

PROTÓTIPO DE EXOESQUELETO PARA REABILITAÇÃO DE MEMBROS SUPERIORES

W.G. Alves*, M.C. Brosco*, V. Camillo*, F.O. Costa*, M.C. Silva*, L.A. Silva**, M.E. Kunkel*

*Engenharia Biomédica, Universidade Federal do ABC, Santo André, Brasil

** Universidade Anhanguera de São Paulo, São Paulo, Brasil

e-mail: elizete.kunkel@ufabc.edu.br

Resumo: Comparando índices dos Censos Demográficos de 2000 e 2010, o número de pessoas com algum tipo de deficiência motora subiu cerca de 2% no Brasil, e, os equipamentos para reabilitação de membro superior disponíveis no mercado não são acessíveis a todos os pacientes devido ao custo elevado. Nesta pesquisa foi desenvolvido um protótipo de exoesqueleto para reabilitação de membros superiores, o qual foi construído com peças do kit Lego Mindstorms NXT, permitindo a regulação do exoesqueleto para adaptação a um maior número de usuários. A automação foi feita em linguagem NXT para controlar os movimentos de flexão e extensão. A estrutura ajustável do exoesqueleto foi testada para diferentes tamanhos e testes foram realizados com variação de força de subida e descida utilizando um modelo de braço. O protótipo mostrou-se satisfatório nos testes realizados, contudo, para o uso em terapia assistiva, deve ser aprimorado com o uso de materiais que apresentem maior resistência e motores com maior torque, de modo que ele seja capaz de suportar o peso real de um braço e executar corretamente os movimentos de flexão e extensão.

Palavras-chave: Reabilitação, membros superiores, fisioterapia, Lego Mindstorms NXT.

Abstract: Comparing the contents of Demographic Census 2010 and 2000, the number of people with some kind of physical disability has risen about 2% in Brazil, and, the equipment for upper limbs rehabilitation currently found are not available to all patients mainly due to the high costs. In this project a prototype exoskeleton for rehabilitation of upper limb was developed. This prototype was built with Lego Mindstorms NXT kit, allowing adjustment of length, width and thickness of the exoskeleton to adapt to a larger number of users. The automation of the prototype was developed in language NXT to control the movements of flexion and extension of the exoskeleton. The adjustable structure of the exoskeleton was tested for various lengths, widths and thicknesses and the results were satisfying. Tests varying strength of ascent and descent using a prototype arm were performed. The prototype was satisfactory in tests. For use in assistive therapy the prototype should be improved by using materials that have higher strength and higher torque engines, so that it would be able to withstand the actual weight of the

arm and properly execute the movements of flexion and extension.

Keywords: Rehabilitation, upper limbs, physiotherapy, Lego Mindstorms NXT, CPM.

Introdução

Comparando índices dos Censos Demográficos de 2000 e 2010, o número de pessoas com algum tipo de deficiência motora subiu cerca de 2% no Brasil [1]. Este fato é devido a existência de distúrbios congênitos do sistema musculoesquelético, como distrofia muscular, e a associação entre aumento da expectativa de vida e problemas nos países industrializados, como acidentes de trânsito e de trabalho [2]. De modo geral, o número de pessoas que necessitam de reabilitação nos membros superiores têm aumentado a cada ano, sendo o cotovelo a articulação mais frequentemente envolvida. A terapia de reabilitação desempenha um papel muito importante para que o paciente possa manter a atividade física e recuperar suas atividades funcionais (Fig. 1) [3].

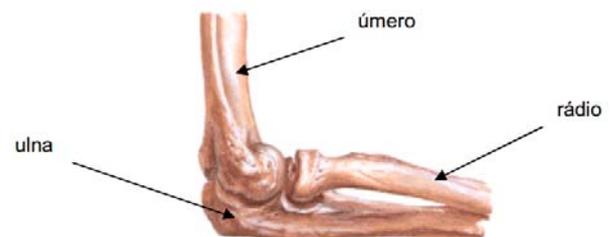


Figura 1: Articulação do cotovelo [4]

Tipicamente a reabilitação é feita por meio de fisioterapia orientada ou por meio do uso de dispositivos de movimentação passiva contínua [5]. Implícito no desenvolvimento da terapia está a ideia de automação parcial, ou seja, usar uma tecnologia que permita que o paciente pratique uma parte da terapia por conta própria sem a presença contínua do terapeuta. Nos últimos anos houve um aumento no número de sistemas mecânicos e robóticos desenvolvidos para auxiliar na reabilitação de movimentos de membros superiores [6]. No caso de membros superiores, os dispositivos usados podem ser para cotovelo e antebraço, são programáveis e possibilitam o controle de velocidade e amplitude do movimento. Os dispositivos robóticos são uma

possibilidade de melhora na forma de tecnologia já usada nas clínicas para se automatizar de modo parcial alguns aspectos repetitivos da terapia. No entanto, atualmente apenas algumas clínicas de reabilitação usam tais dispositivos. Porque o custo destes dispositivos é alto já que a maioria dos equipamentos é importada. No caso do Brasil, a demanda não é suprida pelos equipamentos disponíveis no mercado, que não são acessíveis a todos os pacientes devido principalmente ao custo (Quadro 1). O dispositivo robótico pode ser definido como um dispositivo que pode se mover em resposta a um comando dado (ou um motor controlado por um computador) adicionado de barras ou garras. O dispositivo pode ser designado para trabalhar com diferentes membros e articulações, por exemplo, flexão e extensão de cotovelo ou adução e abdução de ombro, de modo que o paciente se exercite enquanto um motor resiste ou auxilia no movimento. Um dispositivo robótico para reabilitação pode diminuir o custo médico e aumentar a acessibilidade daqueles que moram longe dos grandes centros. No entanto, não existem muitos dispositivos robóticos disponíveis para terapia de braço.

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um protótipo de exoesqueleto para braço de baixo custo com o kit Lego Mindstorms NXT que possa auxiliar nos movimentos de flexão e extensão do antebraço de uma pessoa.

Comparação dos modelos comerciais					
CPM comercial	Jace E640 Elbow CPM	Kinetec 6080 Elbow CPM	E3 Elbow CPM	Artromot® E2 Elbow CPM	Kinex KE2 Elbow CPM
Extensão Flexão	0° a 130°	0° a 135°	-5° a 145°	-5° a 140°	-15° a 140°
Pronação Supinação	-90° a 90°	-90° a 90°	-80° a 80°	-90° a 90°	-90° a 90°
Tipo de motor	Motor DC*	Motor DC*	Motor DC*	Motor DC*	Motor DC*
Controle ADM, tempo e velocidade	Possui	Possui	Possui	Possui	Possui

Quadro 1: Dispositivos comerciais de movimentação passiva contínua para cotovelo [5].

Materiais e métodos

O desenvolvimento deste projeto foi dividido em vários módulos: Estrutura, motores, sensores, suporte, programação, integração dos módulos e testes. Um kit Lego Mindstorms NXT foi usado para a construção do exoesqueleto. O kit Lego é composto por um bloco programável, sensores, servo-motores, mesa giratória,

bateria recarregável, conversor de energia, software de programação e peças como blocos, vigas, eixos, rodas, engrenagens e polias. O kit permite a criação, programação e montagem de robôs com noções de distância, capazes de reagir a movimentos, ruídos e cores, e de executar movimentos com razoável grau de precisão.

Em um estudo piloto, um protótipo de exoesqueleto em formato de braço com uma única articulação simulando o cotovelo foi construído com peças do kit Lego Mindstorms NXT e dois motores (Figura 2 esquerda). Porém, este protótipo criado apresentou uma série de limitações, como falta de estabilidade na estrutura de plástico e era limitado ao tamanho do braço que tinha que ser introduzido em uma estrutura fechada. Em um segundo momento, foram feitas modificações estruturais e na programação de modo que os problemas encontrados no protótipo anterior pudessem ser resolvidos. A estrutura inicial do exoesqueleto foi modificada a fim de tornar o mesmo ajustável em relação ao comprimento, largura e profundidade do braço de uma pessoa e também para que ele ficasse mais estável durante o movimento. O protótipo inicial com 2 motores foi mantido porém, foram realizadas modificações na fixação à estrutura, o que tornou o exoesqueleto mais estável (Fig. 2 direita).



Figura 2: Do lado esquerdo acima e abaixo está o primeiro protótipo do exoesqueleto para cotovelo, do lado direito o protótipo melhorado.

A programação do protótipo foi desenvolvida em linguagem NXT para controlar os movimentos de flexão e extensão do exoesqueleto. O protótipo inicial era controlado apenas por meio de sensor de toque, onde era permitido o ajuste do ângulo de abertura e velocidades de flexão e extensão. No projeto atual foi mantido o sensor de toque e acrescentados os sensores de som e ultra-som. Nos programas do sensor de toque, o usuário tem duas opções: no primeiro, ele aperta o botão para o motor fazer o trabalho de subir e depois aperta novamente para fazê-lo descer; já no segundo, o

usuário pressiona o botão para fazer o movimento completo, subida e descida. Usando o sensor de som, o movimento começa automaticamente e para assim que o usuário o pede usando a voz. Para o sensor de ultra-som, o usuário deve apenas ajustar o ângulo entre os sensores e quando o braço é detectado pelo sensor inferior, o motor faz o exoesqueleto subir e quando detectado pelo superior, o faz descer (Fig. 3).

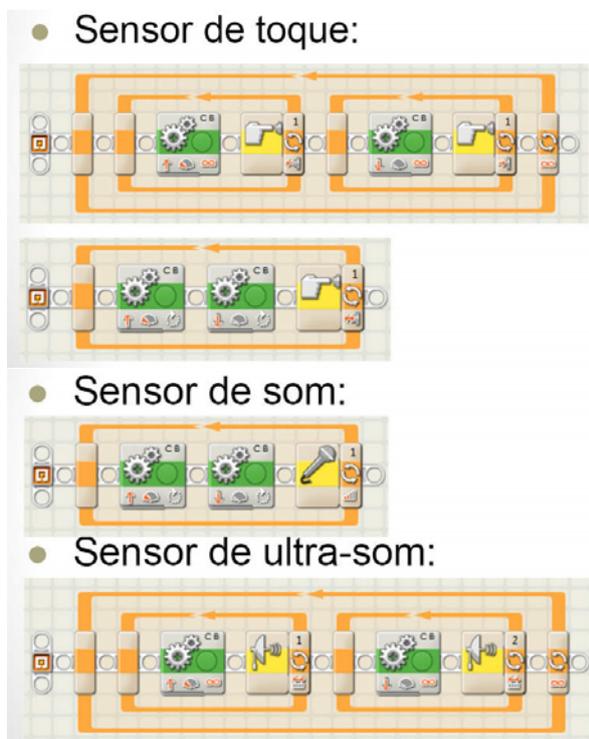


Figura 3: Algoritmo NXT dos sensores de som e ultra-som usados no controle do exoesqueleto.

Resultados

Para o modelo final foi criado um suporte para a fixação do exoesqueleto em tubos de PVC permitindo o ajuste da altura (Fig. 4). Após a integração dos módulos, observou-se que os sensores de som e ultra-som apresentaram algumas falhas. Para minimizar as falhas, decidiu-se fixar os sensores ao suporte. Além disso, decidiu-se fixar os motores ao suporte verticalmente, alterando a perspectiva inicial protótipo.

Testes de desempenho do exoesqueleto foram realizados de modo que se pudesse avaliar o seu desempenho nas tarefas propostas de flexão e extensão de cotovelo. Para os testes foi usado um modelo simulando um braço e a estrutura ajustável do exoesqueleto foi testada para diferentes comprimentos, larguras e espessuras. Foram realizados 8 testes, cada um com 3 séries de 15 repetições para cada variação de força de subida e descida (Tabela 1). Para a realização dos testes, foi usado um protótipo de braço pesando 150g e foram fixados os ângulos entre o suporte e o eixo em 30° e entre os sensores de movimento 90°. A partir do teste 5 fixou-se força 5 para descida, por ser

mais confortável e apresentar menos falhas e variou-se a força de subida.

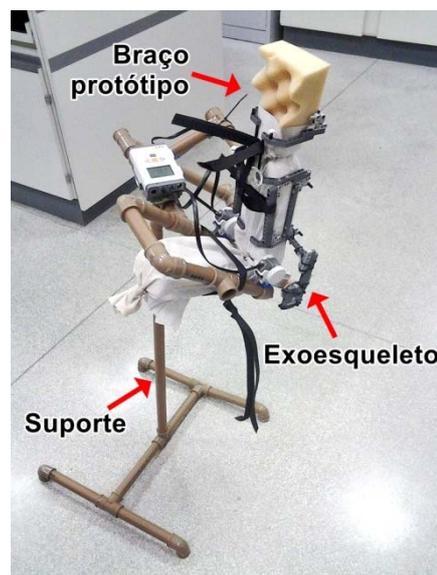


Figura 4: Suporte em PVC e modelo de braço usado no protótipo

Tabela 1: Testes realizados. Motivo de falha (1) Exoesqueleto travou na posição para cima; (2) Um dos motores soltou da engrenagem; (3) Sensor inferior não captou a descida rápida e não deu o comando de subida; (4) Sensor superior não captou a subida rápida e não deu o comando de descida; (5) Estrutura desencaixou; (6) Não apresentou falhas, porém a velocidade de subida tornou-se desconfortável.

Teste	Força subida	Força descida	Falhas	Motivo das falhas	Sucesso
1	65	5	1	2	97,8%
2	65	10	12	3	73,3%
3	65	15	4	3	91,1%
4	65	25	11	2, 3	75,6%
5	70	5	0	-	100%
6	75	5	2	4, 5	95,6%
7	80	5	1	6*, 3	97,8%
8	90	5	11	4	75,6%

Discussão

No Brasil, a área de engenharia de reabilitação ainda está em desvantagem frente a outros países. A maioria dos dispositivos robóticos ou automáticos usados em reabilitação são importados e chegam no

Brasil com um custo muito elevado. Dispositivos simples não requerem muito investimento e algumas tarefas repetitivas podem ser desenvolvidas em projetos como este que propõe o desenvolvimento de um dispositivo simples e de baixo custo. Até o momento, não existem protocolos definidos sobre como deve ser a reabilitação do cotovelo. Os protocolos existentes são definidos de maneira vaga e na maioria das vezes não se pode reproduzir [2].

Apesar do Kit LEGO Mindstorms não ser uma opção de baixo custo, ele pode ser usado em diversas áreas e vários contextos de pesquisa. Por possuir uma interface simples e intuitiva e o kit permite criar modelos de protótipos simples que podem executar funções básicas pré-programadas. Desse modo, o kit Lego permite o desenvolvimento de protótipos como estes que podem ser considerados para a análise de uma série de questões antes que se possa desenvolver um equipamento. As alterações realizadas no protótipo inicial mostraram-se satisfatórias, tornando o exoesqueleto acessível no futuro a um maior número de usuários. Além disso, as modificações tornaram o exoesqueleto mais confortável e flexível. O controle do exoesqueleto também foi melhorado com a inclusão de sensores de som e ultra-som, facilitando a utilização pelo usuário. Notou-se que o principal motivo de falha na execução de testes foi devido à dificuldade do sensor em captar o movimento de descida ou subida quando executada de modo rápido, o que levou o motor a não inverter o sentido. Para minimizar as falhas sugere-se utilizar potência de 5% para a descida, que além de ser mais confortável para o usuário, apresentou o menor número de falhas no teste. Para a subida, sugere-se utilizar 70% da potência do motor.

Uma vez concluído esse projeto, o próximo passo será fazer um protótipo impresso em uma impressora 3D e automatizar o exoesqueleto com sensores e motores dispensando o uso do kit de programação LEGO NXT. Desse modo, a partir do protótipo serão realizadas modificações estruturais com um acabamento antropomórfico para melhorar o aspecto visual.

No exterior existem diversas pesquisas na área de reabilitação, por exemplo, um exoesqueleto para membros superiores biônico pneumático [8] e um exoesqueleto feito em impressora 3D chamado Titan Arm que ajuda pacientes com limitações motoras a levantar objetos pesados [9]. O Brasil ainda está iniciando em desenvolvimento de exoesqueleto para reabilitação de membros superiores, de modo que é necessário o desenvolvimento de mais pesquisas relacionadas com a busca de soluções inteligentes e acessíveis para melhorar a qualidade de vida da população que necessita de reabilitação.

Conclusão

O protótipo mostrou-se satisfatório nos testes realizados com o protótipo de braço de 150g. Para tornar o protótipo de fato um equipamento para o uso

em terapia assistiva, deve-se aprimorá-lo, utilizando materiais que apresentem maior resistência e motores com maior torque, para que seja capaz de suportar o real peso de um braço e executar corretamente os movimentos de flexão e extensão.

Referências

- [1] IBGE. Censo demográfico: 2010: características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. Rio de Janeiro, 2010.
- [2] Reinkensmeyer D, Kahn L, Averbach M, et al. Understanding and promoting arm movement recovery after chronic brain injury: Progress with the ARM Guide, *Journal of Rehabilitation Research & Development*; 2000.
- [3] Fusaro I, Orsini S, Kantar SS. Elbow rehabilitation in traumatic pathology. *Musculoskelet Surg*; 2014. 98 (Suppl 1): S95-S102.
- [4] Netter FH. Atlas de anatomia humana. 5ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2008, 638p.
- [5] Callegaro AM. Desenvolvimento de um equipamento computadorizado de movimentação passiva contínua para cotovelo e antebraço. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, RS; 2010.
- [6] Brewer BR, McDowell SC, Worthen-Chaudhari LC. Poststroke upper extremity rehabilitation: a review of robotic systems and clinical results, *Top. Stroke Rehabilitation*; 2007, 22-44.
- [7] Singer RD, Trickey EA. Electronic range of motion apparatus, for orthosis, prothesis, and com machine. US. United States Patent. 1993.
- [8] KOBAYASHI, Hiroshi. Muscle Suit. Tokyo University of Science, Tóquio; 2009.
- [9] BEATTIE, Elizabeth . MCGRILL, Nick. PARROTA, Nick. VLADIMIROV, Niko. Titan Arm. University of Pennsylvania, Pensilvânia; 2012.