

Dispositivo Gerador de Resistência ao Trabalho Muscular

Warner Artur Siquieroli, Laboratório de Projetos Mecânicos da Faculdade de Engenharia Mecânica, UFU, e-mail: wasiquieroli@mecanica.ufu.br, home-page: <http://www.mecanica.ufu.br>.

Cleudmar Amaral de Araújo, Laboratório de Projetos Mecânicos da Faculdade de Engenharia Mecânica, UFU, e-mail: cleudmar@mecanica.ufu.br, home-page: <http://www.mecanica.ufu.br>.

Sílvio Soares dos Santos, Faculdade de Educação Física, UFU, e-mail: silvio@ufu.br, home-page: <http://www.fae.fi.ufu.br/>.

Introdução

As reações adaptativas que ocorrem nos músculos esqueléticos quando sujeitos a um trabalho físico são responsáveis pela melhoria de suas funções.

A melhor forma de se realizarem estes exercícios para que se obtenham os resultados esperados é uma das maiores fronteiras da biomecânica atual. Existe um grau relativamente alto de especificidade nas tarefas envolvidas no movimento humano e na adaptação, que incluem tanto os padrões de movimentos quanto as características da velocidade da força. Todas as adaptações ao treinamento são específicas para o estímulo aplicado. As adaptações fisiológicas para o treinamento são específicas para as ações musculares envolvidas, a velocidade de movimento, a amplitude de movimento, os grupos musculares treinados, os sistemas energéticos envolvidos e a intensidade e volume de treinamento. Embora exista alguma superposição dos efeitos do treinamento, os programas de treinamento resistido mais efetivos são aqueles destinados a alcançar objetivos específicos (Kraemer et al, 2002).

O objetivo deste trabalho é o projeto de um sistema de geração de resistência à contração do músculo esquelético para ser aplicado em máquinas de musculação e fisioterapia. A modelagem do dispositivo proposto utiliza um conjunto mola/seguidor/came para produzir a resistência, dispensando o uso de pesos, cabos, correias ou correntes. O dispositivo é capaz de ajustar dinamicamente o torque resistente, mantendo-o proporcional a um padrão pré-determinado em um movimento com velocidade variável.

Deste modo, espera-se conseguir um modo de solicitar o músculo na mesma velocidade e aceleração que o movimento funcional exige, em toda a extensão da articulação, sem as limitações dos equipamentos convencionais, controlando os efeitos indesejáveis da inércia nas transições excêntrica/concêntrica e concêntrica/excêntrica do exercício. O torque resistente pode ser mantido proporcional ao perfil desejado, na aceleração e velocidade angular prescritas para o treinamento, sendo apenas necessário o uso de um perfil de came para cada situação. Com a utilização deste dispositivo nas máquinas de musculação é possível obter um aumento da segurança, uma seleção mais precisa da carga inicial, incrementos infinitesimais de sobrecarga, uma baixa dissipação de energia por atrito e um melhor comportamento da resistência aplicada para o perfil de movimento

desejado. O custo da produção industrial do mecanismo proposto é semelhante ao das máquinas de pilhas de peso atuais. Foi projetado e construído um torquímetro com goniômetro para o levantamento das curvas de torque para o bíceps humano. O trabalho consiste no desenvolvimento matemático do dispositivo, sua solução numérica e sua modelagem em um software de simulação mecânica.

Desenvolvimento e Modelagem

O torque disponível ($T_m(\theta)$), que o músculo motor pode produzir em cada posição angular (θ) do movimento articular pode ser escrito como:

$$T_m(\theta) = Tr(\theta) + Ti(\theta) \quad (1)$$

Onde, $Tr(\theta)$ é o torque resistente produzido pela ação da mola sobre o came em cada posição angular θ e $Ti(\theta)$ é a somatória dos torques produzidos pelo deslocamento do mecanismo came-seguidor-mola, submetido às acelerações impostas pelo movimento. A determinação de $Tr(\theta)$ depende da análise da geometria do mecanismo proposto. Da análise da Fig. 1 pode-se observar que quanto maior for o ângulo α , maior será a distância entre a direção da componente normal da força elástica F_{en} e o centro de rotação da came, aumentando então o valor do torque resistente. Por outro lado, a diminuição do valor de (α) causa um efeito contrário.

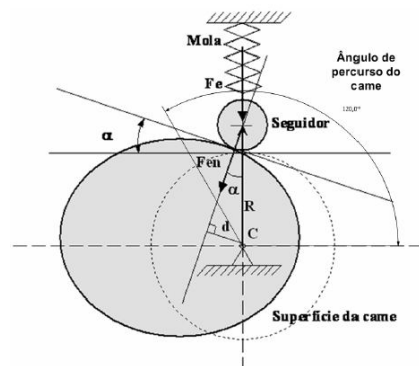


Figura 1: Esquema do Mecanismo

O valor de $Tr(\theta)$ pode ser obtido geometricamente da Fig. 1, ou seja,

$$Tr = Fen d = (Fe \cdot \cos \alpha) \cdot (R \cdot \sin \alpha) \quad (2)$$

Onde, $Fecosa = Fen$

Por sua vez (Fe), a força elástica produzida pelo deslocamento da mola, pode ser escrita como:

$$Fe = Fe_i + Kdy \quad (3)$$

Onde Fe_i é a pré-carga inicial da mola, K é a constante da mola e dy é o deslocamento da mola para cada deslocamento angular $d\theta$ da came.

No caso particular deste modelo, onde a direção da força elástica passa pelo centro da came, pode-se afirmar que a variação do deslocamento da mola é igual a variação da distância do centro do seguidor ao centro da came, ou seja,

$$dy = dR \quad (4)$$

Os valores de K , Fe e R fazem parte das condições iniciais do problema. Desta maneira pode-se concluir que a manipulação dos valores do ângulo de pressão da came α , pode determinar os valores do torque $Tr(\theta)$.

A Figura 2 mostra uma representação esquemática do movimento relativo entre came seguidor de roletes (KLOOMOK e MUFFLEY, 1955).

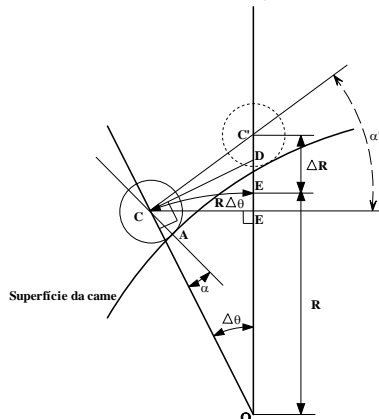


Figura 2: Sistema de came com seguidor de rolete.

Para este modelo, o ângulo α pode ser obtido como:

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \left(\frac{1}{R} \frac{dR}{d\theta} \right) \quad (5)$$

O que leva finalmente a:

$$Tm(\alpha) = (Fe \cdot R) \sin \alpha \cdot \cos \alpha + K(\sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot R^2 \text{tg} \alpha) \Delta \alpha + Ti(\alpha) \quad (6)$$

A solução deste problema foi obtida de forma numérica por um algoritmo em plataforma Matlab®, pois a Eq.(6) não tem solução analítica.

Para o levantamento das curvas de torque produzidas pelo bíceps na articulação do cotovelo, foi construído o torquímetro mostrado na Fig. 3.



Figura 3: Torquímetro e bancada

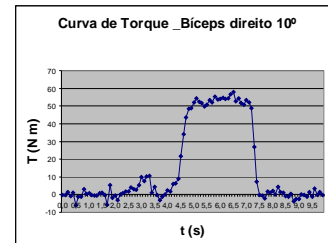


Figura 4: Curva de torque x tempo para o bíceps

O mecanismo teve seu funcionamento testado no software de simulação mecânica ADAM'S®.

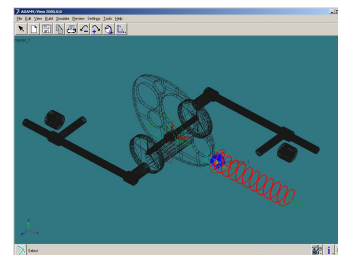


Figura 4: Modelo Gerado para simulação

Conclusão

A utilização do ângulo de pressão do came como base para o controle do torque resistente permitiu que se obtivesse um novo mecanismo, simples, robusto e barato, capaz de oferecer uma nova possibilidade de treinamento onde o músculo pode ser solicitado dinamicamente de forma controlada, por toda a extensão do movimento, seja na fase concêntrica ou excêntrica da contração muscular.

Agradecimentos

Ao CNPq, à CAPES e à FEMEC/UFU.

Referências Bibliográficas

KLOOMOK, M. E. ; MUFFLEY, R. V., Plate Cam Design – Pressure Angle Analysis, Product Engineering, New York, p. 155-171, Maio, 1955.

KRAEMER, WILLIAN J. et al. American College of Sports Medicine Position Stand on Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. Medicine & Science In Sports & Exercise, Vol. 34, No. 2, pp. 364-380, 2002.

ZATISORSKY, V. M. Biomecânica no Esporte: Performance do Desempenho e Prevenção de Lesão, Editora Guanabara Kogan, 2004.