

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DOS PERFIS CINEMÁTICOS DE UM MOVIMENTO DE FLEXÃO DO COTOVELO - UM ESTUDO DE CASO

Thiago Gomes Cardoso, Universidade Federal de Uberlândia, thiagocardosomec@gmail.com

Lucas P. F. de Rezende, Universidade Federal de Uberlândia, lucaspereirafrezende@gmail.com

Márcio Peres Souza, Universidade Federal de Uberlândia, marcioperes@ufu.br

Lidiane Sartini de Oliveira, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, lid.sartini@gmail.com

Resumo. A prática de atividade física é, frequentemente, correlacionada a benefícios à saúde e à qualidade de vida dos indivíduos. Também bastante presente, é a influência que a correta prescrição de um protocolo de treinamento pode trazer aos resultados de força e potência muscular. Dentre os principais parâmetros que devem ser considerados para prescrição de um protocolo de treino adequado estão a velocidade e a sobrecarga dos exercícios. No entanto, equipamentos para treinamento muscular que levem em consideração a variação do torque produzido em uma articulação de acordo com a velocidade do movimento e com a variação da posição angular não são bastante difundidos. Visto isso, o presente trabalho desenvolveu uma metodologia para obtenção dos parâmetros de velocidade e aceleração angular de um gesto motor (a qual se mostrou eficaz para o levantamento dessas características) e apresenta uma primeira proposta de mecanismo que pode ser estudada para que se possa desenvolver um dispositivo de treinamento que gere resistência ao movimento sempre próxima à máxima capacidade de geração de força de um grupo muscular, mesmo em velocidade e posição angulares variáveis com a utilização de um sistema came-mola-seguidor.

Palavras chave: biomecânica, especificidade, treinamento muscular, resistência variável, máximo desempenho.

1. INTRODUÇÃO

Em estudos de (Petrella *et al.*, 2007; García-Pallarés e Izquierdo, 2011; Gurjão, 2012; Reid e Fielding, 2012) é ressaltada a importância do exercício físico ou treinamento muscular para a qualidade de vida de um indivíduo. Outro fato abordado é a importância do treinamento físico para atletas, impactando de forma direta no seu rendimento. Para que isso seja alcançado, é importante a correta manipulação dos parâmetros do próprio treinamento considerando a velocidade do movimento associada diretamente com a força muscular, potência muscular e também hipertrofia.

Ainda com relação ao impacto da velocidade nos treinamentos, devem ser ressaltadas duas observações importantes sobre a relação força-velocidade: a primeira delas é que o torque máximo gerado por um músculo diminui com o aumento da velocidade do movimento (além de variar com a posição angular do gesto motor) e tal fato independe da distribuição do tipo de fibra muscular; em segundo lugar que, para uma dada velocidade de movimento específico, o torque muscular será maior quanto maior o percentual de fibras tipo II no músculo (Foss e Keteyian, 2000). Os autores ressaltam ainda que a potência máxima gerada por um músculo aumenta exponencialmente quando aumentam as velocidades do movimento. Esse aumento se inicia a uma taxa mais alta e decai com o aumento da velocidade. Para qualquer velocidade de movimento, a potência máxima gerada será maior quanto maior for a porcentagem de fibras tipo II (fibras rápidas) no músculo.

Além da velocidade, fatores geométricos também são influentes na produção de torque em uma articulação. Como ressaltado por (Foss e Keteyian, 2000), o ângulo de inserção de um grupo muscular varia no decorrer do movimento; fato que altera a relação de torque na articulação de acordo com a posição angular. Outro ponto a ser analisado é que o nível de força produzido por um músculo varia com a mudança da área de sua seção transversal e também com o seu comprimento (relação comprimento-tensão muscular). Juntos, todos esses fatores atuam de forma a produzir um torque variável na articulação de acordo com a alteração da posição angular.

Todos esses pontos abordados devem ser levados em consideração em um protocolo de treinamento que objetive alta eficiência. Vale ressaltar também que a prescrição de um treinamento muscular deve considerar, sobretudo, o respeito aos princípios básicos como o da individualidade biológica, da adaptação, da sobrecarga e, sobretudo, o da especificidade. Nesse último, é afirmado que os treinamentos musculares devem ser específicos para o gesto motor da prática esportiva que se deseja melhorar, devendo incluir, ainda, considerações sobre o sistema energético predominante, os padrões de movimento e os grupos musculares ativados durante a verdadeira execução da tarefa afetando, dessa forma, diretamente no desempenho da prática.

Diante disso, e entendendo a importância de se manter os perfis de carga e velocidade aos quais se deseja treinar, é necessária, primeiramente, a compreensão específica do movimento a ser treinado, tal como o perfil de velocidade e aceleração para que seja desenvolvido um protocolo de treinamento específico de alta eficiência. Além disso, deve-se buscar formas de se gerar uma resistência ao gesto motor sempre próximo ao máximo torque produzido por um dado grupo muscular considerando, ainda, velocidades e acelerações variáveis no decorrer do movimento atendendo, dessa forma, o princípio da especificidade de forma estrita.

Desse modo, neste estudo, um gesto motor, denominado “*kuzushi*”, foi escolhido para análise cinemática. Desse movimento, utilizado no judô, obter-se-á características cinemáticas como os perfis de velocidade e aceleração. Tais dados poderão ser utilizados para se projetar um sistema de geração de resistência que leve em consideração variação a nas velocidades e acelerações angulares presentes nos gestos motores executados em práticas esportivas, bem como variações no torque resistivo do movimento de acordo com a variação angular do gesto motor. Uma primeira proposta de mecanismo de geração de resistência alternativo e que considere esses perfis de velocidade e torques variáveis também será apresentada neste trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A máxima capacidade de produção de força (ou torque) de um determinado músculo ou grupo muscular varia com a posição angular da articulação (Foss e Keteyian, 2000). Além disso, de acordo com o proposto por (Hill, 1938), não só a posição angular da articulação influencia no nível de força/torque desenvolvidos por um grupo muscular, mas também a velocidade de contração. Neste caso, à medida em que se aumenta a velocidade de contração muscular a força gerada pelo músculo decai de forma exponencial. Esse comportamento é mostrado na Fig. (1).

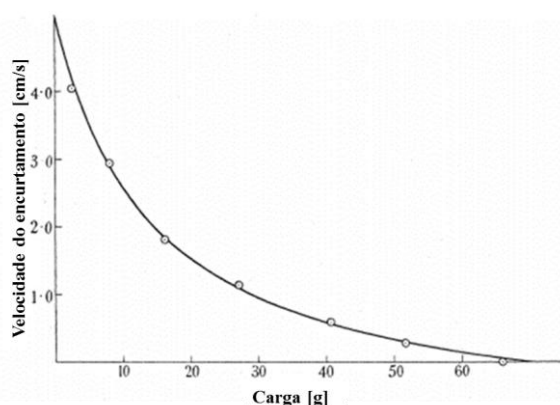


Figura 1. Comportamento típico da diminuição da capacidade de produção de força em um músculo com o aumento da velocidade de contração muscular, Hill (1938)

Foi proposto por (Siquieroli, 2008) e (Souza, 2016) um dispositivo para o treinamento muscular dos flexores do cotovelo que leve em conta influências geométricas (variação da capacidade de geração de torque com a posição angular da articulação) e cinemáticas (variação na capacidade de torque considerando as velocidades e acelerações do gesto). Em uma primeira análise, o alvo principal foi o músculo bíceps braquial o qual é um dos músculos envolvidos no movimento de flexão do cotovelo. O equipamento possibilita regular o torque resistente de acordo com a posição angular da articulação, da velocidade e da aceleração do movimento em cada instante de sua execução. Dessa forma, o equipamento oferece uma resistência ao movimento sempre próxima ao máximo torque disponível no grupo muscular, mesmo com velocidade de contração variável. O dispositivo pode possibilitar o treinamento de determinado gesto motor extraindo sempre a máxima capacidade de produção de força dos grupos musculares envolvidos, desde que sejam conhecidos, *a priori*, os parâmetros cinemáticos do movimento a ser treinado. Para tanto, este trabalho propõe uma metodologia para obtenção da curva de deslocamento angular do cotovelo considerando, como exemplo, um movimento específico de treino efetuado no judô o qual é denominado “*kuzushi*”, um movimento do braço com intuito de desequilibrar o adversário, conforme mostra a Fig. (2), no qual os principais músculos ativados são os flexores do cotovelo; em concordância com o dispositivo proposto por (Siquieroli, 2008 e Souza, 2016). Com essa curva é possível obter os outros parâmetros cinemáticos e posteriormente associar com os dados de torque máximo disponível em cada posição angular inclusive considerando as possíveis variações na velocidade do movimento. Os valores de torque máximo obtidos em equipamento isocinético.



Figura 2. Movimento “*kuzushi*” em sua execução. À esquerda o início do movimento em posição completamente estendida e à direita o movimento final com a flexão do cotovelo

Neste trabalho, é apresentada e analisada a cinemática do movimento do músculo bíceps braquial durante a realização do gesto motor escolhido. Como já citado, o movimento escolhido neste estudo de caso foi o “*kuzushi*” do judô, uma vez que, o principal músculo ativado é o próprio bíceps braquial. Este movimento consiste em uma contração rápida do cotovelo, gerando uma variação aproximadamente balística da posição angular entre 0 e 104° em um intervalo de tempo de 0,45 segundos.

2.1. Instrumentação para obtenção das curvas de velocidade e aceleração

A variação da posição angular da articulação do cotovelo ao longo do tempo foi mensurada utilizando um goniômetro posicionado conforme mostrado na Fig. (3) sendo a posição estendida referenciada como 0 graus. Considerando os valores de deslocamento angular da articulação monitorada, é aplicada a derivada para obter-se a curva de velocidade angular e, com nova derivação, a curva de aceleração angular do movimento na articulação.

O equipamento utilizado na coleta dos dados de posição angular foi um eletromiógrafo Miotool 400 (Miotec) com 8 canais. Este equipamento adquire sinais EMGs de 14 Bits com isolamento elétrico de 3.000 volts e 2000 amostras/segundo/canal, possui oito canais analógicos de entrada com um nível de ruído da ordem de 2 LSB e possuindo um goniômetro digital. A conexão com o microcomputador é feita via porta USB e possui bateria recarregável com duração de 40 horas de uso contínuo. O software a ser utilizado foi o Miograph.



Figura 3. Posicionamento do goniômetro na articulação do cotovelo

2.2. Procedimento de coleta de dados

Visando desenvolver e avaliar um método para obtenção dos parâmetros cinemáticos do movimento, foi utilizado apenas um voluntário (comitê de ética CAAE: 43980115.7.0000.5152), praticante de judô, para efetuar o movimento “*kuzushi*”. O voluntário foi instruído a executar o movimento em uma sequência de 9 movimentos completos e consecutivos para o monitoramento e arquivamento do sinal de deslocamento angular. Esse movimento foi também filmado para validar toda a sequência de forma quantitativa e qualitativa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sinal de posição angular adquiridos durante as 9 repetições do movimento “*kuzushi*” é mostrado na Fig. (4).

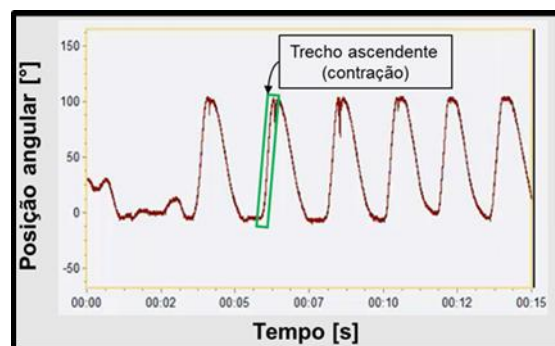


Figura 4. Variação da posição angular para o movimento “*kuzushi*”. É apresentado em destaque a fase de flexão do cotovelo com a contração muscular

Para a curva de deslocamento angular obtida com o goniômetro, utilizou-se a parte ascendente de cada uma delas (parte destacada em verde na Fig. (4)), ou seja, o trecho que consiste da contração muscular, para se gerar pontos

médios da variação da posição angular de acordo com o tempo na fase de flexão do cotovelo do atleta. Com esses pontos médios, fez-se uma interpolação de uma curva obtendo, portanto, uma equação representativa destes pontos. A Fig. (5) apresenta o resultado obtido.

A partir da equação ajustada para o deslocamento angular médio, as curvas de velocidade e aceleração angular foram obtidas através da derivação de 1ª e 2ª ordem da equação interpolada do deslocamento angular. A curva de velocidade angular mostrada na Fig. (6) é importante para estimar os valores de torques dissipativos devido aos amortecimentos envolvidos.

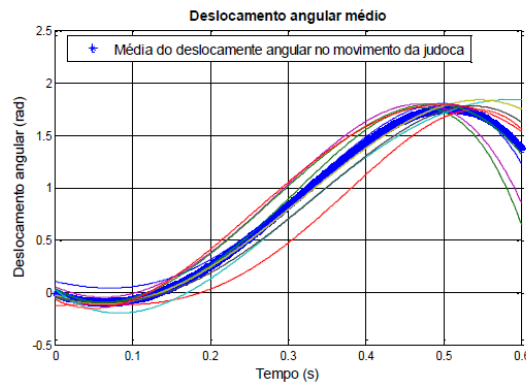


Figura 5. Pontos médios obtidos para os valores de posição angular em função do tempo considerando as repetições do movimento “kuzushi”

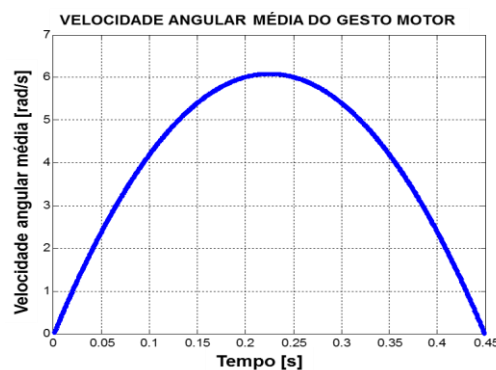


Figura 6. Curva da velocidade angular média obtida pela derivação da curva de deslocamento angular médio

Como esperado, o movimento é aproximadamente balístico evidenciando uma possível influência significativa no perfil de torque a ser gerado na articulação do cotovelo durante o movimento tendo em vista a curva proposta por (Hill, 1938) mostrada na Fig. (1).

Com a derivada diferencial de 2ª ordem sobre a curva de deslocamento angular médio, obtém-se o comportamento da aceleração do movimento. A curva de aceleração angular mostrada na Fig. (7). Tal curva pode ser utilizada para estimar os valores de torques dissipativos devido à inércia do dispositivo de resistência utilizado para o treinamento.

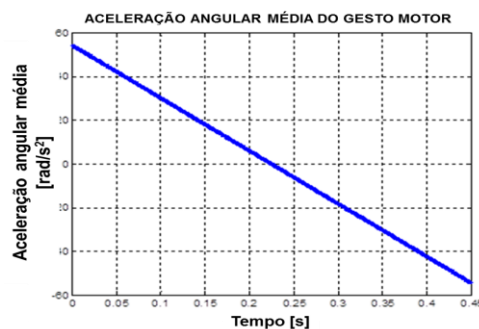


Figura 7. Perfil de aceleração angular do movimento obtido pela derivada de 2ª ordem da curva de deslocamento angular médio

Conforme visto, o perfil de torque que uma pessoa consegue promover na articulação do cotovelo durante um movimento de flexão pode ser afetado por diversos parâmetros biomecânicos. Dentre esses, a geometria da articulação e das inserções musculares são parâmetros mais bem estudados e com influências na capacidade de torque já são bem conhecidas na literatura. Porém, conforme mostrado por (Hill, 1938), a capacidade dos músculos produzirem força é fortemente afetada pela velocidade da contração. Portanto, durante a realização de um movimento aproximadamente balístico de flexão do cotovelo, o torque gerado na articulação será altamente influenciado pelo perfil cinemático desse movimento.

Conhecendo-se a influência e o comportamento desses parâmetros (posição, velocidade e aceleração angular) na articulação do cotovelo considerando o movimento “*kuzushi*”, é possível desenvolver um perfil de torque resistente sempre proporcional à capacidade de produção de torque nessa articulação. Para cada posição angular do movimento tem-se uma geometria diferente, alterando a capacidade de produção de torque na articulação. A velocidade também é alterada em cada posição angular dentro do movimento, gerando valores de torques de amortecimento diferentes e portanto, também é afetada a capacidade de produção de torque na articulação. A aceleração que também varia ao longo do movimento, por sua vez altera a capacidade de produção de torque por causa dos efeitos de inércia variáveis ao longo do movimento.

Uma das formas de se aplicar uma resistência ao movimento, a qual é variável de acordo com os parâmetros geométricos e cinemáticos, é com a utilização de um sistema came-mola-seguidor como proposto, inicialmente, por (Siquieroli, 2008). Um sistema constituído desses elementos pode ser interessante, uma vez que o torque resistivo pode ser alterado de acordo com o ângulo de inclinação do perfil do came ou com o raio do came em uma determinada posição. Adicionalmente, o came pode ser consideravelmente mais leve que um sistema de pilhas de pesos tradicionalmente utilizados para geração de resistência em equipamentos de musculação. Nesse sistema de geração de resistência o seguidor será comprimido contra o came por intermédio da mola. À medida que o came gira o ângulo de pressão na superfície de contato entre o seguidor e o came se altera, alterando portanto a distribuição das forças e o torque resistivo produzido. Esse princípio de funcionamento descrito é apresentado na Fig. (8).

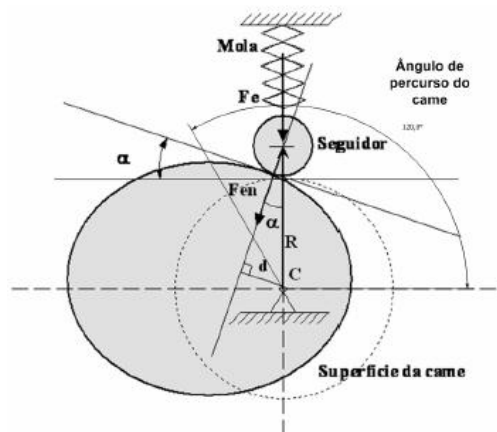


Figura 8. Esquema básico de funcionamento de um mecanismo de geração de resistência utilizando came-mola-seguidor.

A modelagem da curva do came deve ser projetada de maneira que o torque resistivo produzido pelo sistema somado ao torque de inércia do dispositivo de treinamento a ser projetado seja próximo ao máximo torque muscular em uma dada posição articular e ainda considere a aceleração do movimento, uma vez que, a inércia do conjunto é reduzida. Deve-se ainda levar em conta efeitos dissipativos devido ao atrito do sistema.

A próxima etapa é considerar efeitos da aceleração do movimento, a qual pode ser estimada com a metodologia proposta neste trabalho, inércia do equipamento de treinamento e efeitos dissipativos para se gerar uma equação para a curva do came que leve em conta, também, o nível de torque máximo em cada posição angular.

4. CONCLUSÃO

O procedimento adotado para obtenção dos parâmetros cinemáticos do gesto motor analisado foi eficaz e os dados poderão ser utilizados para a geração de um sistema de resistência ao movimento que leve em conta variações na velocidade e aceleração angular. O mecanismo de came-mola-seguidor é um mecanismo que pode ser viável para gerar as curvas de torque variável e, dessa forma, o próximo passo é projetar um dispositivo que se aproxime da máxima capacidade de geração de força mesmo em velocidades de contração variáveis. Tal fato possibilitará ao praticante realizar treinamentos físicos de força com os mesmos padrões de um gesto motor específico.

5. REFERÊNCIAS

- FOSS, M. L.; KETAYIAN, S. J. **Bases Fisiológicas do Exercício e do Esporte**. Tradução de Giuseppe Taranto. 6ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2000. 560 p.
- GARCÍA-PALLARÉS, J.; IZQUIERDO, M. Strategies to optimize concurrent training of strength and aerobic fitness for rowing and canoeing. **Sports Medicine**, v. 41, n. 4, p. 329-343, 2011.
- GURJÃO, A. L. D. et al. Effect of strength training on rate of force development in older women. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 83, n. 2, p. 268-275, 2012.
- HILL, A. V. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. **Proceedings of the Royal Society of London –B: Biological Sciences**. The Royal Society, 1938. p. 136-195.
- PETRELLA J. K.; et al. Contributions of force and velocity to improved power with progressive resistance training in young and older adults. **European journal of applied physiology**, v. 99, n. 4, p. 343-351, 2007.
- REID, K. F.; FIELDING, R. A. Skeletal Muscle Power: A critical determinant of physical functioning in older adults. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 40, n. 1, p. 4, 2012.
- SIQUIEROLI, W. A. **Desenvolvimento de um sistema de geração de resistência para aparelhos de musculação e fisioterapia**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.
- SOUZA, M. P. **VLIS: equipamento vibracional de baixa inércia para musculação**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dos órgãos de fomento (CAPES, FAPEMIG e CNPq) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. Agradecem também a todos os colegas e colaboradores do Laboratório de Projetos Mecânicos Henner Alberto Gomide.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.