

AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE ANDADOR ROBÓTICO PARA INDIVÍDUOS HEMIPARÉTICOS ATRAVÉS DE ELETROMIOGRAFIA

F. A. Loterio*, V. F. Cardoso*, C. T. Valadão**, R. Mamede*, J. J. V. Mayor**, T. F. Bastos-Filho**
e A. Frizzera-Neto**

* Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

loteriofa.ufes@gmail.com.br

Resumo: O acidente vascular cerebral (AVC) é uma das principais causas de prejuízos no sistema neuromuscular. Alguns estudos analisam a utilização de dispositivos robóticos na reabilitação de indivíduos hemiparéticos pós-AVC. O objetivo deste artigo é analisar a marcha assistida por andador robótico em indivíduos hemiparéticos pós-AVC, utilizando eletromiografia de superfície (sEMG) e os métodos de avaliação SUS e GAS. Dois indivíduos hemiparéticos e três saudáveis participaram dos testes. O padrão muscular e velocidade da marcha tiveram algumas alterações positivas durante a marcha assistida. Os resultados sobre o uso do andador mostraram boa aceitação pelos usuários e os objetivos esperados durante o uso do andador foram atingidos.

Palavras-chave: AVC, Hemiparesia, Andador Robótico, Eletromiografia de Superfície e Métodos de Avaliação.

Abstract: Stroke is a leading cause of damages in neuromuscular system. Some studies have analyzed the use of robotic devices in the rehabilitation of stroke individuals. The goal of this study is to analyze the assisted gait by a robotic walker in stroke individuals using surface electromyography (sEMG) and evaluation methods SUS and GAS. Two stroke and three healthy subjects participate of the tests. The muscle pattern and gait speed had some positive changes during the assisted gait. The results about the use of the walker showed good approval by the users and the expected goals during the use of the walker were reached.

Keywords: Stroke, Hemiparesis, Robotic Walker, Surface Electromyography and Evaluation Methods.

Introdução

As sequelas de um acidente vascular cerebral (AVC) têm uma alta variabilidade entre as vítimas, em função de localização e intensidade em que ocorrem. As consequências mais comuns são hemiparesia, coivação muscular e espasticidade [1] [2]. A hemiparesia causa, inicialmente, dois prejuízos à marcha do sujeito: a limitação da dorsiflexão do tornozelo e a diminuição da flexão do joelho [3]. O indivíduo pode ter, ainda uma perda parcial do reconhecimento da localização espacial do corpo, o que o leva a ter falta de equilíbrio corporal [1].

A análise de marcha pode ser usada para determinar o uso de dispositivos úteis para reabilitação e para monitorar o progresso de cura do sujeito já em fase de reabilitação [4]. O ciclo da marcha é composto por duas fases distintas chamadas fase de apoio, a qual pode ser subdividida em fase de apoio duplo inicial, apoio simples e apoio duplo final, e fase de balanço [5]. A eletromiografia de superfície (sEMG) é uma ferramenta importante para análise de marcha, por fornecer informações sobre o tempo de ativação e força muscular [6].

A reabilitação com assistência robótica pode ser uma boa estratégia em pessoas com deficiência grave [7]. Alguns estudos [8] [9] têm avaliado a utilização de dispositivos de assistência em indivíduos pós-AVC. Em um estudo feito por Hesse *et al.* [9] avaliou a atividade muscular com o uso do robô G-EO-Systems, que foi desenvolvido para reabilitar as funções de subir e descer escadas. A combinação de exoesqueleto com esteira e suporte do peso corporal, Lokomat [10], também foi analisada quanto ao seu uso na reabilitação.

Os andadores robóticos, além de servirem como apoio durante a marcha, são restaurativos e podem modificar progressivamente as funções motoras do sujeito hemiparético [11]. Por esse motivo, é essencial que seja feita uma análise dos padrões da marcha antes da utilização desses dispositivos, incluindo análise dos parâmetros cinemáticos e ativação muscular do indivíduo.

O objetivo desse trabalho é comparar a ativação muscular durante marcha livre e assistida por andador robótico em indivíduos hemiparéticos para auxiliar na avaliação do uso do andador, juntamente com os métodos SUS e GAS, verificando se há uma melhoria na marcha desses indivíduos.

Materiais e métodos

Voluntários – Indivíduos pós-AVC foram recrutados no Centro de Reabilitação Física do Espírito Santo (CREFES), situado em Vila Velha, Espírito Santo. Dois voluntários participaram do estudo. O voluntário A é do sexo masculino, 77 anos de idade, hemiparesia do lado direito, tempo após AVC de onze meses e encontra-se no nível 4 da escala FAC. O voluntário B é do sexo masculino, 59 anos de idade, hemiparesia do lado esquerdo, tempo após AVC de sete meses e FAC nível 3. Os critérios de inclusão para o estudo foram: 1) o sujeito

deve ter sofrido AVC entre 6 meses a 5 anos anteriores ao estudo; 2) estar, no mínimo, no nível 2 da escala FAC; 3) possuir habilidades cognitivas e de linguagem suficientes para entender e seguir as instruções; e 4) possuir força remanescente suficiente no membro superior parético para se apoiar com os antebraços corretamente sobre o andador. Os critérios de exclusão foram: 1) indivíduos pós-AVC que não apresentem marcha independente e; 2) qualquer desordem musculoesquelética ou neurológica que limitem a deambulação e não tenham relação com o AVC.

O grupo controle foi composto por três voluntários saudáveis (dois do sexo feminino), com média de idade de 64,6 anos e sem problemas motores nos membros inferiores. Todos os voluntários assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. O estudo teve a aprovação dada pelo Comitê de Ética da UFES, protocolo número 214/10.

Andador robótico - Nesta pesquisa foi utilizado um protótipo de andador robótico (Figura 1), que está sendo desenvolvido na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). O andador possui um sensor laser de varredura localizado na parte inferior do andador que faz com que o dispositivo se mantenha a uma distância fixa do usuário. E, ainda, possui suportes para os antebraços que proporciona maior apoio durante a marcha.



Figura 1. Protótipo de andador robótico desenvolvido na UFES.

Protocolo experimental - Utilizaram-se quatro canais de sEMG sobre o membro contralateral. Os músculos usados foram: vasto medial (VM), bíceps femoral (BF), tibial anterior (TA), gastrocnêmio medial (GM) e um eletrodo de referência sobre o tornozelo. Sobre o mesmo tornozelo, um acelerômetro biaxial foi fixado com a finalidade de detectar as fases do ciclo da marcha. Os registros de sEMG e do acelerômetro foram feitos através de uma unidade de aquisição de sinais de 8 canais (EMG System do Brasil Ltda®), usando uma frequência de amostragem de 2 kHz. Todo o processo de colocação de eletrodos e aquisição dos sinais foi feito seguindo as recomendações do SENIAM [12].

O voluntário caminhou em velocidade confortável, por um percurso de 10 metros em linha reta e superfície plana. O percurso foi repetido três vezes com pausa para descanso entre os intervalos. Antes dos testes com o andador robótico, os voluntários foram orientados quan-

to ao uso adequado do mesmo e tiveram um período para se adaptar ao uso do dispositivo.

Após o teste, o voluntário respondeu ao questionário SUS (*System Usability Scale*), com o objetivo de avaliar o andador robótico nas seguintes características: facilidade no uso, capacidade de proporcionar segurança, aumento da confiança ao caminhar e necessidade de auxílio profissional ao usá-lo [13]. Por fim, os pesquisadores avaliaram os objetivos esperados durante o uso do andador robótico (facilidade de adaptação ao andador e velocidade da marcha assistida em comparação com a marcha livre) através da escala GAS (*Goal Attainment Scale*) [14].

Análise dos dados - Os registros obtidos durante os testes foram processados usando o software MatLab. Os sinais de sEMG foram filtrados por um filtro passa-banda de 20-500 Hz. Para a análise estatística, foi usada a média dos três testes de cada marcha do voluntário, a qual se aplicou o teste de t de *Student* para amostras com variâncias homogêneas, e o teste U de Mann-Whitney para amostras com variâncias desiguais.

Resultados

A FAC [15] avalia quantitativamente a necessidade de assistência à deambulação de sujeitos pós-AVC. Os voluntários apresentaram níveis de classificação diferentes nessa escala. Os dados, portanto, foram analisados para cada voluntário individualmente.

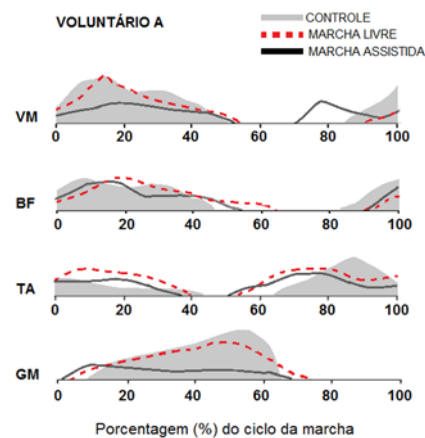


Figura 2. Padrão muscular durante marcha livre e assistida do voluntário A, comparando com o grupo controle.

Velocidade - A velocidade média do voluntário A teve seu valor reduzido de 0.47m/s, em marcha livre, para 0.32m/s ($p = 0.0031$), em marcha assistida. No caso do voluntário B, houve um aumento na velocidade de 0.40m/s para 0.44m/s, sob assistência do andador robótico, entretanto a diferença não foi estatisticamente significativa ($p = 0.4418$). A fase de apoio para ambos os voluntários (A = 73.30% e B = 73.17%) foi maior do que a fase de apoio do grupo controle (67.08%). Isso se deve ao fato de que sujeitos hemiparéticos permanecem por mais tempo na fase de apoio a fim de obter maior estabilidade durante a caminhada [16]. Os resultados

são apresentados nas figuras 2 e 3, com os dados dos voluntários A e B, respectivamente.

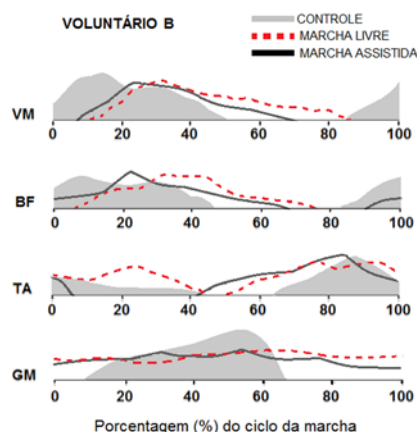


Figura 3. Padrão muscular durante marcha livre e assistida do voluntário B, comparando com o grupo controle.

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos pelos métodos de avaliação SUS e GAS. O SUS foi calculado pelo método tradicional [13], sendo que o voluntário pontuou cada um dos dez itens de 1 a 5. O GAS foi calculado usando a equação simplificada (Equação 1) pelo fato de todos os objetivos usados terem o mesmo peso em importância e em dificuldade [14]. A pontuação de cada objetivo é dada da seguinte forma: -2 quando o resultado é muito pior que o esperado; -1 quando pior que o esperado; 0 quando igual ao esperado; +1 quando melhor que o esperado e; +2 quando muito melhor que o esperado.

$$T = 50 + C \times \sum Xi \quad (1)$$

Onde $\sum Xi$ = soma dos valores para cada objetivo e o valor de C varia conforme o número de objetivos. No caso, C tem valor 6,2, pois são usados dois objetivos.

Tabela 1: Valores dos métodos de avaliação.

Voluntário	SUS	GAS
A	72,5	62,6
B	75,0	56,2

Discussão

Voluntário A - O voluntário A, pelo fato de ter um nível de deambulação independente maior (FAC = 4), apresentou um padrão muscular mais próximo ao padrão do grupo controle, como pode ser visto na Figura 2. Durante a marcha livre, podem-se notar alterações da marcha hemiparética para o voluntário A. O músculo BF teve seu término prolongado até a fase de apoio duplo final, assim como em [16] em que o BF tem a prolongação de sua atividade durante a fase de apoio. O início da ativação do TA foi antecipado para a fase de apoio simples, em comparação com o grupo controle em que teve seu início na fase de apoio duplo final. Em

estudo feito por [16], observou-se a ativação prematura do GM durante o início da fase de apoio, enquanto que para o voluntário A, o *offset* do GM é que foi prolongado até a fase de balanço.

Com o uso do andador robótico, não houve mudança significativa na fase de apoio (73.64%, $p = 0.696$). O *onset* do VM foi antecipado para a fase de apoio duplo final ($p = 0.0002$). Já a fase em que ocorreu o *offset* do BF ($p = 0.0004$) foi a mesma do grupo controle. Isso indica que o músculo BF, durante marcha assistida, teve o padrão de ativação mais parecido ao da marcha saudável. No caso do músculo GM houve redução da amplitude do sinal. No caso do voluntário A, não houve alterações na velocidade e nas fases da marcha, entretanto houve algumas alterações nos valores de ativação muscular.

Voluntário B – o voluntário B encontrava-se no nível 3 da escala FAC, além de apresentar espasticidade e marcha bem característica de indivíduos hemiparéticos. Os valores de início e término de ativação para o voluntário B apresentaram alterações em todos os músculos, exceto o término de ativação do TA que se manteve na fase de apoio simples. Os músculos VM e BF apresentaram ativação prolongada durante a fase de apoio com o objetivo de dar suporte adicional ao membro [16]. É importante destacar que o GM desse voluntário se manteve ativo durante todo o ciclo, sendo impossível determinar o *onset* e o *offset* para esse músculo. Durante os testes, era visualmente possível notar a constante contração muscular do GM. Geralmente, em sujeitos pós-AVC, observa-se fraqueza do GM [17]. A insuficiência do GM é compensada por uma maior flexão do quadril e maior extensão do joelho, para facilitar o suporte durante a fase de apoio [16], resultando na circundação do membro inferior a qual foi observada no voluntário B.

Durante a marcha assistida, a fase de apoio tornou-se mais próxima à da marcha saudável (69.27%, $p = 0.0209$). Houve alterações no *onset* do BF, encontrando-se na fase de balanço ($p = < 0.0001$), assim como na marcha saudável. A ativação do TA aproximou-se mais da curva do padrão muscular saudável, apesar de não ter o *onset* e *offset* nas mesmas fases da marcha do grupo controle. As alterações mais positivas para esse voluntário foram vistas no aumento da velocidade e aumento da duração da fase de balanço, duas características importantes visadas durante o processo de reabilitação. O uso contínuo do andador robótico pode trazer uma melhora do padrão muscular, devendo ser analisado após certo período de uso do dispositivo.

Métodos de Avaliação - A pontuação média do SUS é 68, sendo que valores acima de 68 são considerados acima da média e abaixo de 68 são abaixo da média [13]. O valor do SUS proporcionado pelo voluntário A foi 72,5 e pelo voluntário B foi 75,0. Para ambos os voluntários, o andador robótico foi classificado como “útil”, segundo a escala SUS.

Quando o valor do GAS é $T = 50$ significa que os objetivos foram atingidos como esperado, $T < 50$ resultado foi pior que o esperado e $T > 50$ o resultado foi melhor do que o esperado [14]. Os valores do T -score foram de

62,6 para o voluntário A e de 56,2 para o voluntário B. Os resultados obtidos após avaliação do desempenho dos voluntários ao utilizar o andador robótico mostraram que os objetivos pré-determinados tiveram resultados melhores do que os esperados para ambos os voluntários.

Os métodos de avaliação usados mostraram um resultado positivo em relação ao andador robótico. A aceitação do andador, avaliada pelo questionário SUS, se mostrou adequada. Os resultados do GAS para o andador robótico foram satisfatórios, mostrando um ganho na velocidade da marcha e uma rápida adaptação.

Conclusão

Os andadores robóticos podem ser uma contribuição à reabilitação de sujeitos pós-AVC. No voluntário de menor habilidade motora, houve mais alterações positivas significativas com o uso do andador do que no voluntário de maior habilidade motora. A aceitação do andador robótico e os objetivos esperados durante o seu uso tiveram resultados satisfatórios. Um maior número de testes deve ser realizado, para que se possa afirmar que melhorias realmente ocorram com o uso do andador.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e à FAPES pelo suporte dado a este projeto de pesquisa.

Referências

- [1] Perry J, Burnfield JM. *Gait Analysis - Normal and Pathological Function*. Second Edition. 2010.
- [2] Routson RL, Clark DJ, Bowden MG, Kautz SA, Neptune RR. The influence of locomotor rehabilitation on module quality and post-stroke hemiparetic walking performance. *Gait & posture*; July 2013. 38(3):511–7.
- [3] Lucareli PRG, Greve JMA. Alteration of the load-response mechanism of the knee joint during hemiparetic gait following stroke analyzed by 3-dimensional kinematic. *Clinics*; 2006. 61(4):295–300.
- [4] Tao W, Liu T, Zheng R, Feng H. Gait analysis using wearable sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*; January 2012. 12(2):2255–83
- [5] Frizzera-Neto A. Interfaz multimodal para modelado, estudio y asistencia a la marcha humana mediante andadores robóticos. PhD thesis; 2010.
- [6] Campanini I, Merlo A, Merletti R, Degola P, Vezzosi G, Farina D. Effect of electrode location on EMG signal envelope in leg muscles during gait. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*; August 2007. 17(4):515–26.
- [7] Belda-Lois JM, Horno SM, Bermejo-Bosch I, Moreno JC, Pons JL, Farina D, Iosa M, Molinari M, Tamburella M, Ramos A, Caria A, Solis-Escalante T, Brunner C, Rea M. Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top-down approach. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*; January 2011. 8(1):66.
- [8] Tyson SF, Rogerson L. Assistive Walking Devices in Nonambulant Patients Undergoing Rehabilitation After Stroke: The Effects on Functional Mobility, Walking Impairments, and Patients' Opinion. *Arch Phys Med Rehabil Vol 90*, March 2009.
- [9] Hesse S, Waldner A, and Tomelleri C. Innovative gait robot for the repetitive practice of floor walking and stair climbing up and down in stroke patients. pages 1–10, 2010.
- [10] Collantes I, Asin G, Moreno JC, Pons JL Analysis of biomechanical data to determine the degree of users participation during robotic-assisted gait rehabilitation. 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS. San Diego, California USA, 28 August - 1 September, 2012.
- [11] Frizzera-Neto A, Elias A, Del-Ama AJ, Ceres R, Bastos-Filho TF. Characterization of spatiotemporal parameters of human gait assisted by a robotic walker. In 2012 4th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob); June 2012. p. 1087–1091.
- [12] Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G, Disselhorst-Klug C, Hagg G. European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy. *Roessingh Research and Development, SENIAM 8*; 1999. p. 8–11.
- [13] Brooke J. SUS: a retrospective. *Journal of Usability Studies*, vol. 8, issue 2, 2013.
- [14] Krasny-Pacini A, Hiebel J, Pauly F, Godon S, Chevignard M. Goal Attainment Scaling in rehabilitation: A literature-based update. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 56 (2013) p. 212–230
- [15] Holden MK., Gill KM, Magliozzi MR, Nathan J, Piehl-Baker I. Clinical Gait Assessment in the Neurologically Impaired: Reliability and Meaningfulness. *PHYS THER.* 1984; 64:35-40.
- [16] Den Otter AR, Geurts ACH, Mulder T, and Duysens J. Abnormalities in the temporal patterning of lower extremity muscle activity hemiparetic gait. *Gait & posture*, 25(3):342–52, March 2007.
- [17] Sousa ASP, Silva A, Santos R, Sousa F, and Tavares MRS. Interlimb Coordination During the Stance Phase of Gait in Subjects With Stroke. pages 2515–2522, 2013.