

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE MPC AQUÁTICO PARA REABILITAÇÃO DO MEMBRO INFERIOR HUMANO

Isabella de Paula Cintra Borges, isabella.cintra@hotmail.com

João Carlos Mendes Carvalho, jcmendes@mecanica.ufu.br

Rogério Sales Gonçalves, rsgoncalves@mecanica.ufu.br

O objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo que auxiliará o profissional da saúde na área de reabilitação. O dispositivo será para o meio aquático e realizará Movimentação Passiva Contínua (MPC) do membro inferior humano proporcionando às pessoas que sofreram alguma lesão, a reabilitação. Para o desenvolvimento do dispositivo foi feita uma revisão bibliográfica sobre os dispositivos de MPC, sobre a água e os dispositivos existentes para esse meio, foi feita também a modelagem matemática e a simulação em software 3D. Em seguida foi contruído o protótipo e feito o teste experimental em um boneco antropométrico.

Palavras chave: Reabilitação, membro inferior, aquático, dispositivo.

1. INTRODUÇÃO

O ser humano sempre busca aperfeiçoar toda e qualquer atividade indispensável em sua vida, buscando realizá-las em curto prazo, com menor esforço, com maior qualidade de vida e máxima segurança. Com o desenvolvimento, vem surgindo cada vez mais estudos de máquinas e robôs que são capazes de realizar parcial ou totalmente as atividades antes realizadas pelo homem.

A tecnologia de dispositivos robóticos em aplicações médicas está cada vez mais em ascensão, e essa integração das engenharias e ciências médicas, está possibilitando o desenvolvimento de técnicas e processos que só tendem a aumentar a qualidade de vida daquelas pessoas que, por exemplo, tenham problema de deficiência locomotiva, muitas vezes causados por acidentes ou doenças. Esses dispositivos robóticos permitem que a prática de tarefas específicas sejam reproduzidas diversas vezes, de forma controlada e confiável, e está sendo mostrado na literatura como fator determinante para a facilitação da reorganização cortical, com consequente aumento da capacidade motora e melhora do desempenho das atividades funcionais (Araújo, 2011).

Para auxiliar o trabalho de profissionais da saúde e a recuperação/ reabilitação de pacientes, empresas têm investido bastante no desenvolvimento de dispositivos robóticos. Esses dispositivos para reabilitação permitem a criação de novos métodos para o reaprendizado dos movimentos dos membros humanos auxiliando os profissionais da saúde (Marques, 2013).

O método de movimentação passiva contínua (MCP) pela definição é um movimento produzido por uma força externa, o qual é realizado numa articulação, parte do corpo, ou tecido, partindo de um espectro de completa imobilização para o movimento contínuo, ininterrupto (Callegaro, 2010).

O principal uso clínico de CPM hoje consiste em evitar a artrofibrose após trauma ou cirurgia de articulações que são propensas a rigidez, tais como o joelho, o cotovelo, e articulações da mão (O'Driscoll, 2000).

Esse artigo propõe o desenvolvimento de um dispositivo robótico aquático que realize o movimento passivo contínuo (MPC), do inglês *Continuous Passive Motion* (CPM), para auxiliar na reabilitação do membro inferior.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item trará uma revisão bibliográfica a cerca da Movimentação Passiva Contínua e da água para fins terapêuticos.

2.1. Revisão bibliográfica de Movimentação Passiva Contínua

O movimento passivo pela definição é um movimento produzido por uma força externa, o qual é realizado numa articulação, parte do corpo, ou tecido, partindo de um espectro de completa imobilização para o movimento contínuo, ininterrupto (Callegaro, 2010).

Algumas das indicações para a aplicação da MPC para o membro inferior em pacientes são:

- ✓ artroplastia total de joelho;
- ✓ artrotomia e drenagem para artrite séptica aguda;
- ✓ fixação rígida interna de uma osteotomia metafísica (por exemplo, artrite do joelho);
- ✓ liberação cirúrgica das contraturas extra-articulares das articulações;

- ✓ ligamentoplastia de joelho.
- ✓ limitação persistente do movimento articular;
- ✓ reconstrução de uma laceração crônica de ligamento usando enxerto de tendão;
- ✓ redução aberta e fixação rígida interna de fraturas intra-articulares com deslocamento;
- ✓ reparo cirúrgico em uma laceração aguda de um ligamento;
- ✓ rigidez articular;
- ✓ substituição articular protética total;

Vale ressaltar que o dispositivo proposto é para o meio aquático. Cabendo ao profissional da saúde viabilizar o uso deste dispositivo de acordo com o trauma do paciente. Por exemplo, pacientes que tenham sofrido fratura exposta e estejam usando fixadores externos não poderão fazer esse tipo de reabilitação, visto que a fixação da estrutura ao paciente fica inviabilizada e também pacientes com aberturas cutâneas, pois a água pode ser um meio contaminador.

A MPC é uma modalidade terapêutica que, indicada corretamente e utilizada dentro de uma amplitude de movimento (ADM) segura, ajuda na redução do edema, na amplitude do movimento pós-operatório, no pós-trauma de lesões articulares e na cicatrização avascular da cartilagem. Os exercícios controlados imediatamente após procedimentos cirúrgicos estimulam a produção de líquido sinovial. Esse líquido sinovial é importante na nutrição e cicatrização da cartilagem e evita a artrose pós-traumática, prevenindo a contratura articular, sem que haja dor e estresse ao tecido em processo de cicatrização (Hebert et. al, 2003).

Karolczak (2006) relata que a imobilização causa alterações musculares bem como diminuição da área da fibra muscular, consequentemente a redução da capacidade de produção de força e alteração na percentagem de fibras predominantes, levando a um aumento do número de fibras de contração rápida. Isto gera alterações funcionais das propriedades mecânicas do músculo e da capacidade deste resistir à fadiga.

Estudos têm demonstrado que a utilização da MPC tem sido eficaz para reabilitação. O principal intuito do uso da MPC está na prevenção do acúmulo de fluido no interstício periarticular. Quando a MPC é aplicada nos dois primeiros estágios da rigidez, a hemorragia e o edema, evita o acúmulo de sangue em torno do joelho que provoca a distensão e perda de conformidade dos tecidos periarticulares, ou seja, se esse sangue for forçado a abandonar a região, a mobilidade do joelho seria imediatamente restaurada. Pode-se então afirmar que a MPC é eficaz na prevenção de rigidez, uma vez que é aplicada imediatamente após a cirurgia e sustentada até que o edema não se forme mais (O'Driscoll, 2000).

A MPC apresenta, na maioria dos artigos publicados, resultados muitos satisfatórios, com redução do tempo de internação hospitalar (Callegarro, 2010) e redução do tempo de reabilitação (Ferreira, 2013).

2.2. Revisão bibliográfica da água para fins terapêuticos

A reabilitação aquática, por meio do emprego de exercícios terapêuticos e utilizando os princípios físicos da água e seus efeitos fisiológicos, pretende proporcionar a cura e a prevenção de doenças, além da promoção da saúde.

As melhorias proporcionadas pela imersão são cientificamente comprovadas. Elas são proporcionadas através das alterações fisiológicas que acontecem devido às propriedades físicas da água, as principais são: a pressão hidrostática, a flutuação, a densidade relativa e a temperatura. A reabilitação aquática proporciona inúmeras vantagens para pacientes, portadores ou não, de independência funcional, mantendo e/ou restaurando a amplitude de movimento (ADM), gerando uma melhora da força muscular, da redução da dor, do condicionamento cardiorrespiratório e aumentando a capacidade aeróbica, melhorando a circulação sanguínea, o equilíbrio locomoção e coordenação, reduzindo a espasticidade, entre outros benefícios (Fornazari, 2012).

Vantagens como as reduções do medo de cair, diminuição da dor e a maior facilidade em movimentar tornam a piscina um meio excelente para restaurar o equilíbrio e a coordenação do paciente.

A propriedade da flutuação é capaz de fornecer apoio completo ao corpo, resultando em efeitos que não são possíveis em terra. A liberdade de movimentação em flutuação ajuda a aumentar a amplitude de movimentação sem a resistência do atrito, que é tão difícil de superar em terra firme. A flutuação também proporciona alívio do peso. O alívio de peso obtido é dependente da proporção do corpo abaixo do nível da água. Se somente a cabeça e pescoço estiverem fora da água, aproximadamente 90% do peso corporal é aliviado. Isto possibilita começar a reeducação da marcha muito mais precocemente do que em terra.

Um dos principais objetivos da fisioterapia aquática é o alívio da dor, devido ao suporte dado na flutuação, que diminui a sensação do peso corporal e a compressão articular, enquanto o Sistema Nervoso Central é estimulado pelos neurônios de relaxamento através de fibras mais largas e mais rápidas que as fibras de condução da dor.

2.3 Modelagem Matemática

Foi feita a modelagem matemática para determinar a posição e a orientação da estrutura. Para cálculo da mesma, utilizou a representação de Denavit-Hartenberg (Tsai, 1999). Tal representação permite tratar qualquer tipo de manipulador de uma maneira sistemática, facilitando a obtenção das equações da cinemática direta de posição.

Para a estrutura será apresentado a seguir o modelo geométrico direto. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra uma representação da estrutura e seus sistemas de coordenada para cada corpo. Sendo O1 a articulação do quadril, O2 articulação do joelho e O3 do tornozelo. A referência utilizada é Oo.

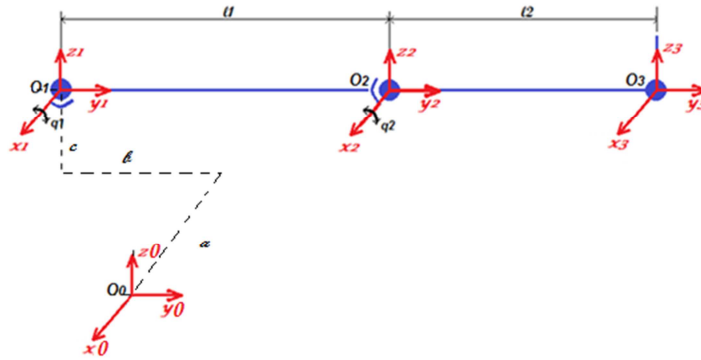


Figure 1 - Estrutura RR analisada.

Para as transformações em relação aos sistemas de coordenadas adotados e mostrados na Figura 1, são utilizadas as matrizes de transformação homogêneas.

As matrizes de transformação 0T_1 , 1T_2 e 2T_3 são mostradas a seguir:

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -a \\ 0 & cq_1 & -sq_1 & -b \\ 0 & sq_1 & cq_1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^1T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & cq_2 & -sq_2 & l_1 \\ 0 & sq_2 & cq_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad e \quad {}^2T_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Onde a, b e c são valores da posição (translação) da articulação do quadril, joelho ou tornozelo em relação ao sistema de referência adotado.

2.3.1 Modelo Geométrico Direto (MGD)

No MGD os valores das coordenadas articulares q_1 , q_2 e q_3 são conhecidas e deseja-se encontrar os valores das coordenadas operacionais para a articulação do joelho x_j , y_j e z_j e as coordenadas operacionais para a articulação do tornozelo x_t , y_t e z_t .

2.3.1.1 Para articulação do joelho

Matriz de orientação da articulação do joelho:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(q_1 + q_2) & -\sin(q_1 + q_2) \\ 0 & \sin(q_1 + q_2) & \cos(q_1 + q_2) \end{bmatrix} \quad (13)$$

Matriz de posição da articulação do joelho:

$$\begin{bmatrix} -a \\ l_1 * \cos(q_1) - b \\ c + l_1 * \sin(q_1) \end{bmatrix} \quad (14)$$

Como os valores de x_j , y_j e z_j já estão em função das coordenadas articulares, bem como a matriz de rotação 0R_2 , esses dois dados fornecem o MGD dessa estrutura, ou seja, sua orientação e sua posição respectivamente.

2.3.1.2 Para articulação do tornozelo

Matriz de orientação da articulação do tornozelo:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(q_1 + q_2) & -\sin(q_1 + q_2) \\ 0 & \sin(q_1 + q_2) & \cos(q_1 + q_2) \end{bmatrix} \quad (18)$$

Matriz de posição da articulação do tornozelo:

$$\begin{bmatrix} -a \\ l_2 * \cos(q_1 + q_2) - b + l_1 * \cos(q_1) \\ c + l_2 * \sin(q_1 + q_2) + l_1 * \sin(q_1) \end{bmatrix} \quad (19)$$

Como os valores de x_t , y_t e z_t já estão em função das coordenadas articulares, bem como a matriz de rotação 0R_3 , esses dois dados fornecem o MGD dessa estrutura, ou seja, sua orientação e sua posição respectivamente.

3. DISPOSITIVO PROPOSTO

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver um dispositivo aquático para reabilitação de pessoas que tenham passado por um trauma nos membros inferiores, de modo que estes recuperem a qualidade de vida, sendo o meio aquático um facilitador do movimento.

Assim, propõe-se a utilização de uma estrutura de movimento passivo contínuo (MPC), para possibilitar uma reabilitação precoce e potencializar a recuperação do paciente. Para o dispositivo proposto não será feito o sistema de controle. Os testes serão realizados com cabos simulando o controle.

O dispositivo será capaz de atender pessoas de ambos os sexos, tamanhos e idades, podendo trabalhar em diversas velocidades e angulações, sendo esses escolhidos pelo profissional da saúde que estiver utilizando a estrutura no paciente. Suas peças serão desenvolvidas em PVC e polietileno, devido ao baixo custo e a ausência de corrosão.

O ajuste da estrutura é feito em relação ao tamanho do membro do paciente. Será feito por um sistema de dois tubos, sendo um dentro do outro possibilitando movimentação telescópica, assim estender ou diminuir.

A Figura 2 representa o dispositivo proposto adaptado ao membro inferior de um manequim. O membro inferior será apoiado em um tecido e fixado por velcros e o pé será fixado a um apoio. Para a realização do movimento de flexão e extensão, propõe-se a utilização de um sistema atuado por cabo onde será utilizado um motor, o qual ficará fora da piscina fixado a um suporte. O motor é utilizado para enrolar e desenrolar o cabo à medida que o movimento vai sendo realizando, fazendo assim a movimentação do membro inferior. O movimento de subida da estrutura se dará por meio do cabo que ligado ao motor fará com que o mesmo enrole possibilitando a subida do membro inferior, e o a roda presente na estrutura deslizará pelo trilho, fixado na base da estrutura, diminuindo o esforço exercido pelo motor para a flexão do membro. No movimento de extensão, será utilizado o próprio peso do membro com o auxílio da roda para realizar o movimento, o motor neste caso vai sustentar o membro e soltá-lo lentamente.

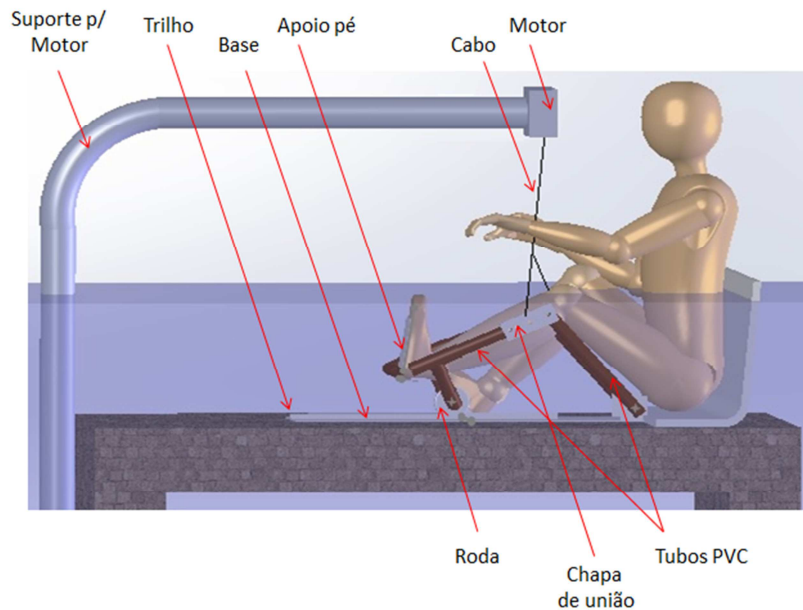


Figura 2 - Dispositivo proposto com manequim.

4. RESULTADOS

Foi feita a construção do protótipo do dispositivo proposto, porém ao se realizar os testes experimentais com um boneco antropométrico com dimensões reais foi possível notar que o dispositivo possuía algumas falhas durante a execução dos movimentos.

O sistema atuado por um cabo não foi suficiente para o funcionamento correto da estrutura, pois o motor era capaz de puxar o membro inferior realizando o movimento de flexão, porém apenas o peso do membro não era suficiente para que o mesmo realizasse a extensão. Houve também um problema relacionado à roda. Devido à estrutura ser para o meio aquático, ela tende a boiar. Será necessário modificar o sistema para um trilho telescópico.

E por fim, foi também verificado que com o peso do membro inferior na estrutura, os tubos de pvc responsáveis pela sustentação do membro, estavam deformando, então fez-se necessário a colocação de uma parte para reforço da estrutura.

A próxima etapa do trabalho é a adequação da estrutura.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho é proposto um dispositivo de Movimentação Passiva Contínua aquático para ser aplicado na reabilitação do membro inferior humano.

O dispositivo proposto tem como finalidade proporcionar às pessoas que tenham sofrido alguma lesão no membro inferior uma reabilitação, visto que esses movimentos são essenciais para a execução de tarefas diárias e qualidade de vida. Este deverá permitir a recuperação dos movimentos e deverá ser acionado por cabos.

O objetivo desta estrutura é auxiliar o profissional da saúde na área de reabilitação.

Foram feitas simulações em software 3D, a fim de demonstrar a aplicabilidade do dispositivo proposto. Após a construção do protótipo foram detectadas falhas, as próximas etapas envolvem ajustes do dispositivo e testes na água com indivíduos saudáveis.

6. REFERÊNCIAS

- Araujo, R. C., Desenvolvimento e avaliação de um sistema de auxílio à reabilitação motora do membro superior após acidente vascular encefálico. 117f. Dissertação (Doutorado em Bioengenharia). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011).
- Callegaro, A., M. Desenvolvimento de um equipamento computadorizado de movimentação passiva contínua para cotovelo e antebraço. (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, 2010.
- Ferreira, A. C. M., et al. Movimentação Passiva Contínua: Conceito e Aplicação.
- Fornazari, L. P., Fisioterapia Aquática E-book - Ciências da Saúde . Universidade Estadual do Centro-Oeste Unicentro, 2012.
- Hebert, S. et al. Ortopedia e traumatologia: princípios e prática. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2003. 1631p.
- Karolczak, A. P. B. Propriedades mecânicas e elétricas dos músculos do cotovelo após imobilização, RS. 2006. 158 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) – Universidade federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Marques, A. B., Desenvolvimento de um dispositivo robótico atuado por cabos para reabilitação do membro inferior humano. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Uberlândia, 2013.
- Tsai, L. W., Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators, IBSN 0-471-32593-7, 1999.
- O'Driscoll, S. Giori, N, J. Continuous passive motion (CPM) : Theory and principles of clinical application. Journal of rehabilitation research and development. 37(2), 179-183.

7. AGRADECIMENTOS

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

8. ABSTRACT

The objective of this paper is to develop a device that helps health professionals in rehabilitation. The device is to water and perform Continuous Passive Motion (CPM) of the human lower limb providing people who have suffered some injury, rehabilitation.

9. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.