

METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DA CURVA DE TORQUE DISPONÍVEL MÁXIMO NA FLEXÃO CONCÊNTRICA DO COTOVELO

Márcio Peres de Souza, LPM, marcioperes.mec@hotmail.com.br

Cleudmar Amaral de Araújo, cleudmar@mecanica.ufu.br

Warner Artur Siquieroli, artur@centershop.com.br

José Eduardo Arruda Neto, joseeduardoan@hotmail.com.br

Elton Diêgo Bonifácio, eltondbonifacio@yahoo.com.br

Resumo. O treinamento muscular resistido produz respostas adaptativas específicas para o tipo de treinamento realizado. Portanto torna-se evidente que para a melhora na força e na velocidade de determinado gesto motor é necessário efetuar um treinamento nas mesmas condições de realização desse gesto motor. Este trabalho é parte de uma tese de doutorado que desenvolveu um dispositivo que deve permitir a realização do treinamento resistido em qualquer perfil de velocidade, sempre solicitando a máxima capacidade de produção de força do músculo ou grupo muscular envolvido. Aqui foi desenvolvida uma metodologia para obtenção da curva de torque máximo disponível na flexão concêntrica do cotovelo durante a realização de um gesto motor presente no treinamento de judô para ser utilizada como estudo de caso para a verificação da capacidade que o dispositivo criado tem de reproduzir um perfil de torque pré-determinado. Foram adquiridas cinco curvas de torque máximo em velocidades angulares constantes utilizando um dinamômetro isocinético Biodex System 4 Pro, que foram sobrepostas à curva de torque isométrico máximo, previamente obtida para o mesmo indivíduo, e então cruzar os valores de torque máximo destas curvas com a curva de velocidade em função da posição angular no gesto motor utilizado como estudo de caso, construindo então uma curva de torque máximo disponível na articulação para cada posição angular de acordo com a velocidade do gesto nestas posições. A metodologia utilizada permitiu a obtenção de uma curva que mostrou a ocorrência de valores de torque disponível menores em posições angulares nas quais a biomecânica é favorável, criando uma inversão da curva em relação às curvas de torque isocinéticas e isométrica, predominando o efeito mencionado por Hill que prevê a diminuição da capacidade de produção de força com o aumento da velocidade.

Palavras chave: came, musculação, curva de torque, isocinético.

1. INTRODUÇÃO

Embora a tecnologia moderna tenha reduzido a necessidade de níveis altos de produção de força durante as atividades diárias da vida, tem sido reconhecida pelas comunidades científica e médica, que a força muscular é uma característica física básica, necessária para a saúde, capacidade funcional e para melhorar a qualidade de vida. As características de condicionamento treináveis incluem força, potência, hipertrofia e resistência musculares, porém outras variáveis, tais como velocidade, equilíbrio, coordenação, capacidade de saltar, flexibilidade e outras medidas do desempenho motor também têm sido positivamente estimuladas pelo treinamento resistido (RUTHERFORD e JONES, 1986), (DELECLUSE et al., 1995).

As adaptações fisiológicas para o treinamento são específicas para as ações musculares, (ADAMS et al., 1999), a velocidade de movimento (DUDLEY et al., 1991), a amplitude de movimento, (BANDY e HANTEN, 1993), os grupos musculares treinados, (FLECK e KRAEMER, 1997), os sistemas energéticos envolvidos, (ROBERGS et al., 1991), e a intensidade e o volume de treinamento, (SCHLUMBERGER, STEC e SCHMIDTBLEICHER, 2001). Embora exista alguma superposição dos efeitos do treinamento, os programas de treinamento resistido mais efetivos são aqueles destinados a alcançar objetivos específicos.

A velocidade da contração muscular, usada para realizar ações musculares dinâmicas, afeta as respostas, (HÄKKINEN, KOMI e ALEN, 1985), hipertróficas (HOUSH et al., 1992) e metabólicas (BALLOR, BECQUE e KATCH, 1987) ao exercício resistido. Estudos que investigam o exercício resistido isocinético têm mostrado aumentos de força específicos para a velocidade de treinamento, com algum efeito acima e abaixo da velocidade estabelecida (FLECK e KRAEMER, 1997). Vários investigadores têm treinado indivíduos entre 30°/s e 300°/s e relataram aumento significativo na força muscular, (TOMBERLINE et al., 1991). Resultados de estudos de treinamento resistido isocinético demonstram a importância do treinamento em velocidade rápida, moderada e baixa, para aumentar a força isocinética em todas as velocidades de teste (FLECK e KRAEMER, 1997).

Portanto, no que se refere à melhora do condicionamento físico, existem vários fatores determinantes para o sucesso do treinamento. Tomando como exemplo o treinamento de flexores do cotovelo um atleta de judô, sabe-se que ele precisa aumentar sua capacidade de produção de força mantendo ou aumentando a velocidade do gesto motor, ou seja, o ideal é que ele realize um treinamento de força com o mesmo padrão de velocidades do seu gesto motor. Com isso seria possível utilizar o princípio da especificidade em benefício do treinamento. No entanto, os equipamentos disponíveis no mercado atualmente não permitem o treinamento em altas velocidades e menos ainda um treinamento com perfil de velocidade específico. O equipamento desenvolvido pelos autores deste trabalho promete ser capaz de oferecer esta

especificidade de treinamento, sendo capaz de gerar um perfil de resistência mecânica sempre igual à máxima capacidade de produção de força de um músculo ou grupo muscular, mesmo durante a realização de um movimento com altas velocidades e variação da aceleração.

Sendo assim, este trabalho propõe uma metodologia de obtenção da curva de torque máximo disponível na flexão concêntrica do cotovelo durante a realização de um gesto motor presente no treinamento de judô. Esta curva será utilizada como estudo de caso para a verificação da capacidade que o dispositivo tem de reproduzir um perfil de torque pré-determinado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Hill (1938), a capacidade de produção de força do músculo varia com a variação da velocidade do movimento executado. Então para solicitar o músculo sempre no seu máximo potencial durante a realização de determinado treinamento em relação a um gesto motor específico com velocidade variável, é necessário também considerar o parâmetro de variação de velocidade no movimento executado.

Como este trabalho é parte de uma tese de doutorado que tem como objetivo construir e validar um dispositivo de geração de resistência para aparelhos de musculação e fisioterapia, capaz de oferecer um perfil de resistência que garanta máxima solicitação de um músculo ou grupo muscular durante a realização de qualquer gesto previamente estipulado.

O princípio de funcionamento do dispositivo se baseia no máximo torque disponível em uma determinada articulação que deve ser atingido pelo mecanismo gerador de resistência. A equação (1) mostra a modelagem matemática desse princípio de funcionamento.

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

onde $Tm(\theta)$ é o torque total disponível na articulação, $Tr(\theta)$ é o torque proporcionado pelo sistema de geração de resistência e $Ti(\theta)$ é o torque de inércia devido à aceleração presente no movimento.

Sendo este o princípio de funcionamento do dispositivo, torna-se imprescindível conhecer bem o torque máximo disponível na articulação, gerado pelo músculo ou grupo muscular que se deseja treinar. Como estudo de caso, foi utilizado um movimento de flexão concêntrica do cotovelo presente no treinamento de judô, com enfoque na análise do trabalho realizado pelo músculo bíceps braquial. Os testes foram realizados pelos próprios autores e não necessitou de aprovação do comitê de ética.

O estudo de caso utilizado, flexão concêntrica do cotovelo, possuiu range angular de aproximadamente 110° e um perfil aproximadamente balístico, com um perfil de velocidade conforme apresentado na Fig. (3). Para a obtenção das curvas de torque máximo isocinéticas, foi utilizado um dinamômetro isocinético Biodex System 4 Pro, onde o indivíduo foi posicionado na máquina, de modo a poder realizar flexão concêntrica do cotovelo em um range variando de 0 a 110° conforme ilustrado na Fig. (1), foram realizados todos os ajustes e fixações necessários para garantir o conforto e a segurança do indivíduo durante os testes.

O protocolo de testes utilizado para obtenção das curvas isocinéticas constituiu-se de cinco séries com velocidades angulares de 30, 60, 150, 240 e 300 graus por segundo, cada série constituída de três repetições concêntricas variando de 0 a 110° com cinco minutos de descanso entre cada série. Os testes foram realizados em dois dias, na parte da manhã, sendo três séries em um dia e duas séries no dia seguinte.

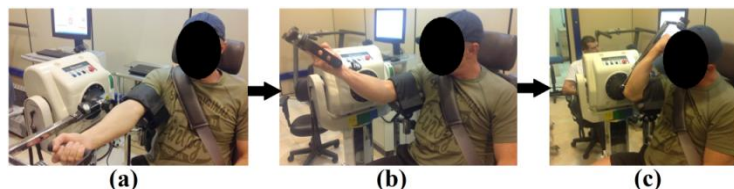


Figura 1. Posicionamento do indivíduo no Biodex: (a) Posição zero (b) 45° (c) 110°.

O software do Biodex permitiu automatizar o processo de realização dos protocolos informando os parâmetros de entrada, número de séries, velocidade angular de cada série, número de repetições em cada série e tempo de descanso entre séries. O software emite um sinal sonoro no começo de cada série fechando a série após a realização das três repetições e paralisando automaticamente para o tempo de descanso estipulado entre as séries.

Após a coleta dos dados, os mesmos foram tratados com aplicação de filtros e em seguida aplicação do método proposto para obtenção da curva de torque máximo disponível na articulação durante a realização do movimento acelerado. Utilizou-se o software Matlab® para limpeza e separação dos dados de interesse, e para cada uma das curvas de torque isocinéticas e para a curva de torque isométrica foram ajustados polinômios de interpolação conforme ilustra a Fig. (4). Sendo assim, foi possível cruzar as informações de torque máximo disponível na articulação em diferentes velocidades, contidas nesses polinômios, com a curva de velocidade do movimento adotado como estudo de caso,

conforme mostrado na Fig. (3). Foi possível então, obter uma curva de torque máximo disponível em função da posição angular do cotovelo de acordo com a velocidade existente no movimento nesta mesma posição. Esse resultado pode ser observado na Fig. (5).

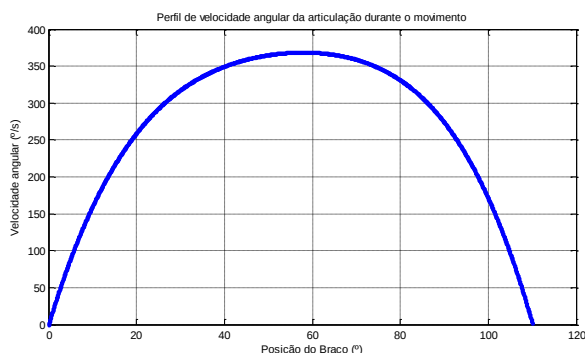


Figura 3. Velocidade angular do cotovelo durante a realização do movimento adotado como estudo de caso.

3. RESULTADOS

Os polinômios de interpolação adotados para as curvas de torque isocinéticas apresentaram alto grau de ajuste, proporcionando uma sobreposição aparentemente coerente com a curva de torque isométrica previamente obtida em dispositivo diferente do utilizado para obtenção das curvas isométricas.

A figura (4) mostra a sobreposição das curvas de torque máximo isocinético disponível na contração concêntrica do cotovelo do braço direito do indivíduo e também da curva de torque máximo isométrico disponível na contração concêntrica do cotovelo do braço direito deste mesmo indivíduo.

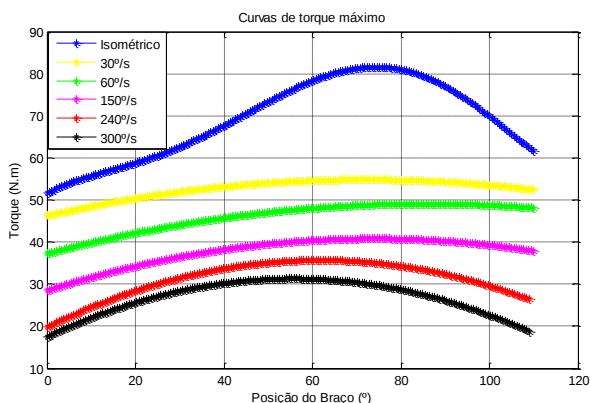


Figura 4. Curvas de torque máximo isocinético e isométrico disponíveis.

A figura (5) mostra a curva de torque máximo disponível em cada posição angular do movimento adotado como estudo de caso. Este gráfico foi construído utilizando as informações da curva de velocidade do movimento adotado e as informações dos valores de torque máximo disponível em cada velocidade.

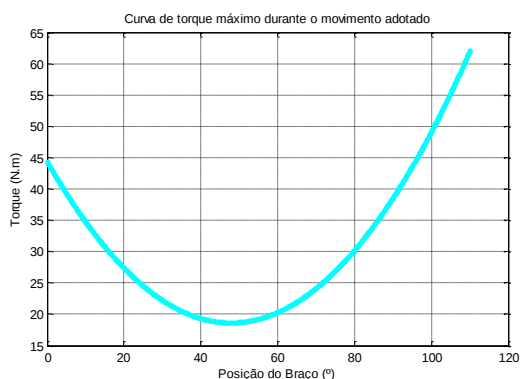


Figura 5. Curva de torque máximo disponível na articulação durante a realização do movimento.

Usando os pontos de intersecção entre as curvas de torque isocinéticas e a curva de torque isométrica com a curva de velocidade angular do cotovelo do indivíduo durante a realização do movimento de estudo de caso, foi possível interpolar uma curva representativa do torque máximo disponível na articulação durante a realização da flexão concêntrica do cotovelo no movimento analisado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos foram satisfatórios mediante ao objetivo proposto, pois foi possível obter a curva de torque máximo disponível na flexão concêntrica do cotovelo direito do indivíduo analisado. Esta curva será utilizada como parâmetro de entrada na avaliação da capacidade que o dispositivo criado tem de gerar um perfil de resistência mecânica que exija sempre a máxima capacidade de produção de força do músculo/grupo muscular durante a realização de um movimento de treino com velocidade variável.

É importante salientar ainda, que de acordo com os resultados observados neste trabalho, a curva de torque máximo disponível na articulação, produzido por um determinado músculo ou grupo muscular durante a realização de um movimento acelerado, pode apresentar valores menores mesmo em pontos da posição angular da articulação em que a biomecânica é favorável à produção de torque. Isso é uma contribuição importante, observado que a literatura não contempla ainda informações suficientes sobre este tipo de abordagem de avaliação.

Estudos subsequentes devem ser realizados utilizando uma amostra mais representativa da população, utilizando avaliação estatística para melhor esclarecimento a respeito dos resultados obtidos neste trabalho.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

AGRADECIMENTOS

Aos órgãos de fomento (FAPEMIG, CNPq e CAPES) pelo apoio financeiro, à FEMEC/UFU e ao LPM/UFU.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, K. J. et al. Combined high-intensity strength and aerobic training in diverse phase II cardiac rehabilitation patient. *J. Cardiopulm. Rehabil.*, v. 19, p. 209-215, 1999.
- BALLOR, D. L.; BECQUE, M. D.; KATCH, V. L. Metabolic responses during hydraulic resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, v. 19, p. 363-367, 1987.
- BANDY, W. D.; HANTEN, W. P. Changes in torque and electromyographic activity of the quadriceps femoris muscles following isometric training. *Phys. Ther.*, v. 73, p. 455-467, 1993.
- DELECLUSE, C. et al. Influence of high-resistance and high velocity training on sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, v. 27, p. 1203-1209, 1995.
- DUDLEY, G. A. et al. Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviat. Space Environ. Med.*, v. 62, p. 543-550, 1991.
- FLECK, S. J.; KRAEMER, W. J. *Designing Resistance Training Programs*. 2a. Edição. ed. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 1-115, 1997.
- HÄKKINEN, K.; KOMI, P. V.; ALÉN, M. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol. Scand.*, v. 125, p. 587-600, 1985.
- HILL, A. V. The heat of shortening and the dynamic constants of the muscle. *Proceedings of the Royal Society*; 126(843): p. 136-195, 1938.
- HOUSH, D. J. et al. Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *J. Appl. Physiol.*, v. 73, p. 65-70, 1992.
- ROBERGS, R. A. et al. Muscle glycogenolysis during different intensities of weight-resistance exercise. *J. Appl. Physiol.*, v. 70, p. 1700-1706, 1991.
- RUTHERFORD, O. M.; JONES, D. A. The role of learning and coordination in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 55, p. 100-105, 1986.
- SCHLUMBERGER, A.; STEC, J.; SCHMIDTBLEICHER, D. Single- vs. multiple-set strength training in women. *J. Strength Cond. Res.*, v. 15, p. 284-289, 2001.
- TOMBERLINE, J. P. et al. Comparative study of isokinetic eccentric and concentric quadriceps training. *Ther. J. Orthop. Sports Phys.*, v. 14, p. 31-36, 1991.