadril, dos joelhos, dos tornozelos e da coluna vertebral, juntamente com a diminuição da força muscular dos membros inferiores e posturais, o que provoca assimetrias no padrão e na velocidade da marcha (Hamlet et al., 2011).

Essas alterações promovem assimetrias durante a caminhada e conseqüentemente maior variabilidade dos parâmetros espaço-temporais, reduzem a velocidade e a ED da marcha (Beauchet et al., 2009). Dessa forma, esses parâmetros vêm sendo estudados por fornecer dados significativos para análises clínicas do risco de quedas e de respostas de programas de reabilitação. Entretanto, pouco

se conhece sobre as estratégias adotadas pelo sistema nervoso central (SNC) para o controle motor e ED durante a locomoção de parkinsonianos em situações de diferentes velocidades.

Atividade eletromiográfica na marcha da doença de Parkinson

A eletromiografia (EMG) constitui-se de um método bastante usado para a análise clínica da marcha, principalmente para compreender os mecanismos que o SNC usa para execução dessa tarefa. O uso dessa técnica, associado à cinemática, oferece informações para uma análise integrativa da locomoção (Hausdorff et al., 2003).

A amplitude do sinal eletromiográfico em membros inferiores na caminhada em sujeitos normais tende a aumentar com o acréscimo da velocidade e a inclinação do terreno (Arias et al., 2012). Esse padrão persiste em sujeitos com DP (Albani et al., 2003), porém esses apresentam uma baixa ativação dos músculos gastrocnêmio (GM), sóleo (SL) e tibial

anterior (TA) quando comparados com os sujeitos normais (Rochester et al., 2009; Chastan et al., 2009).

Esse padrão de ativação muscular reduzida também se confirma em sujeitos com Parkinson com e sem congelamento da marcha, *freezing*. Ainda assim, em velocidades muito baixas ($1,08 \text{ km.h}^{-1}$) de caminhada o músculo TA apresenta maior ativação nos sujeitos com DP do que no GC (Albani et al., 2003; Chastan et al., 2009).

A baixa ativação do GM durante a caminhada é muito mais acentuada nos parkinsonianos com congelamento da marcha, que mostram uma perda de adaptação com a variação da velocidade de locomoção. Nessa situação de variação de velocidade, o efeito do congelamento é mais pronunciado em relação ao padrão temporal de ativação do que em relação à magnitude de ativação (Rochester et al., 2009).

Apesar da baixa ativação eletromiográfica durante a caminhada, existe uma ativação contínua de baixa intensidade na fase de apoio nos músculos reto femoral e semimembranoso (Mitoma et al., 2000; Ferrarin et al., 2007). Esse padrão subtônico pode estar relacionado ao aumento da geração de momento extensor interno resultante da postura mais flexionada de joelho e quadril (Ferrarin et al., 2007) aliado a uma cocontração maior de TA e GM na fase de suporte em Parkinsonianos (Rochester et al., 2009). Esse padrão menos fásico de ativação muscular parece ser uma estratégia compensatória advinda do sistema de *feedback* proprioceptivo prejudicado, principalmente dos músculos flexores plantares do tornozelo e extensores do joelho.

Outro reflexo importante baseado nas evidências de menor ativação do GM durante o apoio da marcha se refere à função do GM como propulsor horizontal do corpo, particularmente na fase final do apoio (Gottschall e Kram, 2003). A diminuição da atividade muscular do GM pode estar diretamente associada à diminuição de forças de reação do solo anteroposteriores (Rochester et al., 2009) e, consequentemente, na menor velocidade de marcha de sujeitos com DP.

Terapias recentes têm tentado diminuir as alterações de ativação muscular da caminhada de sujeitos com DP. Além do tradicional uso da substância levodopa, a estimulação sensorial cutânea plantar (Jenkins et al., 2009; Galli et al., 2015; Kleiner et al., 2015), a estimulação do núcleo subtalâmico unilateral e bilateral (Ferrarin et al., 2007) e a estimulação rítmica auditiva (Fernandez e Cudeiro, 2003) modificam o padrão de ativação muscular durante a caminhada e tornam os valores de pico e tempos de contração da caminhada em sujeitos com DP mais próximos dos valores de sujeitos controle. No *tabela 2* é possível observar os parâmetros neuromusculares da marcha parkinsoniana em diferentes velocidades, bem como as respostas de intervenções de reabilitação da locomoção de DP.

Os ajustes neuromusculares durante a marcha de Parkinsonianos são explicados, no mínimo parcialmente, devido às alterações no controle da atividade cortical, observado pelas mudanças nos padrões de ativação muscular de membros inferiores, relacionados resumidamente a seguir:

- i) menor ativação de GM durante apoio;
- ii) maior ativação de TA em velocidades muito baixas de locomoção;

- iii) maior cocontração de antagonistas flexores plantares e dorso-flexores do tornozelo
- iv) ativação mais tônica ou contínua de músculos dos membros inferiores.

Reabilitação da marcha e programas de intervenção

Diversas são as formas de intervenções que buscam reabilitar a funcionalidade dos pacientes com DP. Intervenções medicamentosas (Stansley e Yamamoto, 2014), neurocirúrgicas de estimulação cerebral profunda (DBS – *Deep Brain Stimulation*) (Veracruz et al., 2014) e não cirúrgicas (Alberts et al., 2011; Kleiner et al., 2015) têm sido propostas na tentativa de contribuir para a melhoria de aspectos motores e não motores da DP.

Todavia, terapêuticas que envolvem medicamentos, como é o caso do uso do Levodopa, e cirurgias como o DBS são métodos que, em longo prazo, trazem complicações e provocam muitos efeitos colaterais indesejáveis em cerca de 80% dos pacientes com DP, tais como flutuações, discinesias e distúrbios mentais (Santos et al., 2010; Kleiner et al., 2015). Somando-se a isso, essas estratégias estão muito aquém de gerenciar todos os aspectos da doença que contribuem para a QV (Bega e Zadikoff, 2014).

Diante de todas as intervenções terapêuticas apresentadas anteriormente, o exercício físico aeróbio sistematizado e supervisionado, pelo menos com frequência semanal de 3 vezes, duração de 30 minutos por dia de treino, parece ser uma opção eficaz e de baixo custo para amenizar os sintomas deletérios da doença (Abbruzzese et al., 2009; Soares e Peyré-Tartaruga, 2010; Kluger et al., 2014; Zigmond e Smeyne, 2014).

Dentre os principais benefícios do exercício aeróbio, especialmente a caminhada, destaca-se maior impacto sobre a mobilidade funcional (Kluger et al., 2014), equilíbrio (Prodoehl et al., 2015; Ey et al., 2014), parâmetros cinemáticos como parâmetros espaço-temporais da caminhada. Além disso, é possível ter efeitos positivos sobre os aspectos psicológicos, como a depressão (Ebersbach et al., 2014; Ey et al., 2014; Tuon et al., 2014), e sobretudo na QV dos pacientes com DP (Eijkeren et al., 2008; Ey et al., 2014; Kluger et al., 2014).

De acordo com alguns estudos, o treino da caminhada em esteira sem e com suspensão do peso corporal (SPC) tem sido bastante eficiente para o desempenho motor e para a reabilitação da marcha, principalmente quando é relacionados com parâmetros biomecânicos, sobretudo como comprimento da passada e melhoria da velocidade (Peurala et al., 2005). Além de ser um trabalho aeróbico, o que contribui para o desenvolvimento da independência funcional dos pacientes (Soares e Peyré-Tartaruga, 2010).

Outro método de treinamento da marcha de pessoas com DP, bastante usado, é o treino em pistas visuais. O treinamento da caminhada por meio de marcadores sobre o solo parece ter um efeito benéfico, uma vez que se torna muito eficaz na regulação do comprimento do passo e melhoria da velocidade de marcha (Dias et al., 2005). As pistas visuais são usadas para desviar a função dos núcleos da base – área motora suplementar, para a área visual-motora,

Tabela 2 Parâmetros neuromusculares da marcha parkinsoniana após programas de intervenções de reabilitação, advindos de estudos de marcha em sujeitos com DP e grupo controle

Autores dos estudos	População Sexo Idade	Método	Músculos analisados	Resultados principais	
Dietz et al. (1995)	14 DP 10 saudáveis	61 ± 11,4 60,6 ± 6	*Estudo transversal; *Caminhada em Split-belt (esteira dividida); * Velocidades: 0,25-0,5-0,75- 1 m/s; *Combinações de velocidades (0,5-1); *Análise de 20 passadas;	*TA das duas pernas; *GM das duas pernas;	*↑ da atividade muscular do TA e GM, na caminhada normal e na Split-belt; *A atividade muscular foi maior no TA que no GM, mas sem diferença significativa; *O estudo sugere que a ↓ da atividade dos extensores da coxa deteriora a caminhada.
Miller et al. (1996)	19 DP 18 saudáveis	71 ± 8; 67 ± 7;	*Estudo longitudinal; *3 semanas de terapia de marcha com música durante 25 min; *VAS; *os testes foram feitos de 90 a 120 min depois de tomar o medicamento;	*EMG: GM; TA; e VL;	*A maior diferença entre os 3 músculos foi com o GM; *A simetria do TA nos dois grupos não teve diferença significativa; *As 3 semanas de terapia melhoraram a velocidade na marcha.
Mitoma et al. (2000)	16 DP; 14 atáxicos; 17 saudáveis	65,06 ± 0,9; 63,76 ± 7,7; 74,46 ± 5,8	*Estudo transversal; *VAS na esteira;	*EMG: GC; TA; GM, VL, BF; AD;	*↓ ativação muscular do GC e TA na VAS parkinsoniana; *↑ ativação muscular do GC e TA na VAS dos sujeitos com ataxia;
Albani et al. (2003)	G1: 5 DP com freezing G2: 5 DP sem freezing G3: 7 saudáveis	63 anos	*Estudo transversal; *Caminhada na esteira; *Diferentes velocidades 0,3 e 1,5 m/s; *1 min de gravação;	*EMG: TA medial; TA lateral; GM medial e GM lateral;	*↑ da atividade muscular do TA lateral e medial em B1, mais que B2 e B3; *↑ da atividade do TA lateral em B2, mais que B3, sem diferenças significativas em TA medial; *↓ da ativação de GM na fase de apoio em B1. Não há diferenças entre B2 e B3.

Nota: AD=adutores, BC=bíceps, BF=bíceps femural, CL=caminhada livre, CN=caminhada nórdica, DP=Doença de Parkinson, DT=deltoide, FL=fibular longo, EMG=eletromiografia, G=grupo, GM=gastrocnêmio medial, GMx=glúteo médio, H=homem, iEMG=integral eletromiográfica, M=mulher, RF=reto femural, SO=sóleo, Split-belt=esteira dividida, ST=semiteudinoso, sub-Máx.=submáximo, TA=tibial anterior, take-off=momento de despegue do pé com o solo, TR=tríceps, V=velocidades, VAS=velocidade autosselecionada de caminhada, VL=vasto lateral, VM=vasto medial, x=dado não informado, ↑=aumento, ↓=redução.

cerebelo e córtex pré-motor, a fim de regular a função motora prejudicada (Marinho et al., 2014).

Recentemente, a caminhada nórdica tem recebido uma atenção maior para a reabilitação de pessoas com DP (Ebersbach et al., 2010; Fritz et al., 2011; Eijkeren et al.,

2008; Reuter et al., 2011). Uma revisão de literatura sistemática sobre os efeitos da caminhada nórdica feita por Tschentscher et al. (2013), na qual avaliaram 16 estudos com intervenção, 1.062 pacientes e 11 estudos observacionais com 831 pacientes, entre eles sujeitos com DP, concluiu que

os efeitos da caminhada nórdica, em curto e longo prazo, sobre a frequência cardíaca, o consumo máximo de oxigênio, QV e outros parâmetros de saúde, são superiores nos programas de caminhada nórdica comparados com caminhada livre e *jogging*.

De acordo com esses achados, programas de caminhada nórdica parecem ser promissores para esses parâmetros funcionais da locomoção humana. Entretanto, não há consenso na literatura quanto aos protocolos de intervenção por se tratar de um método recente. Necessita-se, portanto, de estudos específicos sobre parâmetros biomecânicos da caminhada nórdica em DP.

Assim, fazem-se necessários protocolos de exercícios físicos que englobem o treinamento da marcha e considerem parâmetros de estabilidade dinâmica, espaço-temporais e de equilíbrio, assim como a melhoria postural, padrões eletromiográficos e cinemáticos da caminhada, pois são fundamentais para respostas de reabilitação e parâmetros para risco de quedas.

Conclusão

Pode-se concluir que as principais alterações nos aspectos biomecânicos de pessoas com DP, no que se refere ao padrão normal da caminhada, são: instabilidade, alteração no CM, variabilidade de marcha, redução da dissociação do tronco e quadril, gasto energético elevado durante a caminhada, diminuição da amplitude angular, redução do CP, do FP, da velocidade e baixa ativação muscular durante a caminhada, o que compromete as AVDs e interferem na QL. Entretanto, os programas de exercícios, como caminhada no solo, na esteira, com e sem suspensão do peso corporal, pistas visuais, plataforma vibratória e caminhada nórdica, parecem contribuir para melhoria funcional de todos os aspectos mencionados anteriormente, especialmente sobre a VAS e os parâmetros espaço-temporais da marcha. Contudo, ainda há poucos estudos com a caminhada nórdica sobre os aspectos biomecânicos, mas os resultados apresentados pelas pesquisas apontam que esse método parece ser bastante eficiente para a reabilitação.

Dessa forma, fazem-se necessários protocolos de exercícios físicos, para minimizar os efeitos provenientes da DP, que englobem treinamento da marcha e levem em consideração parâmetros de estabilidade dinâmica, espaço-temporais, cinemáticos, eletromiográficos e de equilíbrio, para reabilitação dessa marcha patológica.

Não foram encontrados, até o presente momento, estudos da caminhada relacionados com os aspectos biomecânicos com inclinação e diferentes ambientes. Portanto, sugerem-se futuros estudos com esses parâmetros, uma vez que situações de caminhada em terrenos inclinados, como rampas e escadas, estão presentes no cotidiano dessas pessoas. Portanto, é preciso conhecer os padrões de estabilidade dinâmica, ativação muscular e cinemática nesses ambientes, para servirem de parâmetros para intervenções clínicas em pacientes com DP.

Apoio financeiro

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Edital Universal, projeto número:

483510/2013. Elren Monteiro recebeu bolsa de mestrado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Agradecimentos

Ao Grupo Locomotion/UFRGS, pelas discussões e sugestões.

Referências

- Abbruzzese G, Trompetto C, Marinelli L. The rationale for motor learning in Parkinson's disease. *Eur J Phys Rehabil Med* 2009;45:209–14.
- Albani G, Sandrini G, Kunig G, Martin-Soelch C, Mauro A, Pignatti R, et al. Differences in the EMG pattern of leg muscle activation during locomotion in Parkinson's disease. *Funct Neurol* 2003;18(3):165–70.
- Alberts JL, Linder SM, Penko AL, Lowe MJ, Phillips M. It is not about the bike, it is about the pedaling: forced exercise and Parkinson's disease. *Exerc Sport Sci Rev* 2011;39(4):177–86.
- Arias P, Espinosa N, Robles-Garcia V, Cao R, Cudeiro J. Antagonist muscle co-activation during straight walking and its relation to kinematics: insight from young, elderly and Parkinson's disease. *Brain Res* 2012;1455:124–31.
- Bega D, Zadikoff C. Complementary & alternative management of Parkinson's disease: an evidence-based review of eastern influenced practices. *J Mov Dis* 2014;7(2):57–66.
- Beauchet O, Annweiler C, Lecordroch Y, Allali G, Dubost V, Herrmann FR, et al. Walking speed-related changes in stride time variability: effects of decreased speed. *J Neuro Eng Rehab* 2009;6:32–7.
- Caliandro P, Ferrarin M, Cioni M, Bentivoglio AR, Minciotti I, D'urso PI, et al. Levodopa effect on electromyographic activation patterns of tibialis anterior muscle during walking in Parkinson's disease. *Gait Posture* 2011;33(3):436–41.
- Chastan N, Westby GW, Yelnik J, Bardinet E, Do MC, Agid Y, et al. Effects of nigral stimulation on locomotion and postural stability in patients with Parkinson's disease. *Brain* 2009;132(1):172–84.
- Cho C, Kunin M, Kudo K, Osaki Y, Olanow CW, Cohen B, et al. Frequency-velocity mismatch: a fundamental abnormality in parkinsonian gait. *J Neurophysiol* 2010;103(1):1478–89.
- Dias N, Fraga DA, Cacho EWA, Oberg TD. Treino de marcha com pistas visuais no paciente com doença de Parkinson. *Fisioterapia em Movimento* 2005;18(4):43–51.
- Dietz V, Zijlstra W, Prokop T, Berger W. Leg muscle activation during gait in Parkinson's disease: adaptation and interlimb coordination. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995;97(6):408–15.
- Ebersbach G, Ebersbach A, Edler D, Kauffhold O, Kusch M, Kupsch A, et al. Comparing exercise in Parkinson's disease – The Berlin LSVT1BIG Study. *Movement Disorders* 2010;25(12):1902–8.
- Ebersbach G, Ebersbach A, Gandor F, Wegner B, Wissel J, Kupsch A. Impact of physical exercise on reaction time in patients with Parkinson's disease-data from the Berlin BIG Study. *Arch Phys Med Rehabil* 2014;95(5):996–1003.
- Eijkelen FJM, Reijmers RSJ, Kleinveld MJ, Minten A, Bruggen JP, Bloem BR. Nordic walking improves mobility in Parkinson's disease. *Movement Disorders* 2008;23(15):1792–7.
- England SA, Granata KP. The influence of gait speed on local dynamic stability of walking. *Gait & Posture* 2007;25(2):172–8.
- Ey UC, Doerschug KC, Magnotta V, Dawson JD, Thomsen TR, Kline JN, et al. Phase I/II randomized trial of aerobic exercise in Parkinson disease in a community setting. *Neurology* 2014;83(5):413–25.

- Fernandez del Olmo M, Cudeiro J. A simple procedure using auditory stimuli to improve movement in Parkinson's disease: a pilot study. *Neurol Clinical Neurophysiol* 2003;2003(2):1-7.
- Ferrarin M, Carpinella I, Rabuffetti M, Rizzone M, Lopiano L, Crenna P. Unilateral and bilateral subthalamic nucleus stimulation in Parkinson's disease: effects on EMG signals of lower limb muscles during walking. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2007;15(2):182-9.
- Frazzitta G, Balbi P, Maestri R, Bertotti G, Boveri N, Pezzoli G. The beneficial role of intensive exercise on Parkinson disease progression. *Am J Phys Med Rehabil* 2013;92(6):523-32.
- Fritz B, Rombach S, Godau J, Berg D, Horstmann T, Grau S. The influence of nordic walking training on sit-to-stand transfer in Parkinson patients. *Gait & Posture* 2011;34:234-8.
- Galli M, Kleiner A, Gaglione M, Sale P, Albertini G, Stocchib F, et al. Timed Up and Go test and wearable inertial sensor: a new combining tool to assess change in subject with Parkinson's disease after automated mechanical peripheral stimulation treatment. *Int J Eng Innovative Tech* 2015;4:155-63.
- Gallo PM, Mcisaac TL, Garber CE. Walking economy during cued versus non-cued self-selected treadmill walking in persons with Parkinson's disease. *J Parkinsons Dis* 2014;4:705-16.
- Gottschall JS, Kram R. Energy cost and muscular activity required for propulsion during walking. *J Appl Physiol* 2003;94(5):1766-72.
- Hamlet S, Geisinger D, Ferreira ED, Nogueira S, Arocena S, San Roman C, et al. Equilíbrio na doença de Parkinson alterando as informações visuais. *Braz J Otorhinolaryngol* 2011;77(5):651-5.
- Hausdorff JM, Schaafsma JD, Balash Y, Bartels AL, Gurevich T, Giladi N. Impaired regulation of stride variability in Parkinson's disease subjects with freezing of gait. *Exp Brain Res* 2003;149:187-94.
- Herman T, Giladi N, Gruendlinger L, Hausdorff JM. Six weeks of intensive treadmill training improves gait and quality of life in patients with Parkinson's disease: a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88:1154-8.
- Ivkovic V, Kurz MJ. Parkinson's disease influences the structural variations present in the leg swing kinematics. *Motor Control* 2011;15:359-417.
- Jenkins ME, Almeida QJ, Spaulding SJ, van Oostveen RB, Holmes JD, Johnson AM. Plantar cutaneous sensory stimulation improves single-limb support time, and EMG activation patterns among individuals with Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord* 2009;15(9):697-702.
- Kleiner A, Galli M, Gaglione M, Hildebrand D, Sale P, Albertini G, et al. The Parkinsonian Gait Spatiotemporal Parameters Quantified by a Single Inertial Sensor before and after Automated Mechanical Peripheral Stimulation Treatment. *Parkinson's Dis* 2015;2015:390512.
- Kluger BM, Brown RP, Aerts S, Schenkman M. Determinants of Objectively Measured Physical Functional Performance in Early to Mid-stage Parkinson Disease. *PM R* 2014;6:992-8.
- Marinho MS, Chaves PM, Tarabal TO. Dupla-tarefa na doença de Parkinson: uma revisão sistemática de ensaios clínicos aleatorizados. *Rev Bras Geriatr Gerontol* 2014;17:191-9.
- Merello M, Fantacone N, Balej J. Kinematic study of whole body center of mass position during gait in Parkinson's disease patients with and without festination. *Movement Disorders* 2010;25(6):747-54.
- Miller RA, Thaut MH, McIntosh GC, Rice RR. Components of EMG symmetry and variability in parkinsonian and healthy elderly gait. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1996;101(1):1-7.
- Mitoma H, Hayashi R, Yanagisawa N, Tsukagoshi H. Characteristics of parkinsonian and ataxic gaits: a study using surface electromyograms, angular displacements and floor reaction forces. *J Neurol Sci* 2000;174:22-39.
- Morris ME, Iansek R, Matyas TA, Summers JJ. Stride length regulation in Parkinson's disease. Normalization strategies and underlying mechanisms. *Brain* 1996;119:551-68.
- Morris M, Iansek R, Matyas TA, Mcginley J, Huxham F. Three-dimensional gait biomechanics in Parkinson's disease: evidence for a centrally mediated amplitude regulation disorder. *Movement Disorders* 2005;20(1):839-45.
- Morris ME, Martin C, Mcginley JL, Huxham F, Menz H, Taylor N, et al. Protocol for a homebased integrated physical therapy program to reduce falls and improve mobility in people with Parkinson's disease. *BMC Neurol* 2012;92(11):1395-410.
- Oliveira HBD, Rosa RGD, Gomeñuka NA, Peyré-Tartaruga LA. Estabilidade dinâmica da caminhada de indivíduos hemiparéticos: a influência da velocidade. *Rev. Educ. Fis/UEM* 2013;24(4):559-65.
- Peurala H, Tarkka IM, Pitkänen K, Sivenius J. The Effectiveness of Body Weight-Supported Gait Training and Floor Walking in Patients With Chronic Stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86(8):1557-64.
- Prodoehl J, Rafferty MR, David FJ, Poon C, Vaillancourt DE, Comella CL, et al. Two-year exercise program improves physical function in Parkinson's disease: the PRET-PD randomized clinical trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2015;29(2):112-22.
- Reuter I, Mehnert S, Leone P, Kaps M, Oechsner M, Engelhardt M. Effects of a flexibility and relaxation programme, walking, and Nordic walking on Parkinson's disease. *Journal of Aging Research* 2011;2011(1):1-18.
- Rochester L, Burn DJ, Woods G, Godwin J, Nieuwboer A. Does auditory rhythmical cueing improve gait in people with Parkinson's disease and cognitive impairment? A feasibility study. *Mov Disord* 2009;24(6):839-45.
- Santos BA, Castro FAS, Bona RL, Peyré-tartaruga LA. Aspectos biomecânicos e Fisiológicos da fadiga na locomoção humana: conceitos, mecanismos e aplicações. *Ciência em Movimento* 2010;23:89-98.
- Soares GS, Peyré-Tartaruga LA. Doença de Parkinson e exercício físico: uma revisão da literatura. *Ciência em Movimento* 2010;24:69-86.
- Sofuwa O, Nieuwboer A, Desloovere K, Willems AM, Chavret F, Jonkers I. Quantitative gait analysis in Parkinson's disease: comparison with a healthy control group. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86(5):1007-13.
- Stanley BJ, Yamamoto BK. Chronic L-Dopa Decreases Serotonin Neurons in a Subregion of the Dorsal Raphe Nucleus. *J Pharmacol Exp Ther* 2014;351(2):440-7.
- Tschentscher M, Niederseer D, Niebauer J. Health benefits of Nordic walking. A systematic review. *Am J Preventive Med* 2013;44(1):76-84.
- Tuon T, Valvassori SS, Dal Pont GC, Paganini CS, Pozzi BG, Luciano TF, et al. Physical training prevents depressive symptoms and a decrease in brain-derived neurotrophic factor in Parkinson's disease. *Brain Res Bull* 2014;108C:106-12.
- Vercruyse S, Vandenberghe W, Munks L, Nuttin B, Devos H, Nieuwboer A. Effects of deep brain stimulation of the subthalamic nucleus on freezing of gait in Parkinson's disease: a prospective controlled study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2014;85(8):871-7.
- Wild LB, de Lima DB, Balardin JB, Rizzi L, Giacobbo BL, Bromberg E, et al. Rieder characterization of cognitive and motor performance during dual-tasking in healthy older adults and patients with Parkinson's disease. *J Neurol* 2013;260(2):580-9.
- Zigmond MJ, Smeyne RJ. Exercise: is it a neuroprotective and if so, how does it work? *Parkinsonism Relat Disord* 2014;20(1):S123-7.