

Estrutura Robótica Atuada por Cabos para Reabilitação Bilateral do Corpo Humano.

Thiago Alves*, Matheus Chaves D'Carvalho, Rogério Sales Gonçalves

*Laboratório de Automação e Robótica, thiago.alves1@ufu.br

Palavras-chave
robótica, dispositivos atuados por cabos, reabilitação

1. INTRODUÇÃO

O Acidente Vascular Encefálico (AVE) é a principal causa de incapacidade entre adultos e deixa um número significativo de indivíduos com déficits motores, cognitivos ou de linguagem. As lesões neurológicas podem ocasionar perdas e/ou debilidades de movimentos do corpo humano, sendo a paralisia do membro superior a consequência mais frequente da lesão cerebral (Tappeiner, Ottaviano e Husty, 2018).

Segundo Liepert et Al (2001) e Wittenberg et Al. (2003), a quantidade de treinamento é um dos fatores mais importantes para a recuperação funcional após um AVE. A utilização de estruturas robóticas torna a terapia de reabilitação mais desafiadora para os pacientes e menos trabalhosa para os terapeutas, além de fornecer aos médicos, terapeutas e comunidade científica dados coletados de forma mais objetiva. O tipo de terapia tem menos importância que a intensidade do exercício e terapias com assistência robótica possuem eficácia igual ou superior à terapia convencional na reabilitação de pacientes pós-AVE quando o nível de intensidade é correspondido (Van Der Lee et Al, 2001; Amo et Al., 2007).

Estruturas robóticas atuadas por cabos podem ser aplicadas na área de reabilitação com o objetivo de auxiliar estes profissionais e pacientes. Estas estruturas consistem em uma plataforma móvel, ligada por um ou mais cabos de comprimentos variáveis em relação a uma plataforma fixa. Um manipulador com cabos movimenta a plataforma móvel alterando os comprimentos dos cabos e evitando que fiquem sem tensão (Cannella e Ottaviano, 2008). Pode-se citar como características que tornam estas estruturas adequadas para fins de reabilitação a transportabilidade, a flexibilidade e a possibilidade de reconfiguração, gerando maior conforto para o paciente. (Gonçalves et al., 2015). As dificuldades no uso de estruturas robóticas atuadas por cabos estão primeiramente na capacidade de transmitir apenas esforços de tração, e não de compressão, além da elasticidade e dos efeitos não-lineares do enrolamento imperfeito do cabo, atrito e o efeito de *backlash* (Zarebidoki et al., 2011; Yanai et al. 2002).

Em Alves et Al. (2018) foi apresentada uma estrutura robótica com um grau de liberdade atuada por um cabo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de uma estrutura robótica atuada por dois cabos, capaz de realizar movimentos bilaterais, com ambos os lados do corpo, de forma individual. Este dispositivo utiliza a estratégia “*teaching-by-showing*” para ensinar o movimento desejado e será aplicado nas sessões de reabilitação de pessoas com comprometimento da movimentação de articulações do corpo humano em decorrência de AVE.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em Rosati et Al (2005) é apresentado um robô atuado por cabos com 3 GDL chamado de NeReBot e um outro robô atuado por cabos, chamado de MariBot, que é um aprimoramento do primeiro, adicionando mais graus de liberdade, um maior espaço de trabalho, além de um menor peso e melhor transportabilidade.

Em Amo et Al. (2007) é descrito o desenvolvimento e a avaliação do dispositivo Freebal, que faz a utilização de cabos e possui um sistema de compensação de gravidade escalonável e independente, ou seja, a quantidade de compensação gravitacional pode ser variada de modo contínuo, de não compensação até compensação total do peso do membro suportado do paciente, dependendo do seu desempenho durante a reabilitação.

O Diego, desenvolvido pela Tyromotion (2017) é um dispositivo de reabilitação bilateral dos membros superiores, que também possui um sistema de compensação inteligente de gravidade. O Diego possui um sistema que estima a posição e orientação da plataforma fixa presa ao cabo, consequentemente do membro do paciente, e utiliza estes valores em jogos sérios com realidade virtual para estimular o paciente e facilitar o treinamento.

O *Bimanual Lifting Rehabilitator* (Lum et. Al., 1995), o MIME, “*Mirror-Image Motion Enabler*” (Burgar et Al., 2000), e o *Reha-Slide* (Hesse et. Al, 2008) foram um dos primeiros dispositivos, bem retratados, que utilizaram o conceito de movimentos bilaterais do tipo espelhados para reabilitação.

Um sistema de reabilitação bimanual chamado “CBRD” (“*Compliant Bimanual Rehabilitation Device*” ou Dispositivo de Reabilitação Bimanual Complacente) foi patenteado em McAmis et al. (2016). Este dispositivo permite que as mãos do usuário sejam acopladas a uma variedade de rigidezes de acoplamento e em uma variedade de modos de simetria, levando a uma reabilitação aprimorada do braço debilitado. Resultados preliminares em participantes simulando hemiparesia mostraram que é mais fácil acompanhar e recriar movimentos visualmente simétricos e espacialmente simétricos do que movimentos pontualmente espelhados, especialmente se a posição desejada é mostrada (utilizando realidade virtual). Porém este dispositivo não faz utilização de cabos.

Dispositivos bimanuais mais recentes como o BrightArm Duo™ e o RehaBot são apresentados em House et Al. (2017) e Tappeiner et Al. (2018), respectivamente. O Bright Arm Duo é uma mesa de reabilitação para a realização de treinamentos bilaterais para reabilitação do membro superior, de forma adaptável e com a utilização de jogos sérios para incentivar o paciente. O RehaBot é um robô atuado por cabos (com 4 cabos e 4 motores) que atua em um plano, inspirado na terapia espelhada, ilusão de espelho, criada pelo movimento de um membro sadio, que é percebido como o membro parético. Em Bugar et Al. (2017) são mostradas evidências que o treinamento bilateral é superior ao unilateral em relação ao tempo necessário para conclusão da tarefa e a suavidade do movimento, sendo que os autores concluem que trabalhos adicionais mais aprofundados são necessários.

3. PROTÓTIPO BILATERAL ATUADO POR CABOS

Neste trabalho foi desenvolvida uma estrutura robótica atuada por cabos para reabilitação bilateral. A estrutura robótica, Fig. 1, possui os seguintes componentes: plataforma fixa em forma de “T”, 2 plataformas móveis (alça/tala), 2 cabos, 2 células de carga e 2 módulos (compostos por motor de corrente contínua, encoder e roldana). As plataformas móveis (talas/alças) são conectadas à plataforma fixa através de cabos com comprimentos variáveis. Além disso há uma placa de controle PWM para ambos motores e um Arduino MEGA 2560 que trabalha em conjunto com o software Matlab. Alguns jogos sérios estão em desenvolvimento para este dispositivo utilizando a plataforma UNITY 3D.

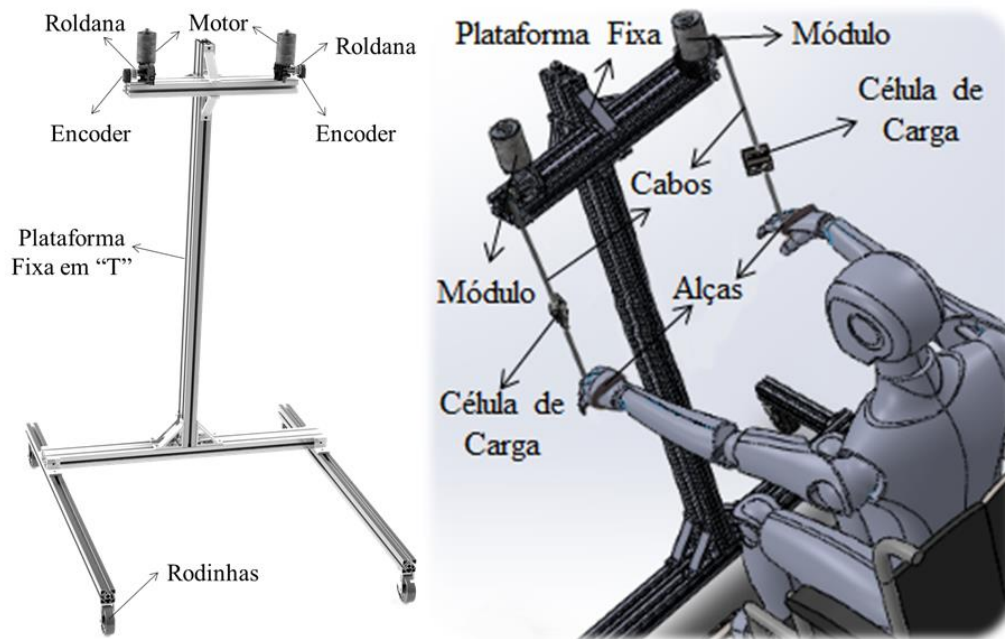


Figura 1: Estrutura robótica. (a) Visão Geral; (b) Simulação da aplicação na reabilitação.

O dispositivo ensina o movimento através da estratégia “*teaching-by-showing*” descrita em Alves et Al. (2018), onde as células de carga, são utilizadas para definir o sentido de operação do motor, enrolando e/ou desenrolando o cabo, enquanto as posições desejadas são armazenadas. A estrutura também implementa o controle do tipo “*assist-as-needed*”, assistindo o paciente apenas quando e quanto necessário. Durante a reprodução do movimento as células de carga são utilizadas para medir a participação do paciente, ou seja, a quantidade de força aplicada. Caso a força medida seja alta, significa que o paciente não está devidamente participando e a maior parte do movimento está sendo realizada pelo dispositivo. Desta forma o controle do torque do motor compensa a não-participação do usuário, funcionando sob a demanda do paciente sem gerar alterações na trajetória do movimento.

Dados inerentes a terapia de reabilitação como tempo necessário, posição e força aplicada/participação podem ser armazenados, acessados e analisados posteriormente para avaliar o desempenho do paciente e acompanhar o seu progresso ao longo do tempo.

Outra forma de operação possível é o sistema de controle mestre-escravo. Neste tipo de controle ao invés do dispositivo decidir em auxiliar o paciente, este mesmo se auxilia. Esta estratégia utiliza do lado saudável do paciente para fornecer a referência para o lado parético. Assim caso o lado parético não acompanhe o movimento realizado pelo lado saudável a estrutura auxilia gradativamente o lado parético até o movimento coincidir com o lado saudável, diminuindo o erro de posição e fornecendo assim uma assistência mais natural, já que é dado pelo próprio paciente. Este

tipo de método se mostra mais adequado para auxiliar o paciente a recuperar os movimentos utilizados nas tarefas do dia-a-dia (Atividades da Vida Diária), que são em sua grande maioria bilaterais (Burgar et Al., 2017).

Testes mais aprofundados com este dispositivo são necessários para confirmar sua eficácia nas terapias de reabilitação bilaterais ao auxiliar os pacientes a recuperar os movimentos do membro parético. Portanto, testes com pacientes saudáveis e com pessoas que possuam algum comprometimento da movimentação de articulações do corpo humano em decorrência de AVE serão realizados em um trabalho futuro. O número de participantes foi definido a partir de uma análise estatística de proporção. Para uma probabilidade de 99% e considerando um erro percentual de 5% uma amostra de 25 pessoas, sendo 15 pessoas saudáveis e 10 pessoas após AVE foi definida. Para realização dos testes, o presente trabalho foi submetido ao Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) e aguarda as últimas etapas da aprovação. Ao mesmo tempo, jogos sérios, utilizando a plataforma UNITY 3D, estão em desenvolvimento.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFU, FAPEMIG, CNPQ e CAPES pelo apoio financeiro parcial para realização deste trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- Alves T., D'Carvalho M.C., Gonçalves R.S. Controle “Assist-As-Needed” em Estruturas Robóticas Atuadas por Cabos para reabilitação das Articulações do Corpo Humano (2018), *ENEBI 2018*, Águas de Lindóia, SP, Brasil, 2018.
- Amo, H.A. Stienen and Edsko E.G. Hekman and Frans C.T. Van Der Helm and Gerdienke B. Prange and Michiel J.A. Jannink and Arthur M.M. Aalsma and Herman Van Der Kooij, Freebal: dedicated gravity compensation for the upper extremities, *Proceedings of the 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics*, June 12-15, Noordwijk, The Netherlands, 2007.
- Burgar C. G., Lum P. S., Shor P. C., Van der Loos M., Development of robots for rehabilitation therapy: The Palo Alto VA/Stanford experience, *Journal of Rehabilitation Research and Development*, Vol. 37 No. 6, 2000, pp. 663-673.
- Burgar, C. G., Lum P.S., Shor, P.C., Machiel, H.F., Van der Loos, Quantitative Assessment of Paretic Limb Dexterity and Interlimb Coordination during Bilateral Arm Rehabilitation Training, *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, QEII Centre, London, UK, July 17-20, 2017.
- Cannella, G.; Ottaviano, E.; Castelli G., A Cable-Based System for Aiding Elderly People in Sit to Stand Transfer, The International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics, San Juan, Argentina, n. 19, 2008.
- Gonçalves, R.S., Carvalho, J.C.M., Ribeiro, J.F., Salim, V.V. Cable-Driven Robot for Upper and Lower Limbs Rehabilitation, *Handbook of Research on Advancements in Robotics and Mechatronics*, IGI Global, 2015, p.284-315
- Hesse S., Werner C., Pohl M., Mehrholz J., Puzich U., Krebs H.I., Mechanical Arm Trainer for the Treatment of the Severely Affected Arm After a Stroke - A Single-Blinded Randomized Trial in Two Centers, *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2008, pp. 779-788.
- House G., Burdea G., Grampurohit N., Polistico K., Roll D., Damiani F., Integrative Upper-Limb Rehabilitation with BrightArm Duo™ in the Early Sub-Acute Phase of Recovery Post-Stroke, *Journal of Medical Robotics Research*, Vol. 2, No. 2, 2017
- Liepert, J., Uhde, I., Grf, S., Leidner, O., Weiller, C. Motor cortex plasticity during forced-use therapy in stroke patients: a preliminary study, *Journal of Neurology*, vol. 248, pp. 315–321, 2001.
- Lum P. S., Lehman, S. L., Reinkensmeyer D. J., The Bimanual Lifting Rehabilitator: An Adaptive Machine for Therapy of Stroke Patients, *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, Vol. 3, No. 2, June 1995, pp. 166-174
- McAmis, S.H.L, Springs T., Reed, K. B., Compliant Bimanual Rehabilitation Device and Method of Use Thereof, *Patent No.: US 9,265,685 B1*, University of South Florida, Tampa, FL (US), 2016.
- Rosati, G. et Al, Design of a new 5 d.o.f. wire-based robot for rehabilitation, *9th International Conference on Rehabilitation Robotics*, Chicago, IL, USA, June 28 - July 1, 2005
- Tyromotion, Site da Tyromotion. Disponível em: <<http://tyromotion.com/en/products>>. Acesso em: 04 set. 2017
- Liepert, J., Uhde, I., Grf, S., Leidner, O., Weiller, C. Motor cortex plasticity during forced-use therapy in stroke patients: a preliminary study, *Journal of Neurology*, vol. 248, pp. 315–321, 2001.
- Tappeiner, L., E. Ottaviano, Husty, M. L., A Cable-Driven Robot for Upper Limb Rehabilitation Inspired by the Mirror Therapy, *Computational Kinematics, Mechanisms and Machine Science 50*, Springer, 2018, pp.174-181
- Van Der Lee, J., Snels, I., Beckerman, H., Lankhorst, G., Wagenaar, R., E Bouter, L., Exercise therapy for arm function in stroke patients: a systematic review of randomized controlled trials. *Clin Rehabil*, vol. 15, no. 1, pp. 20-31, 2001.
- Wittenberg, G. F., Chen, R., Ishii, K., Bushara, K. O., Taub, E., Gerber, L. H., Hallett, M., Cohen, L. G. Constraint-Induced Therapy in Stroke: Magnetic-Stimulation Motor Maps and Cerebral Activation, *Neurorehabil Neural Repair*, vol. 17, no. 1, pp. 48–57, 2003.
- Yanai, N., Yamamoto, M., Mohri, A. Feedback Control for Wire-Suspended Mechanism with Exact Linearization. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Switzerland, vol. 3, 2002, pp. 2213–2218
- Zarebidoki, M; Lotfavar, A.; Fahham, H. R. “Dynamic Modeling and Adaptive Control of a Cablesuspended Robot”. 2011. *World Congress on Engineering 2011*, vol. 3, London, UK, Jul. 6–8, 2011

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.