

Estudo comparativo prospectivo para a avaliação da reabilitação de usuários de próteses com amputações transtibiais

Prospective comparative study for the evaluation of prosthetic rehabilitation users with transtibial amputation

Gabriel de Souza Prim¹
Francisco Assis Souza Santos¹
Milton Vieira¹
Victor Nassar¹

Abstract *Individuals with transtibial amputations have difficulties in performing march and stay in balance, directly affecting their quality of life. The use of prostheses can enable the rehabilitation of the individual, but we question how effective are for certain tasks and how they can still improve. To evaluate the prosthesis for transtibial amputation, a comparative study was conducted with two groups: Amputee and NOT Amputees. With the help of Motion Capture technology was held measuring the angles of static balance, walking speed and scores in the execution of daily activities. The results indicate that dispersions of larger static equilibrium angles belonging to the group amputees. In terms of average speed march and in scores of Daily Activities, there was better performance for the group of NOT amputees. From this it was also identified that the technical characteristics of transtibial prosthetic could impact rehabilitation of its members.*

Key words *Prostheses, March, Technology, Motion capture*

Resumo *Indivíduos com amputações transtibiais apresentam dificuldades em realizar marcha e manter-se em equilíbrio, afetando diretamente a sua qualidade de vida. A utilização de próteses pode possibilitar a reabilitação do indivíduo, mas questiona-se o quão eficiente são para determinadas tarefas e como ainda podem melhorar. Objetivando avaliar as próteses para amputações transtibiais, foi realizado um estudo comparativo com dois grupos: Amputados e NÃO Amputados. Com o auxílio da tecnologia de Captura de Movimentos, realizou-se mensuração dos ângulos de equilíbrio estático, velocidade de marcha e pontuações na execução de atividades diárias. Os resultados indicam que as maiores dispersões dos ângulos de equilíbrio estático pertencem ao grupo de amputados. Em relação às médias de Velocidade de Marcha e nas pontuações das Atividades Diárias, constatou-se melhor desempenho para o grupo dos NÃO amputados. A partir disso, foi identificado ainda que as características técnicas das próteses transtibiais podem impactar na reabilitação de seus usuários.*

Palavras-chave *Próteses, Marcha, Tecnologia, Captura de movimento*

¹ Centro de Comunicação e Expressão, Universidade Federal de Santa Catarina. R. Eng. Agrônomo Andrey Cristina Ferreira s/n, Trindade. 88040-900 Florianópolis SC Brasil. gabrielsprim@gmail.com

Introdução

Diante da necessidade de correção, reabilitação ou modificação da estrutura ou função do corpo humano para propósitos de saúde, utilizam-se produtos chamados dispositivos médicos. E estes também podem ser utilizados na monitoração, diagnóstico ou tratamento de doenças¹.

No âmbito da ergonomia, contempla-se as tecnologias assistivas referindo-se a qualquer dispositivo que auxilie pessoas com deficiências intelectuais e de desenvolvimento a realizar suas atividades diárias; compensar as suas limitações funcionais; oferecer oportunidades para a aprendizagem, a independência, a mobilidade, a cooperação, ou a comunicação; reduzir o risco de doenças secundárias; permitir que profissionais de saúde prestem assistência com maior facilidade; e evitar a necessidade de atendimento domiciliar de enfermagem².

Atualmente, as tecnologias assistivas em reabilitação oferecem uma ampla gama de serviços e produtos médicos para a promoção em saúde de pacientes. O foco das investigações desta pesquisa são os produtos utilizados para a reabilitação de indivíduos amputados: as próteses. Para tanto, foram realizadas revisões da literatura inerentes aos problemas em saúde com indicações de uso de próteses. Também, pesquisou-se métodos e instrumentos para avaliar a ergonomia destes produtos, observando as necessidades dos usuários amputados e avaliando como as próteses cumprem sua função em termos de eficiência ou desempenho.

A amputação, de modo geral, é um processo traumático para qualquer indivíduo. Já a prótese é um artefato que tem por função estabilizar psicologicamente e socialmente o indivíduo amputado diante de um momento crítico de sua vida. É salutar que, para um indivíduo que faça uso de uma prótese ocorra um processo de reabilitação e readaptação. E estes processos favorecem a independência do indivíduo, promovendo uma marcha equilibrada e a realização de atividades cotidianas com qualidade, reinserindo-o no convívio social^{3,4}.

Para um indivíduo a marcha é um dos fatores que pode ser utilizado para avaliar o equilíbrio, que em seu sentido mais amplo inclui a capacidade de controlar a postura ereta sob uma variedade de condições e situações, bem como a capacidade deste indivíduo perceber suas limitações de estabilidade⁵.

A manutenção deste equilíbrio é necessária para a integridade dos elementos anatômicos e

funcionais, que compreendem o aparelho vestibular, a visão, os centros nervosos, o sistema proprioceptivo e o sistema musculoesquelético⁶. A fim de manter a manutenção do equilíbrio de amputados, as próteses são produtos que buscam devolver ao indivíduo amputado a integridade dos elementos anatômicos e funcionais. O indivíduo amputado de membro inferior pode apresentar dificuldades na manutenção do equilíbrio estático, o que pode gerar quedas, e consequentemente fraturas⁷.

A marcha normal é uma sucessão de desequilíbrios controlados pelo corpo ao realizar movimentos simétricos de deslocamentos, que resultam em progressões com segurança e redução de gasto energético. Para os amputados de membro inferior, essa simetria é perdida, e ela pode ser recuperada pelas próteses. O padrão de marcha após uma amputação depende da estrutura perdida e do potencial de controle^{4,8,9}.

Este artigo apresenta métodos para avaliar o fator ergonômico das próteses, a partir da observação do equilíbrio de seus usuários, empregando o sistema óptico de *Motion Capture* como ferramenta de avaliação. Este sistema possibilita a captura dos movimentos de um objeto real e transfere a informação para o meio digital. O referido processo é utilizado em diversas áreas como a medicina, a robótica e a produção de filmes¹⁰. Segundo Dutta¹¹ e Clark et al.¹², este tipo de sistema, dentre outros, possui alta complexidade, alto custo, e necessita de espaço dedicado para o seu funcionamento. Outro elemento que agrega qualidade na aquisição destes dados é a expertise técnica de seus operadores.

O médico ortopedista é o responsável pela prescrição dos materiais e tecnologias mais adequadas para cada caso. E o protesista será o responsável por compilar todas estas informações e criar uma prótese que esteja adaptada ao usuário. Esta prótese, quando bem concebida, favorece o processo de reabilitação e possibilita a inclusão social do indivíduo.

Profissionais em saúde, gestores e organizações entendem a importância dos fatores humanos e ergonômicos como uma disciplina que pode produzir conhecimento para remodelar sistemas e processos em saúde e promover segurança e qualidade de vida aos pacientes¹³.

Este estudo espera ajudar este processo de tomada de decisão, em busca de uma melhor reabilitação, definindo procedimentos para a avaliação das alternativas tecnológicas disponíveis. Nessa configuração, os propósitos da pesquisa estão voltados a realizar uma avaliação comparativa do

equilíbrio e da marcha de usuários de próteses com indivíduos não amputados e sem necessidade do uso de tecnologias assistivas. Busca-se testar hipóteses que permitam mapear e sustentar as condições de uso das tecnologias assistivas, assim:

Hipótese 1: A facilidade de amputados trans-tibiais realizar tarefas diárias está relacionada com o desempenho das próteses. Isso em termos de variação angular de equilíbrio e velocidade de marcha de seus usuários.

Hipótese 2: A reabilitação de amputados transtibiais acompanhada de fisioterapia promove saúde funcional, considerando o desempenho das próteses, em termos de velocidade de marcha, variação angular de equilíbrio e atividades diárias.

Método de pesquisa

Esta pesquisa foi conduzida como um estudo comparativo prospectivo, utilizando um grupo controle constituído de pessoas saudáveis que não necessitam de órteses ou próteses, e outro grupo formado por usuários de próteses, conforme seguem: Grupo Controle: Indivíduos saudáveis, não amputados e que não utilizam órteses; Grupo A: Amputado que utilizam próteses trans-tibiais (abaixo do joelho).

Para o ingresso no Grupo Controle, os indivíduos devem atender aos seguintes critérios de inclusão: Idade entre 18 e 65 anos; Indivíduos sem patologia ou dor recente em pernas, braços, costas e/ou costelas; Não possuir alterações muscoesqueléticas que impossibilitem de se manter em ortostatismo; Não possuir discrepância superior a 1 cm entre os membros inferiores; Não ser hipertenso.

Na incorporação dos voluntários no Grupo A, devem ser contemplados os seguintes critérios de inclusão: Idade entre 18 e 65 anos; Indivíduos bem adaptados ao aparelho protético ou a órtese (serão excluídos aqueles que sentem dor/desconforto); Utilizam a prótese ou órtese entre 1,5 e 5 anos; Não possuir alterações muscoesqueléticas que impossibilitem de se manter em ortostatismo.

Uma vez incluídos aos grupos, foi explicado aos indivíduos os objetivos e os procedimentos da pesquisa, e solicitado aos mesmos a leitura e a assinatura do TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido) para participar do estudo, caso assim desejassem. Em seguida o voluntário passou por uma pesagem (em uma balança certificada pelo Inmetro), medição de altura e o preenchimento das fichas de identificação e avaliação.

Cada um dos voluntários foi convidado a comparecer no laboratório de pesquisa, onde se encontra o equipamento de *Motion Capture*, para a realização dos testes de medição do equilíbrio.

A equipe envolvida na condução das investigações e aplicação dos testes é constituída por pesquisadores com formações e habilidades multidisciplinares, contemplando áreas do conhecimento como engenharia biomédica, engenharia mecânica, design, fisioterapia e medicina.

Essa configuração condiciona as competências intelectuais e operacionais necessárias para a obtenção de achados pertinentes à mensuração do desempenho das tecnologias assistivas.

Instrumentos e procedimentos

Na classificação do desempenho de algumas tecnologias assistivas em reabilitação, como órteses e próteses, se faz necessária a medição do equilíbrio dos usuários. Desse modo, foram utilizados alguns procedimentos, os quais serão detalhados nos próximos tópicos.

Procedimento A:

Teste Adaptado de Romberg

Este procedimento, amplamente utilizado em pesquisas científicas, é eficaz como método de avaliação do risco de quedas. O Teste de Romberg é realizado com o indivíduo de pé, pés juntos, olhos fechados, sendo orientado a permanecer na postura por 1 minuto^{14,15}. A adaptação do teste se justifica pelos resultados obtidos por Presumido et al.¹⁶, que demonstrou que as maiores oscilações ocorrem nos primeiros 30 segundos.

Com o auxílio do sistema *Motion Capture*, serão pontuados os momentos de maior oscilação do tronco e quantificados os ângulos entre estes e a posição inicial (no momento em que os olhos são fechados), para comparação entre os indivíduos.

A partir deste teste serão coletados, com o auxílio do *Motion Capture*, os seguintes dados: Ângulo no Momento de maior oscilação anterior (MOA); Ângulo no Momento de maior oscilação posterior (MOP); Ângulo no Momento de maior oscilação lateral para a direita (MOD); Ângulo Momento de maior oscilação lateral para a esquerda (MOE).

Procedimento B:

Teste da Escala de Equilíbrio de Berg

Para a realização do Procedimento B é solicitado ao indivíduo que execute tarefas realizadas no dia a dia. Constitui-se de quatorze atividades

que podem ganhar de 0 a 4 pontos, com um total máximo de 56. Quando alcançada uma pontuação igual ou inferior a 45 pontos pode-se considerar alterado o equilíbrio do indivíduo, e igual ou inferior a 36 pontos indica risco muito próximo a 100% de sofrer quedas^{5,17,18}.

O teste é simples de ser realizado, demora aproximadamente 15 minutos e permite também acompanhar a evolução dos pacientes mais idosos. Possui elevada objetividade de teste-reteste (ICC = 0,98), boa confiabilidade (0,96) e está bem estabelecido, correlacionado aos outros testes do equilíbrio e mobilidade, incluindo o índice de mobilidade de Tinetti (0,91) e o Teste de Levantar-se e Andar (0,76)¹⁹⁻²¹.

Procedimento C:

Teste de Marcha e Equilíbrio de Tinetti

O teste de Marcha e Equilíbrio de Tinetti constitui-se de duas partes. A primeira possui nove aspectos de equilíbrio estático ganhando de 0 a 16 pontos, zero indica um pobre equilíbrio e 16 um bom controle. A segunda parte do teste avalia sete aspectos da marcha, inicialmente com uma caminhada com passos normais, e depois com passos mais rápidos, pontuando de 0 a 12, zero infere a incapacidade de caminhar ou de realizar qualquer um dos eventos padrões de marcha realizados, e 12 indica um padrão adequado²².

Nesta pesquisa, para a medição de equilíbrio estático será utilizada a Escala de Equilíbrio de Berg. Desse modo, será aplicada a segunda parte do teste de Tinetti, a fim de compor uma base de evidências de amostras de população sadia e usuários de próteses ou órteses. Com isso será possível obter o nível de desempenho das tecnologias assistivas em reabilitação.

A partir do teste de Marcha de Tinetti, com o auxílio do *Motion Capture*, é possível coletar os seguintes dados: (1) Velocidade da Marcha (m/s); (2) Cadência (passos/s); (3) Tamanho do Passo (m); (4) Pontuação no teste.

É importante ressaltar que os indivíduos do Grupo Controle efetuarão os testes descalços, os indivíduos do Grupo A devem realizar os testes utilizando suas próteses e calçados originais do alinhamento das próteses durante todos os procedimentos.

Adicionalmente, a coleta de dados de equilíbrio e marcha de todos os participantes deve ser obtida por meio do sistema *Motion Capture*. Após coletados os dados do maior número possível de indivíduos, todos os parâmetros devem ser tabulados e tratados por modelos estatísticos

a fim de identificar padrões de equilíbrios. Com isso, será possível classificar o desempenho dos dispositivos médicos utilizados por portadores de alguma necessidade de reabilitação ou correção funcional.

Sistema de Captura de Movimentos

O sistema de *Motion Capture* é um meio de oferecer coordenadas tridimensionais de um objeto a partir de um conjunto de imagens bidimensionais captadas por um conjunto de câmeras dispostas ao redor do ator captado²³. Criado primeiramente para aplicações na medicina, o *Motion Capture* óptico consiste em um sistema de câmeras, de no mínimo quatro, controladas por um computador. O ator ou objeto a ter seus movimentos capturados possui marcadores fixados em seu corpo, podendo ser reflexivos, denominados passivos ou brilhantes, estes também chamados de ativos¹⁰.

Para que o sinal de um marcador, ativo ou passivo, seja captado pelo Sistema Óptico de Captura de Movimentos, é necessário utilizar no mínimo duas câmeras. Porém, recomenda-se que cada marcador seja visível por pelo menos três câmeras, em razão de oferecer maior precisão¹⁰.

O sistema de captura de movimentos utilizado na pesquisa é um sistema óptico com marcadores passivos e conta atualmente com 14 câmeras. Estas câmeras possuem características técnicas que permitem a captura de movimentos com resposta em tempo real. Cada câmera possui 4.0 megapixels de resolução, filmando em até 515 frames por segundo (FPS) em sua resolução máxima.

Este modelo de câmera é equipado com infravermelho, resolvendo qualquer problema com a iluminação do espaço onde o equipamento é instalado, garantindo a confiabilidade dos dados²⁴.

Além das câmeras, o sistema conta com duas core unit Vicon Giganet e um computador com o software Blade instalado. As Giganets são equipamentos responsáveis pela recepção e processamento dos dados de até 10 câmeras simultaneamente e envia para o computador²⁴.

Antes da utilização do sistema de captura de movimentos deve ser feito o processo de calibragem, a fim de garantir a confiabilidade dos dados captados. Trata-se de uma sequência de duas etapas a serem realizadas antes das capturas, uma para verificar as coordenadas das câmeras e outra garantir que os eixos X, Y e Z do ambiente de captura sejam determinados corretamente¹⁰.

Em seguida, é realizado o procedimento de posicionamento de marcadores no voluntário, a partir do método *marker set* (Figura 1a), orientado pelas estruturas anatômicas do indivíduo¹⁰ e alocados nas posições dos ossos e articulações de cada voluntário.

A geração de dados no sistema óptico de captura de movimentos é realizada a partir de um conjunto de ações. As câmeras captam as imagens em preto e branco da reflexão da luz nos marcadores anexados ao corpo do indivíduo.

Cada câmera envia as informações bidimensionais para as *core units Giganets*. Estas utilizam as imagens e as coordenadas de cada câmera, e realizam a triangulação das coordenadas de um marcador com dados de diferentes câmeras.

Isto é necessário para identificar o posicionamento em coordenadas tridimensionais, e estabelecer relações entre os marcadores que se locomovem no espaço, podendo assim calcular as rotações das articulações^{10,23}. A interpretação das coordenadas é realizada pelo software Blade. Este reconstrói um esqueleto humano simplificado (Figura 1b), mantendo as proporções de tamanho do ator, permitindo a extração e a comparação dos dados de cada indivíduo.

Tratamento dos dados

O foco das investigações foi verificar as hipóteses 1 e 2 elaboradas e, também, construir uma base de dados para o estabelecimento de padrões de desempenhos de próteses transtibiais. Para isso, foram aplicados aos grupos de Amputados e NÃO Amputados os Testes Adaptados de Romberg, Escala de Equilíbrio de Berg e Marcha de Tinetti.

Em relação à aplicação do teste adaptado de Romberg, foram obtidos ângulos no momento de maior oscilação anterior, posterior, lateral para a direita e lateral para a esquerda do tronco. Esses parâmetros foram extraídos a partir do sistema de captura de movimentos que possui marcadores implantáveis sobre o corpo do participante, capazes de reconstruir logicamente o esqueleto humano. O tempo observado foi de dois minutos, conforme indicação do autor.

A estrutura esquelética humana virtual obtida contém diversos pontos representativos das articulações ósseas. Especificamente para a mensuração dos ângulos mencionados, foi assumido como ponto representativo o CHEST, que entrega os ângulos de rotação do tronco para os eixos x, y e z. O eixo x na polaridade negativa representa a oscilação anterior do tronco. O mesmo eixo na

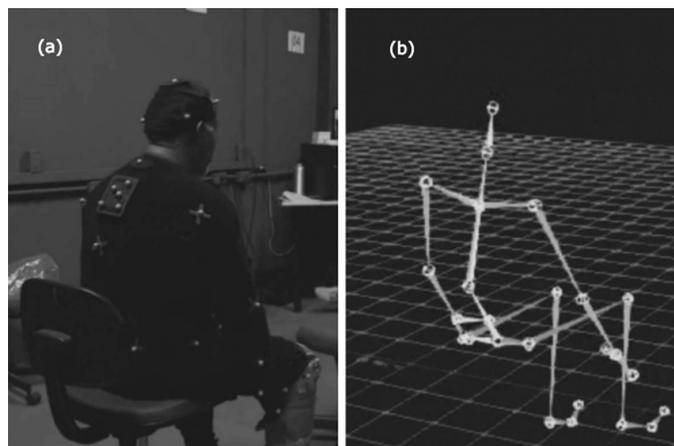


Figura 1. Configuração de marcadores no corpo do ator (1a) e esqueleto humano simplificado (1b).

polaridade positiva resulta na oscilação posterior. Em relação ao eixo y, é possível obter em sua polaridade negativa a oscilação lateral direita, ao inverter a polaridade é obtida a oscilação lateral esquerda. No eixo z é representada a torção do tronco.

Para o teste de Escala de Equilíbrio de Berg foi solicitado aos participantes realizarem quatorze tarefas simples do cotidiano, por exemplo, levantar de uma cadeira e pegar um objeto disposto no chão. Cada tarefa foi pontuada entre zero e quatro pontos, sendo zero para tarefa não completada e quatro para tarefa realizada completamente. Valores intermediários corresponderam ao nível de dificuldade do participante cumprir a atividade proposta. A pontuação total na execução de todas as atividades varia entre zero e cinquenta e seis.

No Teste de Marcha e Equilíbrio de Tinetti foram mensurados diversos parâmetros que permitiram verificar a eficiência de marcha dos participantes. Nessa configuração foi possível comparar a velocidade média de marcha entre Amputados transtibiais e NÃO Amputados.

Na tabulação dos dados obtidos pela aplicação dos procedimentos metodológicos de avaliação de equilíbrio (procedimentos A, B e C) foram empregados métodos estatísticos válidos ao tipo das amostras alcançadas. A principal relevância do processamento estatístico está em testar a capacidade de extrapolar os resultados dos ensaios a outras populações além das amostras investigadas. Por exemplo, obter médias com desvios padrões de velocidade de deslocamen-

tos, ângulos de rotação, tempo para realizar uma tarefa, entre outros parâmetros das amostras de amputados e NÃO amputados. Assim, estimar o desempenho das próteses testadas e, por conseguinte, o âmbito da reabilitação de atuais e futuros usuários das tecnologias assistivas.

Resultados

Taxas de participação

No estudo, 58 pessoas foram convidadas a participar e 28 aceitaram, refletindo em uma taxa de participação de 48,28%. Características demográficas e epidemiológicas dos participantes foram previamente descritas: a idade média de amputados e NÃO amputados foi $43,79 \pm 6,16$; $13,22$ e $27,78 \pm 6,16$; $5,92$ anos, respectivamente; 68% dos participantes eram homens.

A Tabela 1 apresenta o detalhamento por grupo para aqueles que participaram. O tamanho da amostra para o grupo de controle foi $n = 14$ e o de amputados $n = 14$. Não houve diferenças significativas nas taxas de abandono entre os grupos e foi obtida uma alta taxa de retenção (92%). O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos, na Universidade onde a pesquisa foi conduzida, a aprovação foi obtida.

Coleção de dados

As informações coletadas neste estudo podem vir a auxiliar no desenvolvimento e aprimoramento de próteses, e poderão ser utilizadas para promover um avanço tecnológico nesta área, proporcionando melhor reabilitação dos usuários destes dispositivos e elevando sua qualidade de vida.

Por meio dos diversos dados coletados na aplicação dos ensaios nos grupos, espera-se compor evidências capazes de auxiliar na modelagem representativa de um indivíduo com valores limítrofes de padrões de equilíbrios e marcha. O modelo desenvolvido poderá permitir o entendimento facilitado do desempenho dos dispositivos médicos avaliados.

Os resultados obtidos com a pesquisa são apresentados na Tabela 2, indicando os ângulos médios relacionados ao equilíbrio dos indivíduos pela aplicação dos testes adaptado de Romberg, de Marcha de Tinetti e de Escala de Equilíbrio de Berg.

Os resultados apresentados na Tabela 2 demonstram que existem diferenças entre os ângulos MOA, MOP, MOD e MOE comparativamente aos grupos de Amputados e NÃO Amputados (teste adaptado de Romberg). É possível perceber que os maiores valores de Desvio Padrão (DP) encontram-se no grupo de Amputados. Contudo, os parâmetros t-student e p-value ($> 0,05$) denotam que não é possível garantir validade estatística nos ensaios de equilíbrio estático dos participantes neste estágio da pesquisa.

Em contraste, para as evidências de Velocidade de Marcha (Teste de Marcha de Tinetti) e Atividades Diárias (Teste de Equilíbrio de Berg) os melhores resultados foram alcançados no grupo de NÃO Amputados. Isso é confirmado pelas suas maiores médias com menores DP e variâncias. Destaca-se a magnitude da dispersão obtida no grupo de amputados referente às Atividades Diárias. A validade estatística das amostras foi testada e obtida pelos valores de t-student (> 3) e p-value ($< 0,05$).

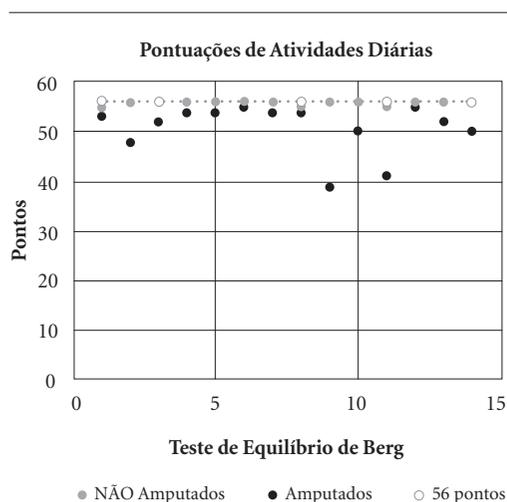
Ainda em relação às Atividades Diárias, as magnitudes e as dispersões das pontuações podem ser visualizadas no Gráfico 1. O gráfico apresenta os resultados dos testes da escala de Berg, comparando os valores obtidos nos grupos de Amputados e NÃO Amputados com a referência de cinquenta e seis pontos. Observa-se que as maiores dispersões em relação à referência correspondem ao grupo de Amputados.

Tabela 1. Características demográficas e epidemiológicas dos participantes.

	Amputados n = 14 M (DP)	NÃO Amputados n = 14 M (DP)
Idade (anos)	43,79 (13,22)	27,78 (5,92)
Mulheres	41,00 (8,49)	25,54 (5,04)
Homens	44,25 (14,08)	29,02 (6,28)
Peso (kg)	85,357 (19,445)	70,54 (11,29)
Mulheres	81,000 (16,971)	57,75 (3,5)
Homens	86,083 (20,411)	76,22 (8,27)
Altura (m)	1,731 (0,082)	1,72 (0,07)
Mulheres	1,615 (0,0354)	1,66 (0,06)
Homens	1,751 (0,070)	1,75 (0,06)
	N	N
Perna direita amputada	8	-
Perna esquerda amputada	6	-
Terapia funcional/atividades físicas	5	5

Tabela 2. Resultados dos testes de equilíbrio, marcha e pontuações de atividades diárias.

	Amputados (n = 14)		NÃO Amputados (n = 14)		t-student	p-value
	M (DP) (°)	Var. (σ^2)	M (DP) (°)	Var. (σ^2)		
MOA	85,09 (7,55)	57,0025	84,87 (7,46)	55,6516	0,5256	0,6044
MOP	92,87 (10,65)	113,4012	90,84 (7,28)	52,9984	0,2421	0,8110
MOD	-3,48 (4,79)	22,9811	-1,91 (4,60)	21,1600	0,9917	0,3321
MOE	-0,088 (5,69)	32,4092	2,86 (4,44)	19,7136	1,4000	0,1755
	M (DP) (m/s)		M (DP) (m/s)			
Marcha	0,6793 (0,0992)	0,0098	0,7844 (0,0736)	0,0054	3,1842	0,0037
	M (DP) (pontos)		M (DP) (pontos)			
Atividades Diárias	50,7857 (5,0258)	25,2587	55,4615 (1,1266)	1,2692	3,3906	0,0044

**Gráfico 1.** Teste de Equilíbrio de Berg – Pontuações de Atividades Diárias.

No que tange às características técnicas das próteses, foram agrupadas cinco categorias: tipo, encaixe rígido, encaixe flexível, material e tecnologia do pé. Com isso, buscou-se identificar a eficácia desses dispositivos como fator relevante no processo de reabilitação dos usuários.

A Tabela 3 apresenta as características técnicas das próteses associadas aos desempenhos individuais dos usuários. Essas características são relacionadas aos desempenhos individuais dos usuários em termos de Velocidade da Marcha, pontuação de Atividades Diárias e Fisioterapia.

Discussões

Os resultados compilados na Tabela 2 denotam valores referentes aos grupos avaliados com rela-

ção ao equilíbrio. E estes apresentam diferenças entre os grupos de amputados e NÃO amputados, porém, ainda sem validade estatística neste estágio da pesquisa ($p > 0,05$).

Em oposição, as médias e os desvios padrões de Velocidade de Marcha e Atividades Diárias apresentam claras diferenças entre os grupos avaliados e com validade estatística ($p < 0,05$). As médias de Velocidade de Marcha foram $0,6793 \pm 0,0992$ para os grupos de amputados e $0,7844 \pm 0,0736$ para os NÃO amputados. A diferença entre as médias infere que as ações de reabilitação promovidas aos amputados podem não ter sido satisfatórias.

Os resultados evidenciam as dificuldades dos amputados em manterem uma Velocidade na Marcha e a realização de Atividades Diárias próximas do grupo de não amputados. Nas pontuações das Atividades Diárias, as médias obtidas foram de $50,7857 \pm 5,0258$ e $55,4615 \pm 1,1266$ para o grupo dos amputados e NÃO amputados, respectivamente. Novamente, o desempenho no grupo dos amputados foi significativamente menor. Os dados sugerem que esses resultados podem estar relacionados com as características técnicas das próteses e a reabilitação fisioterapêutica dos amputados.

Os resultados apresentados na Tabela 3 permitem verificar o desempenho das próteses utilizadas pelos voluntários, em termos de Velocidade de Marcha e Atividades Diárias, associado às características técnicas destes dispositivos. Da mesma forma, observa-se nesta tabela que é sugerida uma relação entre as maiores pontuações das Atividades Diárias com os maiores valores de Velocidade de Marcha (correlação de 0,6641).

Adicionalmente, constatou-se que os voluntários que obtiveram os menores desempenhos

Tabela 3. Especificações técnicas das próteses dos participantes nos testes.

Nº Prótese	Tipo	Encaixe Rígido	Encaixe Flexível	Material	Tecnologia do Pé	Velocidade da Marcha (m/s)	Atividades Diárias (pontos)	Fisio
1	Exo.	KBM	Polifórmio	Aço	Sach	0,8125	53	Sim
2	Exo.	KBM	Polifórmio	Aço	Sach	0,8000	52	Sim
3	Exo.	KBM	Polifórmio	Aço	Dinamica	0,8835	54	Sim
4	Exo.	KBM	Polifórmio	Aço	Dinamica	0,6000	50	Sim
5	Endo.	KBM	Polifórmio	Aço	Dinamica	0,5880	48	Não
6	Endo.	TSWB	Silicone	Aço	Dinamica	0,5640	54	Não
7	Endo.	KBM	Polifórmio	Aço	Dinamica	0,7200	54	Sim
8	Endo.	TSWB	Silicone	Titânio	Fibra de Carbono	0,7713	54	Sim
9	Endo.	KBM	Polifórmio	Aço	Dinamica	0,8265	55	Sim
10	Endo.	TSWB	Silicone	Alumínio	Dinamica	0,5550	39	Não
11	Endo.	KBM	Polifórmio	Aço	Sach	0,6720	50	Não
12	Endo.	KBM	Polifórmio	Aço	Sach	0,6075	41	Não
13	Endo.	KBM	Polifórmio	Aço	Dinamica	0,8000	55	Sim
14	Endo.	KBM	Polifórmio	Aço	Sach	0,6720	51	Sim

relataram que sentem dor ou desconforto na utilização de suas próteses e, em alguns casos, foram identificadas feridas no coto causadas pelo atrito mecânico da prótese.

Essas evidências fortalecem a Hipótese 1 que busca averiguar se existe alguma relação entre o desempenho das próteses e a realização de tarefas diárias. Esse desempenho é medido em termos de variação angular de equilíbrio e velocidade de marcha dos usuários das próteses. Todavia, com uma possível ampliação nas amostras de voluntários será possível reduzir o erro e aumentar a validade estatística, na variação angular, pela comparação entre os grupos de amputados e NÃO amputados. Também é esperado uma maior correlação, próxima de 1, entre Velocidade de Marcha e Atividades Diárias, apresentadas na Tabela 3. Além disso, com amostras maiores busca-se uma homogeneidade nas características epidemiológicas dos participantes, em particular da idade média dos voluntários entre os grupos investigados.

Em relação às características técnicas das próteses utilizadas pelos voluntários, a Tabela 3 indica que a configuração das próteses 7, 8, 9 e 13 apresentaram os melhores valores de velocidade de marcha e Atividades Diárias (com base nas médias, c/DP , do grupo de não amputados).

É possível observar na Tabela 3 que as próteses 7, 9 e 13 possuem as mesmas características, e a 8 faz uso de materiais especiais, como titânio e fibra de carbono. Em contraste, a prótese 10 está associada a menor desempenho de velocidade de

marcha e de Atividades Diárias, tendo como diferencial das demais, o uso de alumínio.

Conforme Tabela 3, os amputados que realizam ou realizaram fisioterapia obtiveram desempenhos próximos das médias do grupo dos não amputados ($0,7844 \pm 61617; 0,0736$ e $55,4615 \pm 61617; 1,1266$ para Velocidade de Marcha e Atividades Diárias, respectivamente, vide Tabela 2). Com estas características estão incluídos os usuários das próteses 1, 8, 13 e 14, apresentadas na Tabela 3. Também se observou que aqueles que obtiveram os menores desempenhos não realizaram fisioterapia, por falta de acesso a mesma ou de informação a respeito.

Com estes achados é plausível evidenciar a Hipótese 2, a qual busca verificar se a reabilitação de amputados transtibiais acompanhada de fisioterapia promove saúde funcional equiparada aos NÃO amputados, considerando o desempenho das próteses, em termos de Velocidade de Marcha, Variação Angular de Equilíbrio e Atividades Diárias.

Conclusões

Este artigo teve o propósito de realizar um estudo comparativo prospectivo para a avaliação da reabilitação de usuários de próteses com amputações transtibiais. Para tanto, foram realizadas avaliações de desempenhos em grupos de amputados transtibiais e NÃO amputados. Nessa configuração, foram coletados dados de equilíbrio

estático, velocidade de marcha e capacidade dos voluntários realizarem tarefas cotidianas.

Foram testadas duas hipóteses. Hipótese 1: A facilidade de amputados transtibiais realizarem tarefas diárias está relacionada com o desempenho das próteses. Isso em termos de variação angular de equilíbrio e velocidade de marcha dos usuários dessas tecnologias assistivas. Hipótese 2: A reabilitação de amputados transtibiais, acompanhada de fisioterapia, promove saúde funcional equiparada aos NÃO amputados, considerando o desempenho das próteses, em termos de Velocidade de Marcha, Variação Angular de equilíbrio e Atividades Diárias.

Nas características demográficas e epidemiológicas dos grupos avaliados foram obtidos intervalos largos em relação às médias. No equilíbrio estático foram identificadas diferenças entre os grupos investigados. As maiores dispersões de desempenhos ocorreram no grupo de amputados.

A principal dificuldade encontrada corresponde a disponibilidade de voluntários, fator este que influencia de forma preponderante na validade estatística da pesquisa. Outro ponto a ser destacado no método de pesquisa utilizado foi a aplicação da tecnologia *Motion Capture* como instrumento de avaliação, que permitiu uma observação e comparação detalhada entre indivíduos a fim de identificar precisamente as limitações que dificultam o domínio do equilíbrio estático.

Durante a pesquisa foi possível verificar que, da forma como os centros de reabilitação vêm procedendo, é baixa a reinserção do indivíduo amputado na sociedade. Uma das dificuldades identificadas no decorrer da pesquisa foi a recorrência de desconforto na suspensão e no sistema

de encaixe quando o indivíduo não possui vácuo neste para impedir o atrito mecânico com o coto. Ressalta-se que há indicações de que materiais especiais como Titânio e Fibra de Carbono podem fornecer uma melhora para o equilíbrio do usuário final quando comparado com materiais mais simples, como o Alumínio.

Assim, sugere-se que sejam realizados aprimoramentos nos processos de reabilitação, incluindo uma seleção adequada dos materiais que compõem as próteses e um acompanhamento fisioterapêutico eficaz. Os achados apontam a existência de uma relação entre os desempenhos alcançados, nos testes aplicados, com a capacidade dos amputados realizarem tarefas diárias. A reabilitação de amputados transtibiais acompanhada de fisioterapia pode promover saúde funcional. Estas evidências corroboram com as hipóteses testadas.

As evidências originadas pelos ensaios podem contribuir para a comunidade científica, não somente nos propósitos dessa pesquisa, mas destacando a importância de produzir evidências primárias em países em desenvolvimento.

Estes países, com suas próprias características econômicas, geográficas e culturais, diferem dos desenvolvidos, que se destacam na produção de evidências em saúde. Nesse contexto, são esperadas novas iniciativas e fomentos que viabilizem estudos primários para outras condições de amputações e limitações funcionais.

Por fim, recomenda-se aos formuladores de políticas em saúde aplicarem esforços no aprimoramento da reabilitação de amputados, permitindo aos usuários de próteses uma atuação social com qualidade de vida e produtiva.

Colaboradores

GS Prim, FAS Santos, M Vieira e V Nassar contribuíram igualmente em todas as etapas de elaboração do artigo.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Santa Catarina, Capes, CNPq, FAPESC e à equipe do laboratório DesignLab, por contribuírem com a realização desta pesquisa. Agradecemos ainda ao Centro Catarinense de Reabilitação (CCR),

ao técnico protesista Agenor Teixeira de Souza e aos voluntários que participaram desta pesquisa. Este artigo é parte do projeto “Sistema de visualização do corpo humano para auxílio à criação de órteses e próteses” financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Referências

- World Health Organization (WHO). *Health technology assessment of medical devices*. (Online), Medical Device Technical Series, Geneva; 2011. [acessado 2014 maio 1]. Disponível em: http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241501361_eng.pdf.
- Carmeli E, Imam B. Health promotion and disease prevention strategies in older adults with intellectual and developmental disabilities. *Front Public Health* 2014; 2(31):1-7.
- Boccolini F. *Reabilitação: amputados, amputações e próteses*. 2ª ed. São Paulo: Robe Livraria e Editora; 2000.
- Carvalho JA. *Amputações em membros inferiores: em busca da plena reabilitação*. São Paulo: Manole; 1999.
- Berg KO, Wood-Dauphinée S, Williams JI, Maki B. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Can J Public Health* 1992; 83(2):S7-S11.
- Machado ABM. *Neuroanatomia Funcional*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Atheneu; 1993.
- Baraúna MA, Duarte F, Sanchez HM, Canto RST, Malusa S, Campelo-Silva CD, Ventura-Silva RA. Avaliação do equilíbrio estático em indivíduos amputados de membros inferiores através da biofotogrametria computadorizada. *Bras J Phys Ther* 2006; 10(1):83-90.
- Baraúna MA, Canto RST, Oliveira AS, Soares AB, Silva CDC, Cardoso FAG. Avaliação do equilíbrio estático do portador de diabetes mellitus pela biofotogrametria. *Bras J Phys Ther* 2003; 7(1):57-62.
- Ramos AR, Salles ICD. Aspectos clínicos. In: Borges D, Moura EW, Lima E, Silva PAC, organizadores. *Fisioterapia: aspectos clínicos e práticos da reabilitação*. São Paulo: Artes Médicas; 2005. p. 234-262.
- Kitagawa M, Windsor B. *Mocap for Artists: Workflow and Techniques for Motion Capture*. Oxford: Elsevier; 2008.
- Dutta T. Evaluation of the Kinect™ sensor for 3-D kinematic measurement in the workplace. *Applied Ergonomics*. 2012; 43(4):645-649.
- Clark RA, Pua YH, Fortin K, Ritchie C, Webster KE, Denehy L, Bryant AL. Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control. *Gait Posture* 2012; 46(3):372-377.
- Carayon P, Wetterneck TB, Rivera-Rodriguez AJ, Hundt AS, Peter Hoonakker P, Holden R, Gurses AP. Human factors systems approach to healthcare quality and patient safety. *Applied Ergonomics* 2014; 45(1):14-25.
- Ickenstein GW, Ambach H, Klöditz A, Koch H, Isenmann S, Reichmann H, Ziemssen T. Static posturography in aging and Parkinson's disease. *Frontiers in Aging Neuroscience* 2012; 4(20):1-7.
- Kim S, Yuk G, Gak H. Effects of the horse riding simulator and ball exercises on balance of the elderly. *J Phys Ther Sci* 2013; 25(11):1425-1428.
- Presumido LMB, Baraúna MA, Ferreira C, Silva KC. Estudo comparativo entre o equilíbrio estático de indivíduos sedentários e não sedentários do sexo feminino. *Ícone* 1995; 3(2):39-62.
- Whitney SL, Poole JL, Cass SP. A review of balance instruments for older adults. *Am J Occup Ther* 1998; 52(8):666-671.
- Sanglard RCF, Pereira JS, Henriques GRP, Gonçalves GB. A influência do isostretching nas alterações do equilíbrio em idosos. *Revista Brasileira Ciência e Movimento* 2007; 15(2):63-71.
- Miyamoto ST, Lombardi JI, Berg KO, Ramos LR, Natour J. Brazilian version of the Berg balance scale. *Braz J Med Biol Res* 2004; 37:1411-1421.
- Badke MB, Sherman J, Boyne P, Page S, Dunning K. Tongue-based biofeedback for balance in stroke: results of an 8-week pilot study. *Arch Phys Med Rehabil* 2011; 92(9):1364-1370.
- Emilio J, Hita-Contreras F, Jiménez-Lara PM, Latorre-Román P, Martínez-Amat A. The association of flexibility, balance, and lumbar strength with balance ability: risk of falls in older adults. *J Sports Sci Med* 2014; 13(2):349-357.
- Conesa L, Costa Ú, Morales E, Edwards DJ, Cortes M, León D, Bernabeu M, Medina J. An observational report of intensive robotic and manual gait training in sub-acute stroke. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2012; 9(13):1-9.
- Park HS, Kim JY, Kim JG, Choi, SW, Yousok K. A new position measurement system using a motion-capture camera for wind tunnel tests. *Sensors* 2013; 13(1):12329-12344.
- Vicon. 2014; [acessado 2014 maio 12]. Disponível em: <http://vicon.com/>

Artigo apresentado em 04/11/2015

Aprovado em 06/06/2016

Versão final apresentada em 08/06/2016