
ESTRUTURA ROBÓTICA PARA REABILITAÇÃO DA MÃO HUMANA

I. P. C. Borges*, L. S. Furtado*, R. S. Gonçalves**

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

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

isabella.cintra@hotmail.com

Abstract: This paper presents a parallel robotic structure 3RRR to the rehabilitation of the fingers and wrist of the human hand, which has to justify the large amount of people who suffered any type of brain injury and/or accidents that limit the movements of the hand. This structure should allow the achievement of movement rehabilitation/recovery of the fingers and wrist according to the kinesiology of the hand. So first robotic structures are shown applied to rehabilitation of the hand and kinesiology/size of the finger and wrist. Then the mathematical model of the finger and your workspace are presented. Following the proposed structure is described in this paper. Finally graphic simulations are presented showing the feasibility of applying robotic structure proposal.

Palavras-chave: Mão humana, reabilitação, robótica.

Introdução

Uma das aplicações da robótica na medicina é no desenvolvimento de dispositivos para auxiliar na reabilitação da mão humana, pois deficiências sensoriais após um acidente vascular cerebral alteram a percepção de toque, pressão, pinça, forma, posição, dor entre outros. Os dispositivos de reabilitação para membros superiores tiveram um grande avanço nos últimos anos, mas o desenvolvimento de um destes 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 uma infinidade de 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 ou no membro superior. Assim, o profissional da saúde realiza a movimentação do dedo do paciente acoplado ao equipamento e depois estes serão reproduzidos pelo equipamento em uma determinada quantidade de ciclos. Os dados da fisioterapia do paciente serão armazenados permitindo a quantificação da melhora deste. A força e a resistência muscular devem ser aumentadas aos poucos. O paciente precisa ter amplitude de movimento quase completa e estar

relativamente sem dor antes de iniciar um programa de fortalecimento. Os exercícios de resistência manual são importantes no fortalecimento inicial. Aumentos graduais no número de repetições do exercício aumentam a resistência à fadiga; do mesmo modo, aumentos lentos na resistência podem aumentar a força. O paciente pode realizar atividades da vida diária ou atividades funcionais especiais, ampliando aos poucos o tempo gasto nelas; contudo, a atividade ou o exercício não devem causar dor, desconforto muscular incomum ou sinais de uso excessivo [2]. Assim, um equipamento robótico para reabilitação pode auxiliar na melhoria destes parâmetros.

Na reabilitação são executados movimentos de coordenação. Coordenação é a habilidade para controlar o movimento correta e prontamente. Os exercícios de coordenação são usados para melhorar a função do membro superior por meio de atividades de coordenação grossa e fina. O segredo para a melhora da coordenação é o desempenho apropriado com muitas repetições de uma atividade apropriada. Os movimentos têm de ser suaves e relaxados. Essas atividades não devem ser continuadas até o ponto de fadiga ou dor. Se a velocidade e a precisão do movimento diminuírem, os exercícios deverão ser interrompidos. Ao realizar exercícios de coordenação o paciente deverá repousar frequentemente para relaxar as articulações e os músculos. Os exercícios de coordenação devem começar em um nível tolerável e então ser aumentados à medida que as tarefas de coordenação aumentem. Os exercícios de coordenação podem ser melhorados aumentando a velocidade, mudando o tamanho dos objetos usados ou incorporando ferramentas nas atividades. Os exercícios e as atividades de coordenação não devem ser feitos se a qualidade de movimento estiver comprometida a coordenação pode ser melhorada apenas com a prática [2]. Desta forma o equipamento proposto neste trabalho permitirá a melhora da coordenação.

Neste trabalho é proposto a utilização de uma estrutura robótica paralela 3RR com o objetivo de proporcionar às pessoas com certa dificuldade motora uma reabilitação aos dedos da mão, visto que esses movimentos são essenciais para a execução de tarefas diárias. Esta estrutura executará os principais movimentos necessários para a recuperação dos dedos.

Mão Humana

Os movimentos da mão podem ser divididos [1].

a) Flexão: indica uma variação angular no sentido de fechamento da mão;

b) Extensão: indica uma variação angular no sentido contrário ao do fechamento da mão. A extensão de um membro ou parte dele além da posição anatômica é denominada de hiperextensão;

c) Abdução: movimento de afastamento dos dedos da mão em relação ao 3º dedo (médio) em posição neutra. O 3º dedo da mão abduz medial ou lateralmente em relação à posição neutra;

d) Adução: movimento de reaproximação dos dedos da mão afastados ou movimento dos outros dedos em direção à posição neutra do 3º dedo. O dedo abduzido, medial ou lateralmente, é aduzido de volta à posição neutra;

e) Oposição: movimento pelo qual a polpa do 1º dedo (polegar) é aproximada da polpa de outro dedo. O reposicionamento descreve o movimento de retorno do 1º dedo da posição de oposição para sua posição anatômica.

Pode-se observar esses movimentos na Figura 1.

Em relação à amplitude dos movimentos dos dedos, às medidas dos mesmos e à força necessária para execução de tarefas realizadas pelas mãos, as bibliografias são diversas, porém grande parte delas não é completa em suas análises individuais [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).

Assim, um dedo pode ser visto como uma estrutura robótica serial onde a base pode ser considerada como sendo a mão e o elemento terminar a ponta do dedo, conforme esquema da Figura 2.

Desta forma, a análise do dedo, com exceção do polegar, é similar, sendo escolhido o dedo indicador para a definição e modelagem da estrutura do dispositivo robótico.

As posições esquemáticas das articulações do dedo e das falanges proximal (L_p), média (L_m) e distal (L_d) encontram-se na Figura 2.

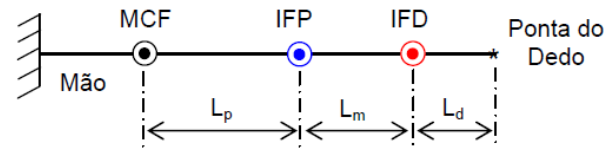


Figura 2: Posições esquemáticas das articulações das falanges de um dedo genérico [1].

Para a modelagem do dispositivo proposto, os parâmetros de força foram baseados nos trabalhos de [4], e as amplitudes de movimento em [5], [6] e [7], conforme apresentado na Tabela 1. As dimensões das falanges foram obtidas em [8], mostrado na Tabela 2.

Tabela 1: Amplitude de movimento e força de movimento para flexão.

Dedo Indicador	Articulação	Movimento (graus)	MCF	IFP	IFD
			Flexão	0 – 90	0 – 110
	Hiperextensão	0 – 40	inexistente	0 – 5	
Força Motriz (N)	Máxima		35,0	20,0	16,1
	Mínima		11,0	9,0	7,0
	Média		23,0	14,5	11,5

Tabela 2: Dimensões das seções das falanges do dedo indicador em mm.

Falange	Proximal	Méida	Distal
Comprimento	43,4	25,3	17,0
Largura	17,8	16,8	15,2
Espessura	17,4	14,8	12,6

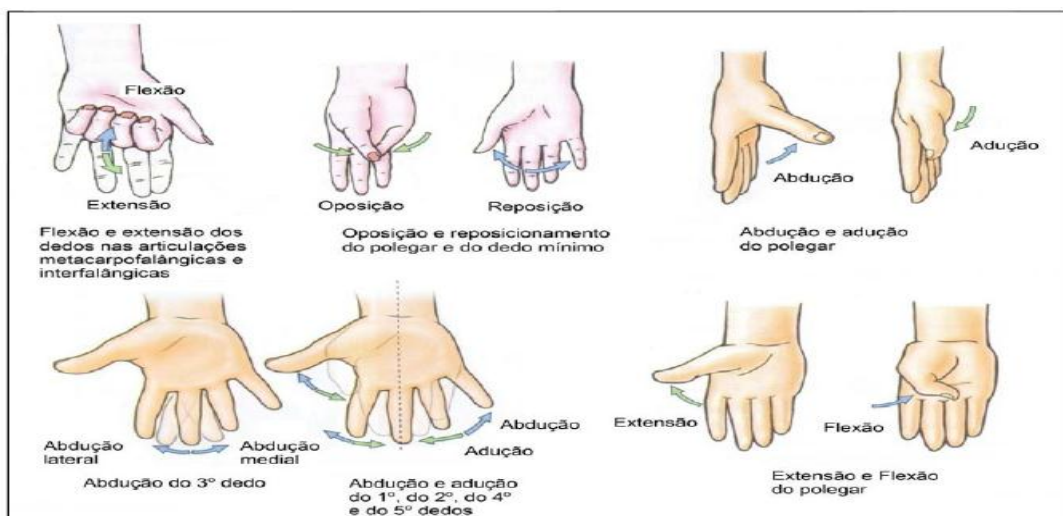


Figura 1: Movimentos dos dedos [3].

A fronteira exterior de todos os pontos que o dedo pode alcançar com sua ponta define seu espaço de trabalho. Este espaço depende somente dos comprimentos das falanges do dedo e das amplitudes de movimentação de cada articulação (junta).

Para determinar o espaço de trabalho de dedo analisado, a movimentação foi considerada em um plano, ou seja, flexão e extensão para as três articulações. A Figura 3 apresenta um esquema de um dedo genérico para estabelecer a localização da ponta do dedo, definida pelo ponto P, e os referenciais cartesianos associados a cada articulação. O eixo MCF-X0 representa o dedo na posição anatômica.

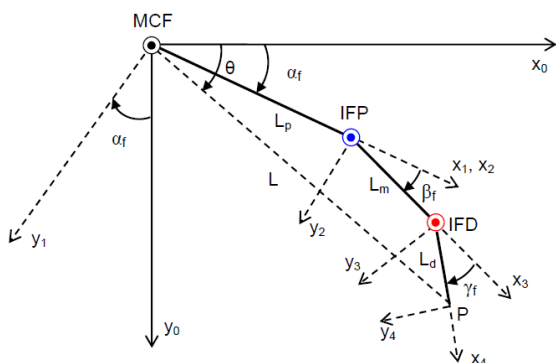


Figura 3: Dedo genérico em flexão [1].

Utilizando as matrizes de transformação homogênea [9], pode-se obter as coordenadas x e y relativas à extremidade do dedo, ponto P, a partir da articulação metacarpofalângica.

$$x = L_p \cos(\alpha_1) + L_m \cos(\alpha_1 + \beta_1) + L_d \cos(\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1) \quad (1)$$

$$y = L_p \sin(\alpha_1) + L_m \sin(\alpha_1 + \beta_1) + L_d \sin(\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1) \quad (2)$$

Utilizando-se dos dados das Tabelas 1 e 2 e as Equações 1 e 2, obtém-se o espaço de trabalho mostrado na Figura 4.

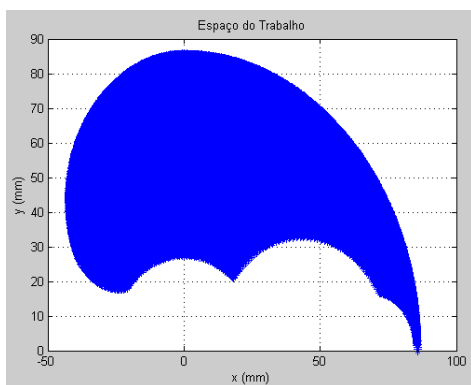


Figura 4: Espaço de trabalho do dedo indicador.

Estrutura robótica paralela 3RRR para reabilitação da mão humana

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 3RRR, Figura 8.

A estrutura 3RRR 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 [9].

Em função do espaço de trabalho do dedo humano, Figura 4, foram determinadas as dimensões da estrutura robótica paralela 3RRR.

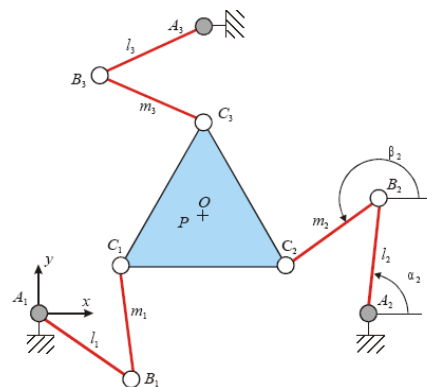


Figura 8: Estrutura robótica paralela 3RRR [10].

Foram realizadas simulações no qual o espaço de trabalho do dedo fosse contemplado dentro dos limites de movimentação da estrutura robótica paralela 3RRR, conforme Figura 9.

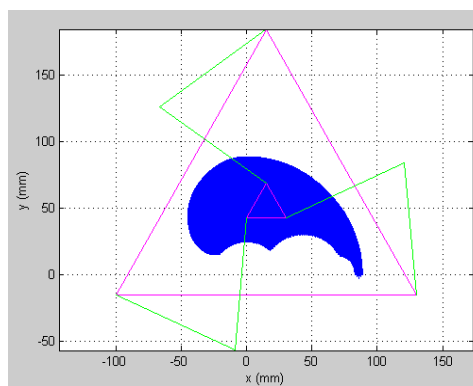


Figura 9: Estrutura robótica paralela 3RRR e espaço de trabalho do dedo indicador humano.

A falange do dedo do paciente será fixada à estrutura 3RRR através de uma haste. O objetivo do dispositivo é auxiliar os profissionais da saúde nos exercícios de reabilitação da mão humana e não substituí-los. Desta forma o profissional da saúde irá acoplar o dedo ou a mão do paciente e ensinar o movimento a estrutura. A partir de encoders estes valores de coordenadas articulares serão armazenados e repetidos pelo controle

da estrutura robótica paralela 3RRR. Desta forma os modelos matemáticos da estrutura serial do dedo humano e da estrutura paralela 3RRR são acoplados. O dispositivo é mostrado na Figura 10.

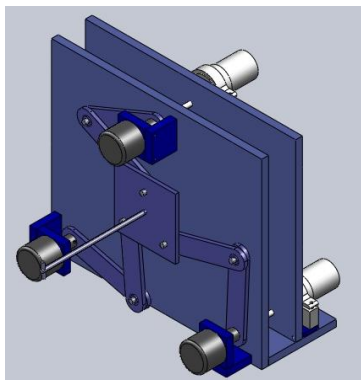


Figura 10: Estrutura paralela 3RRR.

Resultados

Foram realizadas simulações gráficas tridimensional utilizando-se do software SolidWorks®. A Figura 11 mostra a sequência de movimentação do dedo indicador.

A partir das simulações gráficas a estrutura proposta neste trabalho permitirá a movimentação de cada falange individualmente, pela fixação das demais, ou o movimento acoplado de todas as falanges.

Conclusão

Neste trabalho é apresentado um dispositivo que utiliza uma estrutura robótica paralela 3RRR para ser aplicado na reabilitação da mão humana.

O dispositivo proposto tem como finalidade proporcionar às pessoas com alguma dificuldade motora uma reabilitação aos dedos da mão, visto que esses movimentos são essenciais para a execução de tarefas diárias.

O objetivo desta estrutura é auxiliar o profissional da saúde na área de reabilitação. Este irá orientar os movimentos necessários à reabilitação e o equipamento irá reproduzir os movimentos.

O estudo deste dispositivo foi conduzindo levando-se em consideração o cuidado para não lesionar ainda mais os dedos do paciente.

Foi feito um estudo de todos os movimentos que os dedos desempenham e o tipo de movimento adequado para o início da reabilitação, os graus de liberdade e o espaço de trabalho do dedo.

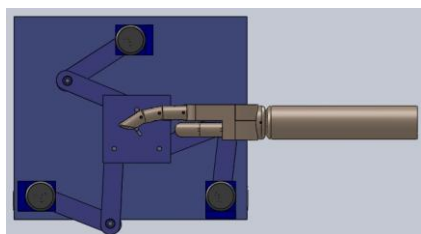
Este dispositivo permite a reabilitação de cada falange separadamente, considerando as outras fixas, ou a reabilitação do dedo com os movimentos combinados das falanges.

A partir de simulações gráficas tridimensionais foi possível demonstrar a aplicabilidade do dispositivo proposto.

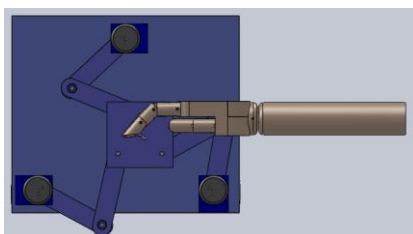
As próximas etapas envolvem a construção do dispositivo e testes experimentais que serão realizados em uma mão de madeira de um boneco antropomórfico e antropométrico.

Referências

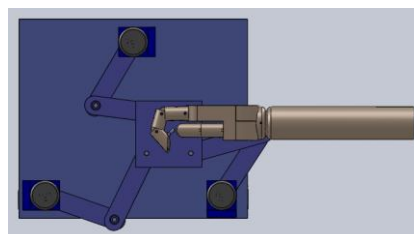
- [1] Silva, A. L. (2011), Desenvolvimento de um Sistema para Reabilitação de Dedos, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- [2] Delisa, Gans, (2000), Tratado de Medicina de Reabilitação, Ed. Manole, 3ª ed., vol. 2.
- [3] Moore, K. L.; Dalley, A. F. (2007), Anatomia Orientada para a Clínica, 5ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- [4] Fu, Y., Wang, P., Wang, S. (2008), Development of a Multi-DOF Exoskeleton Based Machine for Injured Fingers, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- [5] Kapandji, A. I. (2000), Fisiologia Articular, 5ed. v. 1., Pinheiros, SP: Panamericana.
- [6] Floyd, R. T.; Thompson, C. W. (2002), Manual de Cinesiologia Estrutural, 14 ed., Barueri, SP: Editora Manole LTDA.
- [7] Levangie, P. K.; Norkin, C. C. (2005), Joint Structure and Function: A Comprehensive Analysis, 4 ed., Philadelphia: F. A. Davis Company.
- [8] Wu, J. Z.; Dong, R. G.; Mcdowell, T. W.; Welcome, D. E. (2009), Modeling the Finger Joint Moments in a Hand at the Maximal Isometric Grip: The Effects of Friction, Medical Engineering and Physics v 31, issue 10, p 1214-1218.
- [9] Tsai, L.W. (1999), Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators, John Wiley & Sons, New York, pp.260-297.
- [10] Chablat, W. D.; Wenger, P. (2004), The Kinematic Analysis of a Symmetrical Three-Degree-of-Freedom Planar Parallel Manipulator, Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, pp. 1-7.



(a)



(b)



(c)

Figura 11: (a), (b) e (c) Flexão do dedo indicador.