

ANÁLISE DA FORÇA DE REAÇÃO DO SOLO DA MARCHA DE JOVENS E IDOSOS SOB A INFLUÊNCIA DA SIMULAÇÃO DE SOBREPESO

GROUND REACTION FORCE ANALYSIS OF THE YOUNG AND ELDERLY GAIT ON THE INFLUENCE OF THE OVERWEIGHT SIMULATION

Susana Otilia Vilas Bôas Favaro¹, Jerusa Petrónva Resende Lara¹, Ana Carolina Passos de Oliveira¹, Joice Katiane Mendes Beck¹ e André Luiz Felix Rodacki¹

¹Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar as forças de reação do solo (FRS) em indivíduos jovens e idosos sob a influência do sobrepeso simulado em diferentes velocidades de marcha. Método: 30 participantes, 15 jovens (JOV; 22,0±3,7 anos) e 15 idosos (IDS; 69,8±6,4 anos) caminharam em uma passarela com e sem carga adicional. A simulação do sobrepeso se deu através da adição de carga em um colete de cargas variáveis até alcançar o índice de massa corporal (IMC) de sobrepeso (JOV 25kg/m²; IDS 27kg/m²). Os dados foram coletados através de uma plataforma de força (AMTI, OR6-7-2000). Resultados: A média de carga adicionada foi de 13,2±4,0 kg para JOV e 11,7±3,4 para IDS; O nível de significância foi de p≥0,05. Ao normalizar os dados pelo peso, os IDS obtiveram menores picos de FRS em relação aos JOV em ambas as velocidades. Porém, o IDS foi maior que o JOV apenas no segundo pico da força vertical (Fz2) em velocidade rápida. Conclusões: O sobrepeso simulado de forma direta pode não ser capaz de promover mudanças significativas nas quantidades de descarga do peso corporal que pudesse influenciar nas FRS.

Palavras-chave: Idosos. Marcha. Simulação de sobrepeso.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the ground reaction forces (FRS) in young and old individuals under the influence of simulated overweight in different gait speeds. Method: 30 participants, 15 young (YNG; 22±3.7 years) and 15 older adults (OA; 69.8±6.4 years) walked on a walkway with and without an additional load. The simulation of overweight occurred through the addition of load in a variable load vest until reaching the body mass index (BMI) of overweight (BMI YNG 25kg/m²; OA 27kg/m²). FRS were measured using a force platform (AMTI, OR6-7-2000). Results: The mean load to produce an overweight status was 13.2 ± 4.0 kg for young and 11.7 ± 3.4 kg for older adults. The significant level adopted was p≥0,05. When normalizing by body weight, the OA presented lower FRS peaks in comparison to YNG group at both speeds. On the other hand, the OA presented higher second peak of the vertical force (Fz2) in the fast speed condition in comparison to the YNG. Conclusion: Directly simulated overweight may not be able to promote significant changes in the unload quantities, arising from bodyweight, that may influence the FRS.

Keywords: Gait. Elderly. Simulated overweight.

Introdução

Durante o processo do envelhecimento ocorrem alterações nos parâmetros da marcha, os quais aumentam a predisposição à quedas. A análise da marcha nessa população é uma ferramenta eficiente para avaliar disfunções da locomoção¹. Diversos fatores podem contribuir para modificar vários parâmetros da marcha em função do avanço da idade. O sobrepeso e a obesidade são fatores relevantes². Estudos comparam a marcha de idosos jovens no intuito de obter informações quantitativas sobre as diferenças e defasagens entre as populações. Essas informações trazem subsídios no entendimento do aumento de quedas da população idosa^{3,4}.

O excesso de massa corporal tem sido frequentemente associado à limitações estruturais e funcionais, as quais podem restringir o controle de movimentos^{5,6} e modificar os parâmetros espaciais da marcha. Por exemplo, obesos tendem a apresentar redução na velocidade e na cadência, enquanto o tempo na fase de duplo apoio e a largura do passo são aumentados⁷. Além disso, obesos produzem maiores picos na força vertical de reação do solo

(FRS_v) nas fases de aceitação do peso (F_{z1}), na descarga do peso na fase de apoio duplo (F_{zmin}) e na aceleração/propulsão do membro (F_{z2})⁸. São observadas ainda mudanças nos impulsos de desaceleração (ID), aceleração (IA) e nos picos das forças mínimas e máximas (F_{xmin}, F_{xmax}) no plano ântero-posterior em relação aos não-obesos^{9,10}.

As mudanças no padrão da marcha observadas nos idosos com sobrepeso ocorrem devido a incapacidade física e neuromuscular de atenuar adequadamente as forças, as quais resultam em uma adaptação da caminhada de forma a prover melhor estabilidade corporal^{11,12}. A instabilidade corporal e as dificuldades de locomoção impostas aos indivíduos com excesso de peso têm sido relacionadas ao risco global de quedas¹², que por sua vez, respondem por 36% das lesões em obesos. De fato, obesos possuem quase o dobro da prevalência em quedas durante a marcha (27%), quando comparados aos eutróficos (15%)¹³.

A capacidade de manter a estabilidade corporal e conseqüentemente evitar o risco de queda aumentam com o acréscimo da velocidade da marcha devido a menor amplitude de movimentos, maior desconforto ao caminhar, fadiga precoce e a diminuição da capacidade de absorção de impacto pelas articulações^{12,14}. Portanto, o aumento da velocidade da marcha em obesos pode ser um agravante entre obesos.

As alterações físicas e mecânicas provenientes do sobrepeso e a obesidade podem dificultar o acesso e a presença dos sujeitos em testes laboratoriais tradicionais, além de dificultar a comparação de pessoas com e sem sobrepeso. Estudos encontrados na literatura usam a adição de peso extra ao corpo de indivíduos afim de entender o efeito do sobrepeso e obesidade em diversos fatores: i) Cinemática do tornozelo durante¹⁵ a marcha quando a carga adicionada foi colocada no tronco dos participantes i) organização do controle postural de feed-forward, onde os indivíduos carregavam a carga extra nas mãos¹⁶ ii) marcha com simulação de gravidez, onde a carga extra foi sendo adicionada na região do abdomen das voluntárias; iii) efeito do aumento de massa nas pernas dos participantes sob a energia gasta durante caminhada e corrida¹⁷; iiiii) Controle de equilíbrio durante a marcha, onde os sujeitos caminharam com massa adicional presa à cintura usando pesos de mergulho¹⁸. Desta forma, acredita-se que o sobrepeso simulado pode colaborar para uma maior aderência dos idosos nos testes e tornar-se uma alternativa para as análises de marcha nessa população. Deste modo, este estudo teve como objetivo analisar a força de reação do solo de jovens e idosos sob a influência de simulação de sobrepeso. Acredita-se que ocorreram alterações das forças de reação do solo quando acrescentados sobrepeso ao sujeitos analisados e que essa alteração se mostrará mais acentuada nos idosos quando comparados aos jovens.

Métodos

Participantes

Todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), que foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa do setor de saúde da Universidade Federal do Paraná sob parecer provisório 2018 número 2.631.014. Foram avaliados 30 indivíduos, 15 jovens (JOV; 22,0±3,7 anos; 60,0±5,9 kg; 1,7±0,10 m; e 21,8±4,0 kg/m²) e 15 idosos (IDS; 69,8±6,4 anos; 60,6±7,0 kg; 1,6±0,1m; 24,2±1,4 kg/m²).

Procedimentos

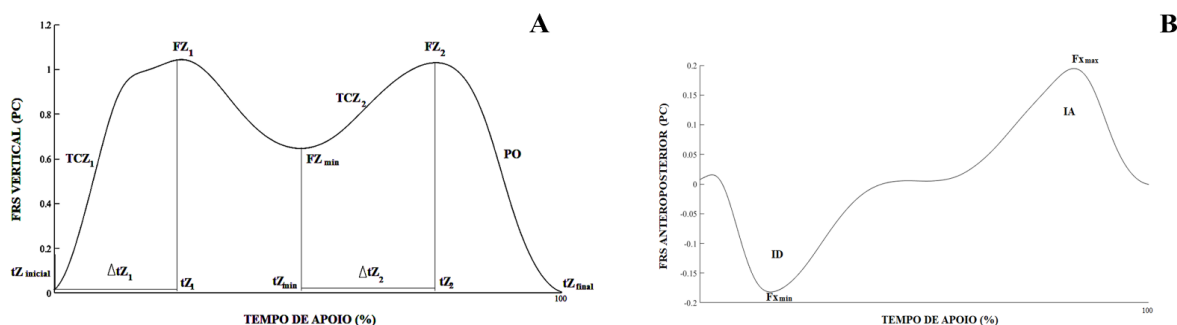
Os participantes foram submetidos a um conjunto de avaliações antropométricas da (massa e estatura) e reportaram estar livres de patologias osteoarticulares e cardiorrespiratória que pudessem influenciar seu desempenho na marcha. Para serem incluídos no estudo os sujeitos deveriam apresentar estado nutricional eutrófico de acordo com as recomendações da Organização Mundial de Saúde e IMC inferior 25kg/m² para jovens e 27kg/m² para idosos¹⁹.

Após prestarem as informações sobre seu estado de saúde e das avaliações antropométricas, a avaliação da marcha foi realizada em duas etapas: na primeira, a marcha foi analisada sem adição de sobrepeso, em velocidade habitual com a seguinte instrução: “Ande normalmente, como se estivesse passeando, andando livremente na rua”. Imediatamente após esta primeira avaliação, os indivíduos foram solicitados a caminhar em uma velocidade maior que habitual (rápida) e instruídos pelos comando: “Ande o mais rápido que conseguir, mas não corra”. Na segunda etapa, os procedimentos da primeira etapa foram repetidos, porém, com a adição de cargas aplicadas sobre o segmento do tronco por meio de um colete que permitiu simular o status de sobrepeso. A ordem das tarefas realizadas seguiram as mesmas para todos os participantes analisados para que não houvesse interferência da retirada da carga na análise da marcha sem a carga: a) marcha sem carga em velocidade auto selecionada; b) marcha com carga em velocidade auto selecionada; c) marcha sem carga em velocidade rápida e d) marcha com carga em velocidade rápida

A indução da condição de sobrepeso foi realizada com o auxílio de um colete que permitiu a adição de pesos distribuídos na parte frontal e posterior do tronco. A quantidade de carga foi determinada de forma que o IMC correspondesse a um status de sobrepeso (IMC acima de 25kg/m^2 em jovens e 27kg/m^2 em idosos). Foram adicionados $13,2\pm 4,0\text{ kg}$ para os jovens e $11,7\pm 3,4\text{ kg}$ para os idosos, que resultaram em IMCs de $26,7\pm 2,0\text{ kg/m}^2$ e $28,8\pm 2,1\text{ kg/m}^2$, respectivamente. As FRS foram coletadas por meio de uma plataforma de força (AMTI, OR6-7-2000) com dimensões $46,4 \times 50,8\text{ cm}$, frequência de aquisição de 1000Hz , fixada ao solo 3 metros após o início da passarela de madeira ($9,0 \times 1,5 \times 0,1\text{ m}$). Os dados foram filtrados com filtro digital Butterworth de 4ª ordem e com frequência de corte de 6Hz .

A partir das curvas de FRS em função do tempo (Figura 1A,B) foram identificadas as seguintes variáveis: primeiro pico da força vertical (F_{Z1}) observado durante a primeira metade do período de apoio; segundo pico da força vertical (F_{Z2}) observado na fase de propulsão do ante pé a frente para o próximo passo no final do período de apoio e o pico mínimo do vale ($F_{Z\text{min}}$) observado entre os dois picos verticais, representa a fase de balanço do segmento contralateral, sendo que o valor mínimo ocorre quando o segmento se encontra perpendicular ao solo²⁰; taxa de crescimento de força 1 ($TCz1 = F_{Z1}/\Delta t_1$), a taxa de crescimento de força 2 ($TCz2 = F_{Z2}/\Delta t_2$) e a taxa de desaceleração ou de descarga ($PO = F_{Z2}/(t_{\text{final}} - t_2)$)²¹. Além disso, os seguintes componentes da FRS ântero-posterior foram determinados (figura 1B): O primeiro pico observado ($F_{x\text{min}}$) representa a fase negativa, ou seja, a força de desaceleração do corpo durante a primeira metade do período de apoio; segundo pico, a fase positiva ($F_{x\text{max}}$), representa a propulsão/aceleração durante a outra metade desse período para completar o ciclo da marcha²²; as demais variáveis representam o impulso de desaceleração (ID) e impulso de aceleração (IA)^{22,23}.

Figura 1. Variáveis da força de reação do solo vertical e anteroposterior durante a marcha



Nota: 1A: Fz1: primeiro pico, Força mínima (vale), Fz2: segundo pico, TCz1: taxa de aceleração de força 1, TCz2: taxa de aceleração de força 2 e PO: Taxa de desaceleração ou descarga. 1B: força de reação do solo ântero-posterior durante a marcha, Fxmin: força mínima, Fxmax: força máxima, ID: impulso de desaceleração e IA: impulso de aceleração

Fonte: Os autores

Análise estatística

Os dados foram normalizados pelo massa corporal (PC:N/kgf) e o tratamento estatístico foi realizado em ambiente MatLab®. O teste *t Student Test* foi aplicado para comparar as características da amostra e para tamanho de efeito foi utilizado o *d* de Cohen (*d*); enquanto que uma *ANOVA 2way* (onde os fatores foram população e carga) foi aplicada para identificar diferenças entre: amostra (jovem e idoso), indução de carga/sobrepeso (com carga e sem carga). A diferença foi testada para diferentes velocidades (habitual e rápida). Para comparar os efeitos da indução de carga na FRS durante a marcha foi aplicado o teste de Bonferroni. O tamanho do efeito (ω) também foi determinado ($p \leq 0,05$).

Resultados

Em relação as características da amostra, os grupos foram similares na massa e estatura, porém como era espererado foram encontradas diferenças para idade ($p= 0,00$; $d= 9,11$) e IMC sem carga ($p= 0,00$; $d= 1,31$) e com carga ($p= 0,00$; $d= 1,07$). No entanto, não foram encontradas diferenças nas interações entre o fator grupo e carga/sobrepeso induzido nas diferentes variáveis da componente vertical e anteroposterior, independentes das velocidades de marchas avaliadas.

A velocidade média dos jovens em velocidade usual foi inferior a realizada pelos idosos, os jovens caminharam a $1,27\text{m/s} \pm 0,14$ sem carga e $1,30\text{m/s} \pm 0,17$ com carga adicional, enquanto que os idosos sem carga, caminharam a $1,32\text{m/s} \pm 0,17$ e $1,39 \pm 0,27$ com carga. Entretanto, na velocidade rápida, o jovem foi maior que o idoso, caminhando a uma velocidade média de $1,83\text{m/s} \pm 0,15$ sem carga e $1,76\text{m/s} \pm 0,18$ com carga, enquanto que o idoso caminhou a $1,76\text{m/s} \pm 0,26$ sem carga e $1,69\text{m/s} \pm 0,25$ com carga.

Embora os resultados tenham demonstrado diferenças nas condições da velocidade usual para a rápida de 30% para os jovens e 25% para os idosos e que as velocidades médias foram menores na condição de sobrepeso, correspondendo a 25,8 e 17,7% para jovens e idosos respectivamente; as mudanças não foram suficientes para apresentar significância nas velocidades médias da marcha realizada entre os grupos (jovem e idoso) tanto para a usual sem carga ($p= 0,258$; $W= 0,150$) e com carga ($p= 0,518$; $W= 0,086$) como para a velocidade rápida sem carga ($p= 0,228$; $W= 0,158$) e com carga ($p= 0,119$; $W= 0,168$).

Porém ao observar os picos das forças de reação do solo, observou-se que o aumento da velocidade da marcha da usual para rápida influenciou na magnitude dos picos da FRS vertical e anteroposterior, indicando que independente da idade e massa corporal a marcha em velocidade rápida é capaz de produzir maiores picos em relação a velocidades usual. A Tabela 1 apresenta os componentes da FRS para os dois grupos em velocidade usual e rápida com e sem sobrecarga. A Tabela 2 apresenta os valores da análise de variância de dois fatores, interação da condição grupo e sobrepeso/carga nas diferentes velocidades da marcha.

Na velocidade usual, foram encontradas diferenças apenas nas variáveis da FRS anteroposterior no instante do pico mínimo ($F_{x\text{min}}$) e impulso de desaceleração (ID) ($p= 0,039$; $W= 0,272$). Estes dados indicam que o pico de desaceleração na direção ântero-posterior do jovem é maior que o idoso e que o jovem tem maior capacidade de desaceleração (27% sem carga e 14% com carga) na primeira metade da fase de apoio em relação ao idoso. O impulso de desaceleração (ID) médio do grupo de idosos em velocidade usual ($p= 0,00$; $W= 0,504$), foi 38% menor quando comparado ao grupo de jovens na condição sem indução da sobrecarga e 31% com sobrecarga.

Em velocidade de marcha rápida, a análise de variância apontou apenas significância para o fator principal grupo nas duas direções analisadas da FRS (vertical e anteroposterior), deste modo, no eixo vertical, o pico de aceleração $Fz2$ ($p= 0,049$; $W= 0,264$) do idoso foi maior (14 e 16%) que o jovem nas condições sem e com indução de sobrecarga,

respectivamente. No pico da força mínima no vale, Fzmin, ($p=0,011$; $W=0,338$), o idoso foi (8 e 6%) menor que o jovem nas condições sem e com a simulação do sobrecarga.

Foram encontradas diferenças para todas as variáveis da FRSap (Fxmin, Fxmax, ID e IA) em velocidade de marcha rápida. Na da força de desaceleração mínima (Fxmin), o idoso foi 40% menor sem a sobrecarga e 32% com a indução da sobrecarga quando comparado ao grupo de jovens ($p=0,00$; $W=0,467$). O pico de Fx_{máx} do jovem é maior (15 e 19%) que o idoso ($p=0,002$; $W=0,408$) com e sem a indução da sobrecarga, respectivamente.

O impulso de desaceleração (ID) ($p=0,00$; $W=0,516$) dos jovens foi 45% maior em na marcha sem carga e 32% com sobrecarga quando comparado aos idosos. O impulso de aceleração (IA), foi 14% menor para os idosos ($p=0,018$; $W=0,315$), em relação ao jovem e em ambas as situações de manipulação da massa do sujeito (com e sem sobrecarga).

Tabela 1. Força de Reação do Solo vertical (z) e anteroposterior (x) (Médias \pm desvio padrão) de jovens e idosos em diferentes velocidades da marcha (usual e rápida)

Variáveis	Velocidade Usual				Velocidade Rápida			
	Jovem		Idoso		Jovem		Idoso	
	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC
Fz1 (PC)	1,11 \pm 0,16	1,08 \pm 0,11	1,08 \pm 0,08	1,10 \pm 0,11	1,31 \pm 0,15	1,35 \pm 0,17	1,24 \pm 0,16	1,24 \pm 0,19
Fz2 (PC)	0,73 \pm 0,14	0,72 \pm 0,11	0,71 \pm 0,08	0,66 \pm 0,07	0,49 \pm 0,19	0,47 \pm 0,12	0,57 \pm 0,20	0,56 \pm 0,14
Fzmin (PC)	1,09 \pm 0,10	1,10 \pm 0,05	1,11 \pm 0,07	1,06 \pm 0,07	1,20 \pm 0,15	1,15 \pm 0,11	1,11 \pm 0,08	1,08 \pm 0,08
TC1 (PC/s)	7,14 \pm 2,50	6,33 \pm 1,41	6,8 \pm 1,90	7,71 \pm 2,32	10,93 \pm 1,90	10,69 \pm 2,57	10,86 \pm 2,79	10,22 \pm 3,05
TC2 (PC/s)	7,77 \pm 6,36	5,37 \pm 0,97	5,72 \pm 1,12	6,00 \pm 0,86	7,62 \pm 1,00	7,03 \pm 0,68	8,27 \pm 1,39	7,09 \pm 0,81
PO (PC/s)	6,37 \pm 2,15	6,53 \pm 1,24	6,86 \pm 1,29	6,91 \pm 1,25	9,19 \pm 2,44	8,97 \pm 1,19	7,87 \pm 2,01	8,03 \pm 1,44
Fxmin (PC)	-0,19 \pm 0,06	-0,17 \pm 0,04	0,13 \pm 0,08	-0,15 \pm 0,08	-0,27 \pm 0,05	-0,27 \pm 0,06	-0,16 \pm 0,09	-0,19 \pm 0,10
Fxmax (PC)	0,21 \pm 0,05	0,21 \pm 0,04	0,20 \pm 0,04	0,19 \pm 0,03	0,28 \pm 0,07	0,27 \pm 0,05	0,23 \pm 0,07	0,23 \pm 0,06
Imp x desac (Pc.s)	0,00 \pm 0,01	0,03 \pm 0,00	0,02 \pm 0,01	0,02 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01	0,02 \pm 0,01	0,02 \pm 0,01
Imp x acel (Pc.s)	0,03 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01

Nota: Valores expressos em médias \pm desvio padrão; Os valores em destaque, representa significância de $p<0,05$, CC: com sobrecarga/sobrepeso; SC: sem sobrecarga/ sobrepeso; PC: Normalização da força pelo peso corporal (N/Kg); Fz1: primeiro pico da força vertical; Fz2: segundo pico da força vertical; Fzmin: força vertical mínima (vale); TCz1: taxa de aceleração de força vertical 1, TCz2: taxa de aceleração de força vertical 2; PO: taxa de desaceleração ou descarga; Fxmin: pico anteroposterior mínimo; Fxmax: Picoanteroposterior máximo; Imp x desacel: impulso de desaceleração; Imp x acel: Impulso de aceleração. Valores em negrito correspondem a diferenças $\leq 0,05$

Fonte: Os autores

Tabela 2. Análise de variância para marcha em velocidade usual e rápida de jovens e idosos

Variáveis	Velocidade usual						Velocidade Rápida					
	<i>p</i>			Tamanho de Efeito (ω)			<i>p</i>			Tamanho de Efeito (ω)		
	G	CC	G x CC	G	CC	G x CC	G	CC	G x CC	G	CC	GxCC
Fz1 (PC)	0,633	0,959	0,494	0,064	0,007	0,092	0,036	0,589	0,889	0,281	0,074	0,019
Fz2 (PC)	0,133	0,200	0,469	0,200	0,171	0,097	0,049	0,789	0,878	0,264	0,037	0,021
Fzmin (PC)	0,628	0,607	0,344	0,065	0,069	0,126	0,011	0,249	0,572	0,338	0,157	0,077
TC1 (PC/s)	0,339	0,818	0,069	0,128	0,031	0,241	0,565	0,892	0,687	0,079	0,019	0,055
TC2 (PC/s)	0,349	0,958	0,127	0,125	0,007	0,203	0,598	0,075	0,984	0,072	0,240	0,003
PO (PC/s)	0,345	0,601	0,564	0,126	0,070	0,077	0,117	0,298	0,435	0,212	0,142	0,106
Fxmin (PC)	0,039	0,953	0,419	0,272	0,008	0,108	0,000	0,589	0,709	0,467	0,074	0,051
Fxmax (PC)	0,216	0,722	0,809	0,165	0,048	0,032	0,002	0,875	0,529	0,408	0,022	0,086
Impxdesac(Pc.s)	0,000	0,753	0,742	0,504	0,042	0,044	0,000	0,428	0,783	0,516	0,108	0,038
Impxaccel (Pc.s)	0,147	0,988	0,280	0,193	0,002	0,144	0,018	0,822	0,956	0,315	0,031	0,008

Nota: Os valores em negrito, representa significância de $p\leq 0,05$; G: grupo; CC: com carga; GxCC: Interação de grupo e sobrepeso/com carga; PC: Normalização da força pelo peso corporal (N/Kg); Fz1: primeiro pico da força vertical; Fz2: segundo pico da força vertical; Fzmin: força vertical mínima (vale); TCz1: taxa de aceleração de força vertical 1, TCz2: taxa de aceleração de força vertical 2; PO: taxa de desaceleração ou descarga; Fxmin: pico anteroposterior mínimo; Fxmax: Picoanteroposterior máximo; Imp x desacel: impulso de desaceleração; Imp x acel: Impulso de aceleração

Fonte: Os autores

Discussão

Este estudo visou analisar os parâmetros de força de reação do solo durante a marcha de idosos e jovens em função da manipulação da massa corporal induzindo ao status de sobrepeso. Além disso este estudo também objetivou determinar a influência da velocidade da marcha nos parâmetros cinéticos nas condições com e sem adição de massa corporal.

O excesso de peso é responsável por diversas alterações nos parâmetros cinéticos da força de reação do solo e espaciais da marcha²⁴. Neste aspecto, foram observadas apenas discretas mudanças na velocidade média da caminhada usual e rápida dos jovens e idosos avaliados, mesmo após a indução da sobrecarga. Da mesma forma que outros estudos observaram pouca ou nenhuma significância nas mudanças da velocidade média da marcha ao correlacionar grupos de idades semelhantes nas condições de com e sem sobrepeso/obesidade^{25,26}.

As diferenças nas variáveis da FRS vertical e anteroposterior para as diferentes velocidade de marcha (usual e rápida) aconteceram somente para o fator grupo (idosos e jovens) corroborando com estudos que também encontraram mudanças relacionados ao envelhecimento nos parâmetros cinéticos das FRS em diferentes velocidades de locomoção^{26,27}.

Apesar das alterações reportadas nos parâmetros das forças de reação do solo da marcha entre jovens e idosos com sobrepeso², não foram encontradas diferenças tanto nas componentes da força de reação do solo vertical e anteroposterior para o fator carga/sobrepeso induzido. Sugere que a similaridade encontrada para esta condição se deu pelo fato da sobrecarga ter ocorrido de forma imediata, através do colete, sem um período de adaptação prévia do sujeito avaliado e, desta forma, tanto o jovem como o idoso mantiveram os padrões da marcha sem sobrecarga independente das velocidades testadas.

Os parâmetros da força de reação do solo vertical da marcha estão diretamente ligados ao desempenho funcional dos idosos, logo, os idosos hígidos apresentam menores declínios nos componentes cinéticos da marcha quando comparados aos idosos com algum déficit motor²⁸. Neste aspecto, em velocidade usual, os jovens e idosos não apresentaram diferenças em nenhuma das variáveis da componente de FRSv corroborando com estudos que avaliaram a FRSv de jovens e idosos (20-60 anos) em diferentes velocidades de marcha (usual e rápida) e do qual também não houve diferenças nos picos da força vertical avaliados²⁹.

Tem sido descrito que há uma forte relação entre o aumento da velocidade da marcha e as alterações nos picos da força de reação do solo vertical^{8,30}, estes tendem a aumentar a sua magnitude, principalmente na descarga e/ou aceitação do peso ($Fz1$)^{29,31}. Por outro lado, os resultados encontrados neste estudo são equivalentes a pesquisa recente do qual, ao comparar a variável do primeiro pico da FRSv entre idosos e jovens em velocidades usual e rápida também não foi observado diferenças em relação a idade³².

Embora não seja observadas mudanças significativas entre idosos e jovens no pico de força vertical mínima ($Fzmin$)^{24,33}, as diferenças encontradas em velocidade de rápida no pico do $Fzmin$ corroboram com resultados de estudos, que, ao comparar as forças de reação do solo de jovens e idosos, os picos de $Fzmin$ diminuíram em velocidade rápida²⁹. Os achados podem ser interpretados como indicativas de reduções relacionadas à idade nas oscilações verticais do centro de gravidade, resultando em uma menor aceleração vertical no centro de gravidade dos idosos, representando assim uma tentativa dos adultos mais velhos de melhorar a economia de energia, minimizando os deslocamentos verticais no centro de gravidade e reduzindo as forças musculares necessárias para desacelerar e acelerar o corpo durante a caminhada³³.

São limitadas as informações a respeito da comparação das FRSv de jovens e idosos saudáveis em diferentes velocidades. Sabe-se que as magnitudes da força, tempo e movimento

sofrem mudanças com o decorrer do envelhecimento podendo ser ainda mais influenciadas pela velocidade da marcha⁸. Apesar de diversos autores indicarem que os jovens apresentam maiores picos nas variáveis da FRSv (Fz1; Fz2 e Fzmin) em relação aos idosos^{31,34}, os idosos dessa pesquisa, em velocidade de marcha rápida, apresentaram maiores picos no segundo pico da força vertical (Fz2) em 14% sem carga e 15% com carga em relação aos jovens, que pode ser justificado por uma tentativa de aumentar e/ou garantir uma melhor propulsão para o início de um novo ciclo da marcha.

As diferenças encontradas na componente da FRS anteroposterior, na variável Fxmin (força de desaceleração), são similares aos que se tem descrito, em velocidade usual observa-se que o idoso obteve resultados menores (56%) quando comparado ao jovem³⁵. Nessa perspectiva, foi observado por diversos autores, assim como nessa pesquisa, uma atenuação do impulso de desaceleração (ID) do idoso em comparação ao jovem, assim pode-se afirmar que as mudanças decorrentes do processo do envelhecimento como o enrijecimento articular, diminuição das amplitudes de tornozelo e fraqueza muscular, levam o idoso a realizar instintivamente adaptações em relação a velocidade, reduzindo os picos de desaceleração e propulsão da marcha^{36,37}.

No plano anteroposterior, em velocidade rápida, na força de desaceleração mínima (Fxmin) os idosos apresentaram um capacidade de desaceleração menor que os jovens, acredita-se que o resultado encontrado ocorra pelo fato do idoso ter uma capacidade reduzida de gerar atrito e/ou fricção durante a marcha e a velocidade de caminhada afeta diretamente a magnitude da força do contato do calcanhar e, portanto, também tem um efeito direto sobre a demanda de atrito durante a locomoção³⁸.

É fato que ocorram alterações no padrão cinético verticais e anteroposteriores da marcha com o envelhecimento, neste aspecto, ao comparar a marcha de jovens e idosos em diferentes velocidades, os idosos apresentaram diminuições na FRS anteroposterior máxima, independente da velocidade testada³⁹. Assim como descrito, os dados dessa pesquisa apresentaram similaridade no pico de Fxmax, ou seja, foram encontradas reduções em comparação aos jovens. Esses declínios demonstram que a magnitude das forças de desaceleração e aceleração na direção anterior-anterior da FRS são dependentes da velocidade da marcha e podem sofrer alterações em maior ou menor grau dependendo da amplitude articular, força e potência muscular do idoso. Embora tenha ocorrido essa diminuição de Fxmax, a força resultante de propulsão dos idosos ($(Fz^2 + Fx^2)^{-1}$) ainda mostrou-se maior que jovens em velocidade rápida quando avaliado em situação sem carga, reforçando a ideia de que nessas condições o idoso necessita de maior propulsão para iniciar o ciclo de marcha seguinte.

Em relação aos impulsos de desaceleração (ID) e aceleração (IA) em velocidade rápida, em ambas variáveis, os idosos obtiveram resultados inferiores aos jovens. Os achados corroboram com os de Burnfield e Powers⁴⁰ que, em sua análise revelou uma forte correlação positiva entre a velocidade de caminhada dos sujeitos avaliados e os picos de FRSap. O aumento da velocidade nos indivíduos adultos jovens aumentam o comprimento da passada para alcançar uma velocidade de caminhada mais rápida e desta forma experimentaram aumentos maiores no pico de Fxmin e ID⁴⁰. Além disso, aumentos pode não ser vistos de maneira efetiva em idosos quando experimentam o aumento de velocidade; devido aos declínios musculoesqueléticos e geração de força, logo, os picos de ID e IA à medida que a marcha modificou de uma caminhada para uma velocidade rápida⁴¹.

Neste aspecto, ao analisar o aumento da propulsão e impulsos na marcha em jovens e idosos, encontraram uma redução significativa na velocidade angular da flexão plantar isocinética, o que pode tornar a geração de propulsão e impulsos na velocidade rápida mais difícil para o idoso, os autores também sugerem que, os declínios em nível articular e

muscular podem ser responsáveis pelas reduções das forças propulsivas em velocidades de marcha maiores⁴².

Conclusões

Embora a FRS seja uma das forças externa mais investigada na análise de marcha de jovens e idosos com e sem sobrepeso, este é o primeiro estudo que trata da análise das variáveis da marcha a partir da simulação do sobrepeso nestas populações. Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram que, embora acreditássemos na hipótese que pudesse haver diferenças entre as forças de reação do solo quando acrescidos de carga independente da população (idosos e jovens), as mesmas não foram encontradas, demonstrando que o fator carga induzida não influenciou nas variáveis verticais e anteroposteriores da FRS em ambas as velocidades.

A diferença encontrada nos grupos de idade (idosos e jovens) e a não diferença no fator sobrepeso indica que o sobrepeso simulado de forma direta, através do colete, pode não ser considerado um influenciador das alterações no padrão da marcha. Os achados indicam que em velocidade usual, os jovens obtiveram diferenças em relação aos idosos em apenas duas variáveis da FRS anteroposterior, a F_{xmin} e o impulso de desaceleração. Em velocidade rápida, foram encontradas diferenças significativas na FRS em ambas componentes (vertical e anteroposterior). Neste aspecto, os jovens expressaram maiores valores na F_{zmin} , F_{xmin} , F_{xmax} , ID e IA em relação aos idosos. Porém, os idosos, ao contrário de alguns achados científicos, foram estatisticamente maiores no segundo pico da variável de FRS vertical, a F_{z2} .

Mesmo que não haja experimentos específicos a respeito da marcha e sobrepeso induzido em velocidades diferentes, acredita-se que estes dados fornecem informações representativas a respeito da cinética da marcha em jovens e idosos.

Referências

1. Muniz AMS, Manfio EF, Andrade MC, Nadal J. Principal component analysis of vertical ground reaction force: A powerful method to discriminate normal and abnormal gait and assess treatment. *Gait Posture* 2006;29(1):31–35. Doi:10.1109 / IEMBS.2006.259820
2. Hamu TCDS, Formiga CKMR, Gervásio FM, Ribeiro DM, Christofolletti G, Barros JF. The impact of obesity in the kinematic parameters of gait in young women. *Int J Gen Med* 2013;6:507–513. Doi:10.2147 / IJGM.S44768
3. Bárbara R, Freitas S, Bagesteiro LB, Perracini MR, Alouche. SR Gait characteristics of younger-old and older-old adults walking overground and on a compliant surface. *Rev Bras Fisioter* 2012;16(5):375-380.
4. Simon SR. Quantification of human motion: gait analysis—benefits and limitations to its application to clinical problems. *J Biomech* 2004;37(12):1869-1880. Doi:10.1016 / j.jbiomech.2004.02.047
5. Hills AP, Hennig EM, Byrne NM, Steele JR. The biomechanics of adiposity - Structural and functional limitations of obesity and implications for movement. *Obes Rev* 2002;3(1):35–43.
6. Jebelli H, Ahn CR, Stentz TL. Fall risk analysis of construction workers using inertial measurement units: Validating the usefulness of the postural stability metrics in construction. *Saf Sci* 2016;84:161–170. Doi:10.1016/j.ssci.2015.12.012
7. Sheehan KJ, Gormley J. The influence of excess body mass on adult gait. *Clin Biomech* 2013;28(3):337-343. Doi: 10.1016 / j.clinbiomech.2013.01.007
8. Winter DA. *The biomechanics and motor control of human gait*. Waterloo: University of Waterloo Press;1987.
9. Whittle MW. *Clinical gait analysis: A review*. *Hum Mov Sci* 1996;15(3):369–387. Doi: 10.1016 / 0167-9457 (96) 00006-1
10. Silva-Hamu TCD. *Comparação da cinética da marcha entre mulheres obesas e mulheres eutróficas*. Tese de Doutorado em em Ciências da Saúde]. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde; 2013.

11. Fjeldstad C, Fjeldstad AS, Acree LS, Nickel KJ, Gardner AW. The influence of obesity on falls and quality of life. *Dyn Med* 2008;7(1):4. Doi:10.1186 / 1476-5918-7-4
12. De Souza SAF, Faintuch J, Valezi AC, Sant Anna AF, Gama-Rodrigues JJ, De Batista Fonseca IC, et al. Gait cinematic analysis in morbidly obese patients. *Obes Surg* 2005;15(9):1238–1242. Doi: 10.1381 / 096089205774512627
13. Mitsuoka K, Akiyama Y, Yamada Y, Okamoto S, Subjects A. Analysis of skip motion as a recovery strategy after an induced trip. *IEEE International Conference on Systems* 2015;911–916. Doi: 10.1109 / SMC.2015.167
14. Wearing SC, Hennig EM, Byrne NM, Steele JR, Hills AP. The biomechanics of restricted movement in adult obesity. *Obes Rev* 2006;7(1):13–24. Doi: 10.1111 / j.1467-789X.2006.00215.x
15. Hansen A, Childress DS. Effects of adding weight to the torso on roll-over characteristics of walking. *J Rehabil Res Dev* 2005;42(3):381-390. Doi: 10.1682 / JRRD.2004.04.0048
16. Li X, Aruim A. The effect of changes in body mass distribution on feed-forward postural control: a pilot study. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2005;7:7444-7447. Doi: 10.1016 / j.jelekin.2008.05.003
17. Van den Bogert AJ, Hupperets M, Schlarb H, Krabbe B. Predictive musculoskeletal simulation using optimal control: effects of added limb mass on energy cost and kinematics of walking and running. *Proc Inst Mech Eng P* 2012;226(12):123-133. Doi: 10.1177 / 1754337112440644
18. Pennycott A, Wyss D, Vallery H, Riener R. Effects of added inertia and body weight support on lateral balance control during walking. *IEEE Int Conf Rehabil Robot* 2011;2011:5975415. Doi: 10.1109/ICORR.2011.5975415.
19. World Health Organisation G. WHO global report on falls prevention in older age. Geneva: World Heal Organisation; 2007.
20. Ortiz CAL. Classificação da força de reação do solo durante a marcha de sujeitos com fratura de membro inferior. [Dissertação de Mestrado em Engenharia Biomédica]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica; 2010.
21. Villegier D, Costes A, Watier B, Moretto P, Moraes R, Allard F, et al. Desigualdade estrutural discreta de membros inferiores é suficiente para causar alteração cinética na marcha de corredores? *Fisioter em Mov* 2007;20(4):114–121. Doi: 10.1590/S1413-78522008000100005.
22. Pereira CS, Sacco IDCN. Is structural and mild leg length discrepancy enough to cause a kinetic change in runners' gait? *Therapy* 2008;16:28–31. DOI:10.1590/S1413-78522008000100005
23. Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture* 1995;3(4):193–214. Doi:10.1016/0966-6362(96)82849-9
24. Muniz TB, Moraes R, de Jesus Guirro RR, Allard F, Patla AE, Lelas JL, et al. A three-dimensional kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy elderly subjects. *Gait Posture* 2010;17(2):747–755. Doi:10.1016 / j.clinbiomech.2009.09.002
25. Messier SP, Ettinger WH, Doyle TE, Morgan T, James MK, O'Toole ML, et al. Obesity: Effects on gait in an osteoarthritic population. *J Appl Biomech* 1996;12(2):161–172. DOI:10.1123/jab.12.2.161
26. Cortez MSN. Marcha do obeso: Avaliação a três velocidades distintas das forças e pressões plantares antes e após cirurgia bariátrica. [Dissertação de Mestrado]. Porto: Universidade do Porto. Doi:10.1590/1983-1447.2015.01.47694
27. Chehab EF, Andriacchi TP, Favre J. Speed, age, sex, and body mass index provide a rigorous basis for comparing the kinematic and kinetic profiles of the lower extremity during walking. *J Biomech* 2017;58:11–20. Doi: 10.1016 / j.jbiomech.2017.04.014
28. Hollman JH, Brey RH, Bang TJ, Kaufman KR. Does walking in a virtual environment induce unstable gait?. An examination of vertical ground reaction forces. *Gait Posture* 2007;26(2):289–294. Doi:10.1016 / j.gaitpost.2006.09.075
29. Chung MJ, Wang MJJ. The change of gait parameters during walking at different percentage of preferred walking speed for healthy adults aged 20–60 years. *Gait Posture* 2010;31(1):131–135. Doi:10.1016 / j.gaitpost.2009.09.013
30. Villegier D, Costes A, Watier B, Moretto P. An algorithm to decompose ground reaction forces and moments from a single force platform in walking gait. *Med Eng Phys* 2014;36(11):1530–1535. Doi: 10.1016 / j.medengphy.2014.08.002
31. Watt JR, Franz JR, Jackson K, Dicharry J, Riley PO, Kerrigan DC. A three-dimensional kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy elderly subjects. *Clin Biomech* 2010;25(5):444–449. Doi: 10.1016 / j.clinbiomech.2009.09.002
32. Boyer KA, Johnson RT, Banks JJ, Jewell C, Hafer JF. Systematic review and meta-analysis of gait mechanics in young and older adults. *Exp Gerontol* 2017;95(2016):63–70. Doi: 10.1016 / j.exger.2017.05.005
33. Larish DD, Martin PE, Mungiole M. Characteristic patterns of gait in the healthy old. *Ann N Y Acad Sci* 1988;515(1):18–32.

34. Watelain E, Barbier F, Allard P, Thevenon A. Gait pattern classification of healthy elderly men based on biomechanical data. *Arch Phys Med Rehabil* 2000;81(5):579-586. Doi: 10.1016/S0003-9993(00)90038-8
35. Chen T, Chang CC, Chou LS. Sagittal plane center of mass movement strategy and joint kinetics during sit-to-walk in elderly fallers. *Clin Biomech* 2013;28(7):807-812. Doi: 10.1016 / j.clinbiomech.2013.07.002
36. Winter DA, Patla AE, Frank JS, Walt SE. Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Phys Ther* 1990;70(6):340-347. Doi: 10.1093 / ptj / 70.6.340
37. Pinho JPS. Indicadores biomecânicos da marcha de idosos em resposta ao treinamento de força Indicadores biomecânicos da marcha de idosos em resposta ao treinamento de força São Paulo. [Dissertação de mestrado em Ciências]. São Paulo: Universidade de São Paulo. Escola de Educação Física; 2012.
38. Kim Sukwon, Thurmon Lockhart HYY. Relationship between floor-type gait adaptations and required coefficient of friction. *IEEE Int Conf Ind Eng Eng Manag* 2005;43:131-135.
39. Nigg BM, Skleryk BN. Gait characteristics of the elderly. *Clin Biomech* 1988;3(2):79-87. Doi: 10.1016 / 0268-0033 (88) 90049-6
40. Burnfield JM, Powers CM. The role of center of mass kinematics in predicting peak utilized coefficient of friction during walking. *J Forensic Sci* 2007;52(6):1328-1333. Doi: 10.1111 / j.1556-4029.2007.00549.x
41. Hreljac A. Determinants during human of the gait transition locomotion: kinetic speed factors. *Gait Posture* 1993;28:217-223. Doi: 10.1016/0966-6362(93)90049-7
42. Park HW, Park S. Increase of push-off propulsion to compensate heel strike loss during step-to-step transition is limited at faster gait speeds. *Int J Precis Eng Manuf* 2013;14(5):825-829. Doi: 10.1007/s12541-013-0108-9

ORCID dos autores:

Susana Otília Vilas Bôas Favaro: 0000-0002-4464-7469
Jerusa Petrôvna Resende Lara: 0000-0002-2250-2234
Ana Carolina de Oliveira: 0000-0002-0212-7019
Joice Katiane Mendes Bec: 0000-0002-6194-2056
André Luiz Felix Rodacki: 0000-0002-4585-497X

Recebido em 07/05/18.

Revisado em 30/12/18.

Aceito em 15/03/18.

Endereço para correspondência: Susana Otília Vilas Bôas Favaro, Rua Coração de Maria, 92, Curitiba, Paraná, CEP 82590-300
susanavb.favaro@gmail.com