

PROTÓTIPO DA ESTRUTURA ROBÓTICA 3-RRR PARA REABILITAÇÃO DA MÃO HUMANA

L. S. Furtado* e R. S. Gonçalves**

*Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia, Brasil

**Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, Brasil

lofurtado@gmail.com

Resumo: Neste trabalho é apresentado uma estrutura robótica paralela 3-RRR para a reabilitação da mão humana, o qual tem como justificativa a grande quantidade de pessoas que tem os movimentos limitados por terem sofrido algum tipo de lesão no membro superior. Esta estrutura deve permitir a realização dos movimentos de reabilitação/recuperação dos dedos e do punho em função da cinesiologia da mão. Assim, é apresentada a cinesiologia/dimensões dos dedos, o modelo matemático e o espaço de trabalho do dedo. É descrito também a estrutura robótica que é proposta neste trabalho, o sistema de controle utilizado, simulações gráficas mostrando a viabilidade de aplicação da estrutura e os testes experimentais realizados. A estrutura permitirá, a partir dos movimentos de reabilitação executados, sendo estes orientados por um profissional da saúde habilitado, ao paciente a capacidade de recuperar movimentos que antes eram limitados devido a alguma lesão.

Palavras-chave: Robótica, reabilitação, mão humana.

Abstract: *This paper presents a parallel robotic structure 3-RRR to the rehabilitation of the human hand, which is justified by the large amount of people who suffered any type of injury and/or accidents that limit the movements of the hand. This structure should allow the achievement of rehabilitation/recovery movements of the fingers depending on the kinesiology of the hand. Thus, is presented the kinesiology/dimensions of the fingers, the mathematical model and the workspace of the finger. It's also described the robotic structure proposed, the system of control used, graphic simulations showing the feasibility and the experimental tests carried out. The structure will give to the patient the ability to perform movements that were previously limited due to an injury, through recover movements, which has to be guided by a professional.*

Keywords: *Robotic, rehabilitation, human hand.*

Introdução

Uma das aplicações da robótica na medicina é no desenvolvimento de dispositivos para auxiliar na reabilitação da mão e do punho humano. Os dispositivos de reabilitação para membros superiores tiveram um grande avanço nos últimos anos, mas o desenvolvimento destas estruturas para que reproduza fielmente os

movimentos da mão humana é uma tarefa complexa devido ao fato da mão humana ser composta por vinte e sete ossos, dezessete articulações, dezenove músculos e várias terminações nervosas [1].

O objetivo da reabilitação de membros superiores através de dispositivos, não é substituir o profissional da saúde, mas auxiliar nas tarefas de reabilitação e maximizar a função residual de um paciente que foi submetido a uma cirurgia ou teve uma lesão ou doença na mão. Para esta aplicação, a lesão a ser tratada é de baixo grau, ou seja, o paciente possui movimentos, porém, eles são limitados.

Os dispositivos existentes para a reabilitação da mão humana podem ser classificados em: estruturas robóticas seriais como por exemplo em [2]; mecanismos articulados, como visto em [3]; estruturas robóticas paralelas, apresentada em [4] e estruturas paralelas atuadas por cabos, exemplificado em [5]. Existem também estruturas robóticas “vestíveis” que a partir da movimentação de cabos podem promover a movimentação dos dedos [6].

Neste trabalho é proposto a utilização de uma estrutura robótica paralela 3-RRR. Esta estrutura executará os principais movimentos necessários para a recuperação dos dedos e do punho. A partir dos movimentos de reabilitação, os quais serão orientados pelo profissional da saúde, o paciente será capaz de realizar os movimentos que estavam, anteriormente, debilitados. O objetivo é então proporcionar às pessoas com certa dificuldade motora uma reabilitação aos dedos da mão e também ao punho, visto que esses movimentos são essenciais para a execução de tarefas diárias.

Mão humana

Os movimentos dos dedos da mão podem ser divididos em flexão, extensão, abdução, adução e oposição [7], mostrados na Figura 1.

O dedo humano possui quatro graus de liberdade e é formado por três articulações: metacarpofalângica (MCF), interfalângica proximal (IFP) e interfalângica distal (IFD). Cada articulação possui um grau de liberdade para realizar flexão/extensão, e a articulação MCF possui mais um grau de liberdade para realizar movimentos de abdução/adução (movimentação lateral do dedo).

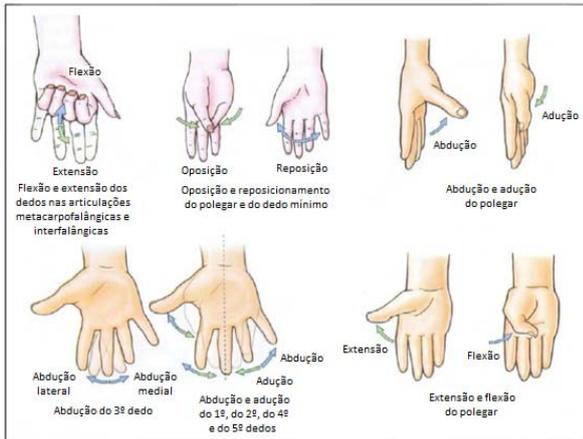


Figura 1: Movimentos dos dedos [7].

Estrutura robótica paralela 3-RRR

Com base no estudo dos movimentos descritos pelas articulações do dedo, desenvolveu-se o projeto de uma estrutura robótica capaz de auxiliar na reabilitação do dedo humano. Para a modelagem do dispositivo proposto, foram adotados os parâmetros de força apresentados em [8], as amplitudes de movimento do dedo humano obtidos em [9], [10] e [11], e as dimensões das falanges retirados de [12].

A partir de diversos tipos de mecanismos articulados, suas capacidades de movimentação e transmissão de esforços, atendendo às limitações definidas para os objetivos do dispositivo proposto e simplicidade de montagem, ou seja, poucos elementos, foi definido que cada falange seria movimentada utilizando-se de uma estrutura robótica paralela 3-RRR.

A estrutura 3-RRR possui três graus de liberdade, o que permite o movimento no plano xy e uma rotação em torno do eixo z. O equacionamento matemático desta estrutura pode ser encontrado em [13].

A partir do modelo da estrutura robótica paralela plana 3-RRR e utilizando-se dos dados adquiridos, foi obtido o espaço de trabalho do dedo dentro dos limites de movimentação da estrutura robótica paralela 3-RRR, o que permitiu realizar o dimensionamento da estrutura.

Foram realizadas simulações gráficas tridimensionais utilizando-se do software SolidWorks®. Estas simulações consistiram em realizar os movimentos de flexão e extensão dos dedos para confirmação do funcionamento esperado da estrutura, viabilizando a montagem física do dispositivo. A partir das simulações, a estrutura proposta permitiu a movimentação de cada falange individualmente, pela fixação das demais, ou o movimento acoplado de todas as falanges. A Figura 2 mostra a sequência de movimentação do dedo indicador.

A estrutura apresentada pode ser também utilizada para a reabilitação do punho, visto que o movimento de flexão e extensão pode ser desempenhado com a fixação da mão como um todo, Figura 3.

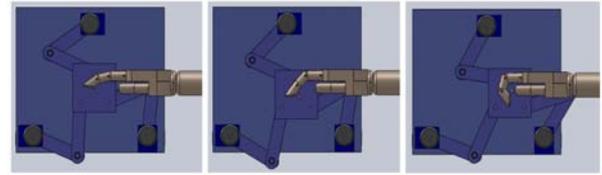


Figura 2: Flexão do dedo indicador.

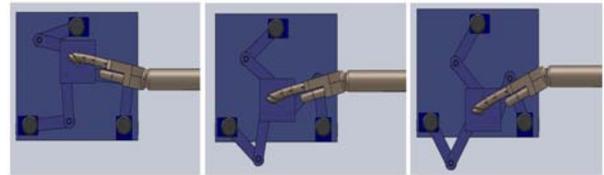


Figura 3: Flexão do punho.

Esta estrutura executará os principais movimentos necessários para a recuperação dos dedos por meio de um sistema de controle comercial que é feito pelo microcontrolador BIOLOID ROBOTIS CM-5 que controla três servomotores Dynamixel AX 12A. Esse microcontrolador é projetado para armazenar e executar programas para controle de estruturas que usam os servomotores Dynamixel série AX. Cada motor possui um encoder, o que permite quantificar e salvar os valores de cada posição do movimento desejado.

O Dynamixel série AX-12, Figura 4, é um atuador modular inteligente que incorpora um redutor, um motor DC de precisão e um circuito de controle com a funcionalidade de rede. Apesar de seu tamanho compacto, pode produzir torque elevado e é feito com materiais de alta qualidade para fornecer a força necessária e resistência estrutural para suportar grandes forças externas.

Como o objetivo do dispositivo é auxiliar os profissionais da saúde nos exercícios de reabilitação da mão humana, o mesmo irá acoplar o dedo ou a mão do paciente e ensinar o movimento à estrutura passo a passo, para que assim, seja enviado ao programa do microcontrolador as posições dos motores referente a cada movimento, e posteriormente, após esses dados serem armazenados, a trajetória ensinada pelo profissional seja repetida pelo controle da estrutura robótica paralela 3-RRR. Para cada paciente, de acordo com o grau da lesão, os movimentos a serem desempenhados podem ser diferentes.

A trajetória fornecida pelo profissional da saúde permite calcular o modelo matemático geométrico inverso da estrutura robótica. Esses valores são guardados como sendo as coordenadas articulares da estrutura, e posteriormente o mecanismo executa o modelo geométrico direto, ou seja, lê os valores dos encoders e o sistema de controle atua desempenhando a trajetória.

A Figura 4 mostra a estrutura desenvolvida juntamente com os motores e o microcontrolador utilizado para o sistema de controle.

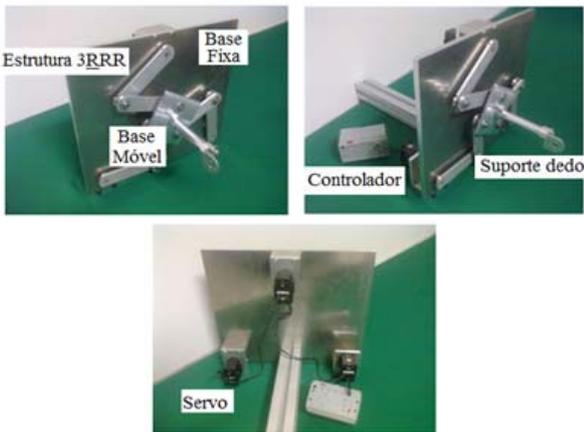


Figura 4: Estrutura robótica 3-RRR.

Testes experimentais

Foram realizados testes experimentais preliminares em uma mão de madeira de um boneco antropomórfico e antropométrico para verificação do sistema e também verificação do comportamento e funcionamento da estrutura aplicada à reabilitação dos dedos e do punho.

Para todos os testes, foi adotado o procedimento descrito na seção anterior, e os mesmos consistiram em realizar movimentos de flexão e extensão dos dedos indicador e polegar, e também movimentos de adução e abdução do dedo indicador. Por meio do sistema de controle utilizado, foi possível armazenar as posições de cada encoder em cada movimento executado, e assim, repetir quantas vezes o profissional da saúde desejasse, podendo também alterar a velocidade do movimento.

Um exemplo de trajetória executada é mostrada na Tabela 1, onde os valores dos encoders são apresentados. As posições de 1 a 4 mostradas na tabela são referentes aos ângulos em cada parte do movimento. Nesse exemplo apresentado, dividiu-se o movimento de flexão e extensão em 4 partes. Quando colocados juntos, esses ângulos se tornam uma sequência, e essa sequência é o movimento final executado. A sequência mostrada foi repetida em três ciclos, proporcionando assim, o movimento de flexão e extensão do dedo.

Tabela 1: Ângulos dos encoders para realização experimental do movimento de flexão e extensão.

	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
01	57,5°	30°	46°	56°
02	0,6°	13,5°	26°	0°
03	90°	96°	81°	86°

Dessa forma, o movimento combinado dos três motores representa uma posição final da plataforma móvel da estrutura robótica 3-RRR. Para cada conjunto de movimentos, foram adotadas posições diferentes, devido ao fato desses valores serem de acordo com cada dedo a ser reabilitado e também para o movimento final desejado.

A Figura 5 representa o teste de movimento de flexão do dedo indicador.

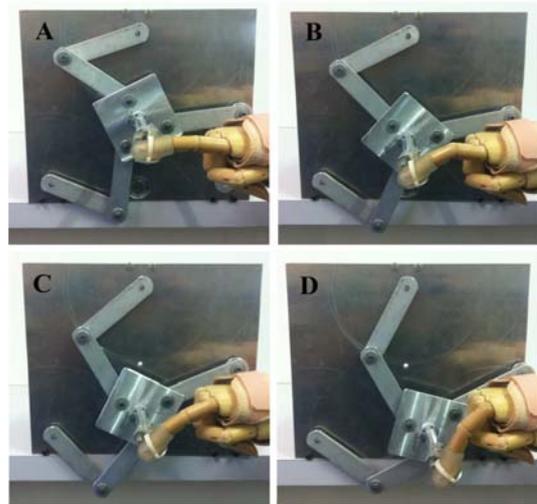


Figura 5: Flexão do dedo indicador.

Foram realizados também testes em pessoas que não possuíam nenhum tipo de lesão, com o intuito apenas de verificar o real funcionamento da estrutura. As Figuras 6 e 7 representam alguns dos movimentos executados.

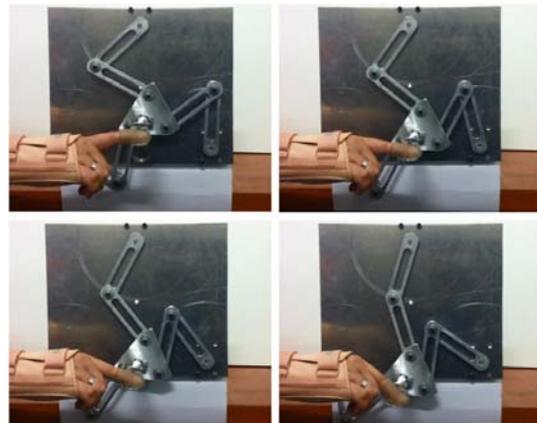


Figura 6: Flexão do dedo indicador.

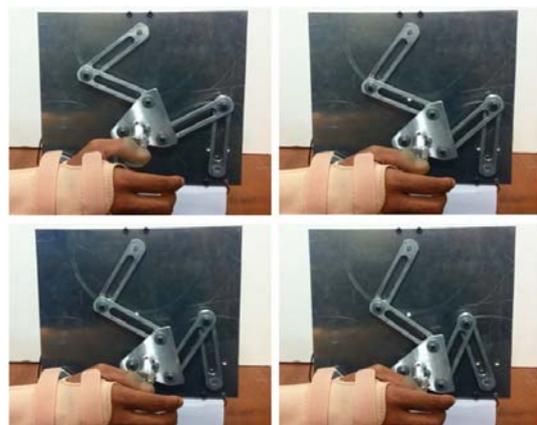


Figura 7: Flexão do polegar.

A Figura 8 representa os testes de movimento de reabilitação para o punho.

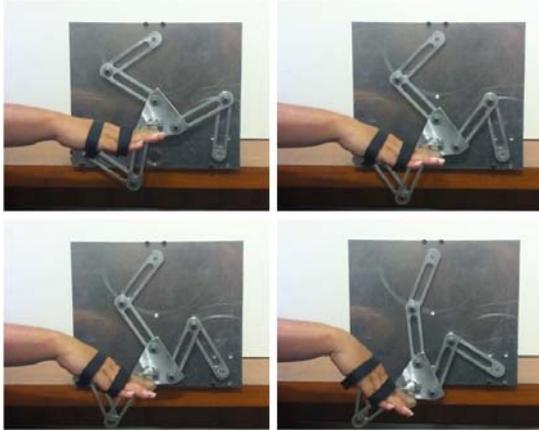


Figura 8: Flexão do punho.

Resultados e discussão

Os testes aplicados mostraram que a estrutura atendeu ao objetivo de repetibilidade, onde a trajetória executada foi a mesma que a ensinada pelo profissional da saúde. A estrutura proposta atende aos requisitos básicos de promover a reabilitação no dedo e no punho através da repetição de movimentos determinados, como flexão e extensão, adução e abdução, possibilitando uma melhora do paciente, ou seja, a lesão, que não é severa, e sim, apenas uma limitação, é minimizada, o que permite uma maior amplitude dos movimentos da mão para executar tarefas do cotidiano com mais conforto e precisão.

Conclusão

Neste trabalho é apresentado um dispositivo que utiliza uma estrutura robótica paralela 3-RRR que tem como finalidade proporcionar às pessoas com alguma dificuldade motora uma reabilitação da mão humana.

O objetivo da estrutura proposta é auxiliar o profissional da saúde na área de reabilitação, no qual este irá orientar os movimentos necessários à reabilitação e o equipamento irá armazenar os dados e reproduzir esses movimentos.

A partir dos testes, foi possível demonstrar a aplicabilidade e a funcionalidade do dispositivo proposto, visto que o mesmo desempenhou os comandos desejados, ou seja, a estrutura reproduziu e executou os movimentos ensinados a ela, atendendo ao objetivo de repetibilidade esperado.

Para trabalhos futuros, sugere-se a medição da repetibilidade da estrutura a partir de trajetórias pré-determinadas e a realização de testes com seres humanos que possuem lesão de baixo grau na mão.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UFU, FEMEC, CNPq, CAPES, e FAPEMIG pelo apoio financeiro parcial deste trabalho de pesquisa.

Referências

- [1] Silva AL. Desenvolvimento de um Sistema para Reabilitação de Dedos [dissertação]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2011.
- [2] Hioki, M.; Kawasaki, H. Finger Rehabilitation System Using Multi-fingered Haptic Interface Robot Controlled by Surface Electromyogram, IEEE, 2010.
- [3] Ho, N. S. K.; Tong, K. Y.; Hu, X. L.; Fung, K. L.; Wei, X. J.; Rong, W.; Susanto, E. A. An EMG-driven Exoskeleton Hand Robotic Training Device on Chronic Stroke Subjects, 2011.
- [4] Lamercy, O.; Dovat, L.; Yun, H.; Wee, S. K.; Kuah, C.; Chua, K.; Gassert, R.; Milner, T.; Leong, T. C.; Burdet, E. Rehabilitation of Grasping and Forearm Pronation/Supination with The Haptic Knob, IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics. Kyoto, Japan, 2009.
- [5] Dovat, L. HandCARE: A Cable-Actuated Rehabilitation System to Train Hand Function After Stroke, IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2008.
- [6] In, H.; Cho, K. J.; Kim, K.; Lee, B. Jointless Structure and Under-Actuation Mechanism for Compact Hand Exoskeleton, 2011.
- [7] Moore KL, Dalley AF. Anatomia Orientada para a Clínica. 5ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2007.
- [8] Fu Y, Wang P, Wang S. Development of a Multi-DOF Exoskeleton Based Machine for Injured Fingers. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems; 2008.
- [9] Kapandji AI. Fisiologia Articular. 5ª ed. v 1. Pinheiros: Panamericana; 2000.
- [10] Floyd RT, Thompson CW. Manual de Cinesiologia Estrutural. 14ª ed. Barueri: Editora Manole LTDA; 2002.
- [11] Levangie PK, Norkin CC. Joint Structure and Function: A Comprehensive Analysis. 4ª ed. Philadelphia: F. A. Davis Company; 2005.
- [12] Wu JZ, Dong RG, Mcdowell TW, Welcome DE. Modeling the Finger Joint Moments in a Hand at the Maximal Isometric Grip: The Effects of Friction. Medical Engineering and Physics; 2009. v 31. issue 10. p. 1214-1218.
- [13] Tsai LW. Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators. New York: John Wiley & Sons; 1999. p. 260-297.