

MOVIMENTO DA ARTICULAÇÃO DO TORNOZELO DURANTE TESTES DE CONTRAÇÃO VOLUNTÁRIA MÁXIMA ISOMÉTRICA DE FLEXÃO PLANTAR

Movement of the ankle joint during isometric maximal voluntary contraction tests of plantar flexion

Francisco Xavier Monteiro Bezerra do Nascimento¹; Marco Túlio Baptista²;
Leandro Kegler Nardes³; Cesar Ferreira Amorim⁴; Liliam Fernandes de Oliveira⁵

¹ Escola de Educação Física do Exército – Rio de Janeiro – RJ – Brasil.

² Instituto de Pesquisa da Capacitação Física do Exército – Rio de Janeiro – RJ Brasil.

³ Diretoria de Pesquisa e Estudos de Pessoal – Rio de Janeiro – RJ – Brasil.

⁴ University Of New Brunswick

⁵ Escola de Educação Física e Desportos/UFRJ – Rio de Janeiro – RJ – Brasil.

Resumo: A execução de contrações voluntárias máximas (CVM) isométricas é uma prática comum em estudos de mecânica muscular, particularmente para normalização de sinais eletromiográficos. Nesses testes, é importante a estabilização dos segmentos corporais, para uma leitura precisa do torque aplicado. Durante testes de CVM isométrica de flexão plantar, ocorre uma inevitável rotação da articulação do tornozelo, em função da deformação dos tecidos periarticulares do tornozelo, com a elevada magnitude do torque produzido. O propósito deste estudo foi verificar o movimento ocorrido na articulação do tornozelo durante a contração voluntária máxima isométrica de flexão plantar, observando sua relação com o torque. Um grupo de 15 homens (18,4±0,6 anos; 67,2±6,4 kg; 174,0±9,1 cm) executou testes de CVM isométrica nas posições de joelho estendido (JE) e joelho fletido (JF) em um dinamômetro isocinético Cybex. O pé direito foi fixado firmemente ao adaptador do dinamômetro e filmado durante as contrações. Um pino aderido à face posterior do calcanhar apontou um deslocamento médio de 1,92±0,85 cm na posição JE, correspondente a um torque de 98,04±20,16 Nm e de 1,32±0,64 cm na posição JF, correspondente a um torque de 73,52±18,44 Nm. O teste de Wilcoxon foi utilizado para determinar as diferenças nos valores de deslocamento e de torque nas duas posições. Foram encontradas diferenças para as duas variáveis ($p<0,05$) e a correlação entre o torque produzido na flexão plantar e o deslocamento observado no calcanhar foi de 0,56 ($p<0,05$). Os dados sugerem que a articulação do tornozelo sofre um movimento angular durante contrações voluntárias máximas ditas "isométricas" e que a amplitude deste movimento está relacionada com a magnitude do torque flexor plantar produzido no esforço.

Palavras chave: Flexão plantar; Contração voluntária máxima; Tríceps sural.

Abstract: The performance of isometric maximal voluntary contraction (MVC) is a common practice in studies of muscle mechanics, particularly for electromyographic signal normalization. In these tests, the stabilization of body segments is important, for an accurate reading of the applied torque. During isometric MVC plantar flexion tests, there is an inevitable rotation of the joint, due to the deformation of the periarticular tissues of the ankle, with the high magnitude of torque produced. The purpose of this study was to verify the movement occurred in the ankle joint during an isometric maximal voluntary plantar flexion contractions, noting their relationship to the torque produced during the effort. A group of 15 subjects (18.4±0.6 years, 67.2±6.4 kg, 174.0±9.1 cm) performed tests of isometric MVC at the extended knee (JE) and knee flexed (JF) positions, on a Cybex isokinetic dynamometer. The right foot was firmly fixed to the adapter of the dynamometer and recorded during contractions. A pin attached to the back of the heel showed an average calcanei displacement of 1.92±0.85 cm in the extended knee position, corresponding to a torque of 98.04±20.16 Nm and 1.32±0.64 cm in the flexed knee position, corresponding to a torque of 73.52±18.44 Nm. The Wilcoxon test was used to verify the differences in displacement and torque values. Differences were found for both variables ($p<0.05$) and the correlation between the torque produced in plantar flexion and the displacement observed in the calcanei was 0.56 ($p<0.05$). The data suggest that the ankle has an angular movement during maximal voluntary contractions called "isometric" and that the extent of this movement is related to the magnitude of the plantar flexor torque produced in the effort.

Key words: Plantarflexion; Maximal voluntary contraction; Triceps surae.

Aceito em 23/10/2009 - Rev. Educ. Fís. 2010 - 10-14. Rio de Janeiro - RJ - Brasil

INTRODUÇÃO

Estudos sobre as propriedades mecânicas do músculo tríceps sural *in vivo*, realizados através das

técnicas de ultrassonografia e eletromiografia de superfície, têm observado alterações na arquitetura muscular e na atividade mioelétrica deste grupamento durante contrações isométricas submáximas⁽¹⁾. A

metodologia correta para a utilização da técnica de eletromiografia prevê que sejam realizados testes de contração voluntária máxima (CVM), para que o nível de atividade mioelétrica em diferentes tarefas seja normalizado com sua atividade máxima⁽²⁾. Um problema metodológico verificado nos testes de CVM em flexão plantar é que ocorre uma inevitável e indesejável rotação articular do tornozelo durante a execução da CVM isométrica, mesmo com a devida fixação do pé do indivíduo no adaptador do dinamômetro⁽³⁾. Magnusson et al.⁽⁴⁾ afirmaram que é extremamente difícil evitar completamente a rotação da articulação do tornozelo durante uma CVM de flexão plantar, que produz elevados valores de torque. Esta alteração no ângulo articular, por sua vez, provoca uma redução no comprimento dos fascículos musculares e um aumento no ângulo de penetração das fibras que modificam as propriedades mecânicas dos flexores plantares⁽³⁾. Kawakami et al.⁽⁵⁾ observaram que uma flexão plantar passiva de 15° provoca uma redução de 7,0 mm no comprimento dos fascículos do músculo gastrocnêmio medial e um aumento de 3° em seu ângulo de penetração, concluindo que o torque gerado por um músculo é influenciado por fatores como a relação comprimento-tensão das fibras, bem como por sua arquitetura muscular.

Estudos recentes mostram rotações de até 17° no ângulo articular do tornozelo durante flexões plantares “isométricas”^(1,3,6,7). Tais rotações podem influenciar de maneira significativa as medidas da arquitetura muscular do tríceps sural em testes de CVM. O grau de rotação da articulação também deve ser levado em consideração nas medidas de complacência dos tendões, evitando que a deformação dos mesmos durante uma CVM seja superestimada⁽⁴⁾.

Os estudos que medem a rotação do tornozelo em CVM de flexão plantar utilizam metodologias complexas e onerosas, como pode ser observado nos trabalhos de Karamanidis et al.⁽³⁾ e Arampatzis et al.⁽¹⁾, que utilizam sistemas de cinemetria com oito câmeras sincronizadas com sinais de pressão plantar.

O objetivo do presente estudo é verificar o movimento articular do tornozelo em tarefas de contração voluntária máxima isométrica, por meio de uma metodologia simples e de baixo custo, observando sua relação com a magnitude do torque obtido durante a flexão plantar.

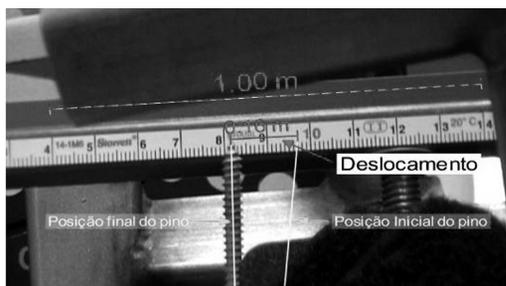
METODOLOGIA

Quinze voluntários do sexo masculino (idade: 18,4 + 0,6 anos; massa corporal: 67,2 + 6,4 kg; estatura: 174,0 + 9,1 cm; circunferência da perna: 36,5 + 1,6 cm) participaram do presente estudo. Os participantes assinaram o termo de consentimento e o projeto foi aprovado no CEP do HUCFF/UFRJ. Os indivíduos foram posicionados em decúbito ventral em um dinamômetro isocinético Cybex Norm®. Um sapato tipo tênis de solado plano foi fixado ao adaptador do dinamômetro (footplate), por meio de uma peça de metal. A articulação do tornozelo foi mantida na posição neutra (90°) e seu eixo – definido pelo ponto mais central do maléolo lateral do indivíduo – foi cuidadosamente alinhado com o eixo de rotação do dinamômetro. Para uma melhor fixação, o pé dos indivíduos era envolvido por uma tira de velcro rígida, presa ao adaptador do dinamômetro com a máxima tensão possível, sempre pelo mesmo avaliador, com o objetivo de restringir o deslocamento da parte posterior do pé.

Após um período de aquecimento, que consistia de cinco flexões plantares submáximas, os indivíduos foram instruídos a executar duas CVM na posição de joelho estendido (JE) e duas CVM na posição de joelho fletido (JF), sendo registrado o torque máximo obtido no dinamômetro Cybex Norm®. Para a posição de joelho fletido, os indivíduos se posicionaram em quatro apoios (mãos e joelhos), com a articulação dos joelhos flexionada em 90°. A duração de cada CVM foi de quatro segundos, seguida de um intervalo de dois minutos. A sequência das posições de joelho foi definida aleatoriamente.

Para medir o deslocamento da parte posterior do pé dos indivíduos, o sistema pé/adaptador do dinamômetro foi filmado por uma câmera Sony Handcam 490X. Um pino de 5 cm foi fixado ao calcanhar dos indivíduos e uma régua milimetrada posicionada logo acima do calcanhar, perpendicularmente ao pino. O deslocamento do calcanhar do indivíduo foi representado pela distância percorrida pela extremidade do pino durante a CVM, medida utilizando-se o software de análise de vídeos Dartfish 4.0®, conforme pode ser observado na FIGURA 1.

FIGURA 1
ANÁLISE DO DESLOCAMENTO DO CALCANHAR DOS INDIVÍDUOS

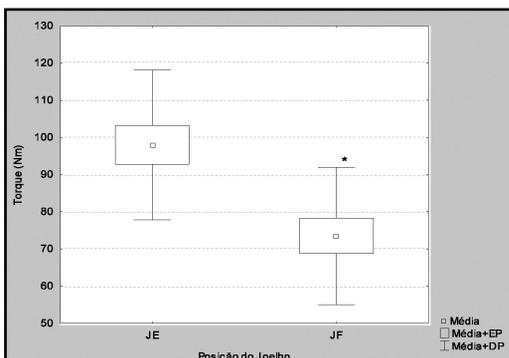


Para verificar as possíveis diferenças no deslocamento do calcanhar observado nos testes de JE e JF, bem como a diferença na magnitude do torque medido nas duas posições, foi utilizado o teste de Wilcoxon para duas amostras dependentes. O nível de significância estabelecido foi de $p < 0,05$. A relação entre o deslocamento do calcanhar e o torque, medidos durante a flexão plantar, foi verificada através de uma correlação de Pearson.

RESULTADOS

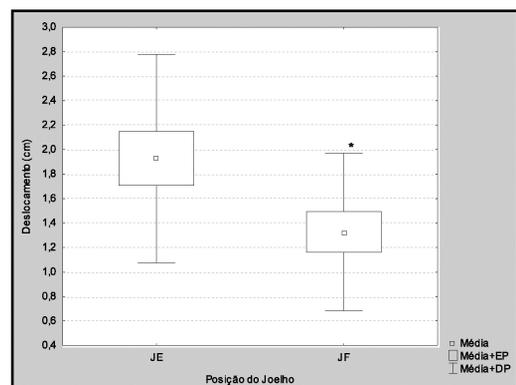
O torque resultante, produzido durante a CVM em flexão plantar, na posição de joelho estendido, foi de $98,04 \pm 20,16$ Nm, com um deslocamento correspondente do calcanhar de $1,92 \pm 0,85$ cm, representando a rotação da articulação do tornozelo durante o esforço. A CVM na posição de joelho fletido apresentou uma redução estatisticamente significativa ($p < 0,05$) nos valores de torque ($73,52 \pm 0,64$ Nm) e do deslocamento correspondente do calcanhar ($1,32 \pm 0,64$ cm), como pode ser observado nos GRÁFICOS 1 e 2. O deslocamento do calcanhar apresentou correlação significativa com a magnitude do torque de flexão plantar ($r = 0,56$; $p < 0,05$; GRÁFICO 3).

GRÁFICO 1
VALORES MÉDIOS (+ DP) DE TORQUE NAS POSIÇÕES JE E JF.



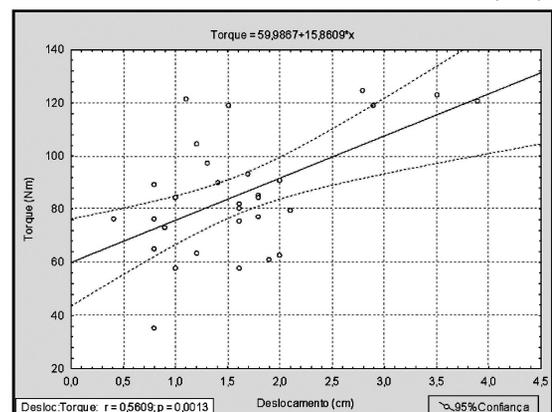
* Diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as posições JE e JF

GRÁFICO 2
VALORES MÉDIOS (+ DP) DO DESLOCAMENTO DO CALCANHAR NAS POSIÇÕES JE E JF.



* Diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as posições JE e JF

GRÁFICO 3
CORRELAÇÃO ENTRE O TORQUE (Nm) E O DESLOCAMENTO DO CALCANHAR (cm).



DISCUSSÃO

Durante a flexão plantar isométrica máxima, a articulação do tornozelo sofreu uma rotação no sentido da flexão plantar cuja magnitude foi relacionada com o torque produzido.

Diversos estudos mediram o deslocamento angular da articulação do tornozelo durante a CVM de flexão plantar, utilizando técnicas distintas como a eletrogoniometria^(1,6,8) e a cinemetria^(1,3,7,9,10). Nos trabalhos de Karamanidis et al.^(1,9) a filmagem do movimento articular foi feita através do sistema Vicon®, utilizando 8 câmeras de vídeo simultâneas, operando a 120 Hz. A análise dos vídeos foi feita pelo sistema SIMI®, que permite o registro preciso dos ângulos observados na articulação do tornozelo durante a flexão plantar, de maneira sincronizada com o registro de outras variáveis.

No presente estudo, as imagens foram

analisadas através do sistema Dartfish®, que calculou o deslocamento linear do calcanhar. Embora com técnicas diferentes, o presente estudo confirma trabalhos anteriores, que mostram alterações de 3,4° até 17° no ângulo do tornozelo durante a flexão plantar “isométrica”^(1,3,4,6).

Arampatzis et al.⁽¹⁰⁾ e Karamanidis et al.⁽³⁾ encontraram diferenças significativas nos ângulos da articulação do tornozelo medidos em diferentes níveis de torque flexor plantar. Naqueles estudos, os indivíduos seguiram uma rampa gradual de torque e tiveram o ângulo do tornozelo medido em intervalos correspondentes a um aumento percentual no torque de flexão plantar. Partindo da posição inicial neutra (90°), o ângulo médio do tornozelo dos sujeitos aumentou para 98,8° a 45% da CVM e atingiu 107,3° a 100% da CVM⁽¹⁰⁾.

O presente estudo também observou diferenças significativas no deslocamento do calcanhar dos indivíduos, registrado em diferentes níveis de torque. As posições de joelho empregadas permitiram a execução de contrações voluntárias máximas que produzissem diferentes níveis de torque. Kawakami et al.⁽⁵⁾ afirmaram que a relação entre ângulos articulares e o torque é influenciada por fatores como a relação comprimento-tensão do músculo e pela arquitetura muscular de suas fibras. Observaram também, que a flexão do joelho a 90° provoca a redução do comprimento dos fascículos dos músculos gastrocnêmios (lateral e medial), colocando-os em condição desvantajosa para a produção de força.

De fato, a posição de joelho fletido provocou uma redução significativa na magnitude do torque flexor plantar e do correspondente deslocamento do calcanhar dos indivíduos, de forma que o comportamento das duas variáveis apresentou uma correlação significativa ($r=0,56$; $p<0,05$). Arampatzis et al.⁽¹⁾ compararam diferentes posições de joelho e tornozelo e observaram que nas posições de joelho mais flexionado e tornozelo em maior grau de flexão plantar, produziu-se menos força e a rotação da articulação do tornozelo foi menor.

Embora significativa, a correlação observada não explica totalmente o movimento da articulação do tornozelo. Segundo Karamanidis et al.⁽³⁾, o movimento articular do tornozelo ocorrido durante a CVM pode ser influenciado pelo dinamômetro utilizado. Os autores argumentam, no entanto,

que mesmo utilizando-se os mecanismos corretos de fixação, o pé dos indivíduos não pode ser considerado um corpo rígido. Foi observado no presente estudo, que a cuidadosa fixação do pé não impediu o deslocamento do calcanhar. A complacência do sistema pé/adaptador do dinamômetro, a deformação dos tecidos moles do pé, bem como o movimento entre a parte anterior e posterior do pé já foram observados em outros estudos^(1,11) e podem ter influenciado parte do movimento articular ocorrido nos testes.

Cabe ressaltar que, antes do início de cada teste, o eixo da articulação do tornozelo foi cuidadosamente alinhado com o eixo do dinamômetro. A execução da CVM, no entanto, provocou o movimento articular, que acabou por desalinhar os eixos. Segundo Arampatzis et al.⁽¹⁰⁾, esse desalinhamento influencia significativamente os torques resultantes da flexão plantar.

CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo sugerem que a articulação do tornozelo sofre um deslocamento angular durante contrações voluntárias máximas ditas “isométricas” e que a amplitude deste movimento está relacionada com a magnitude do torque flexor plantar produzido no esforço. Portanto, cuidados devem ser adotados no sentido de minimizar este movimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arampatzis A, Karamanidis K, Stafilidis S, Morey-Klapsing G, Demonte G, Brüggemann GP. Effect of different ankle- and knee-joint positions on gastrocnemius medialis fascicle length and EMG activity during isometric plantar flexion. *Journal of Biomechanics* 2006;39:1891-902.
2. Merletti R, Parker P. *Electromyography: Physiology, Engineering and Noninvasive Applications*. New York: Wiley-IEEE, 2004.
3. Karamanidis K, Stafilidis S, Demonte G, Morey-Klapsing G, Brüggemann GP, Arampatzis A. Inevitable joint angular rotation affects muscle architecture during isometric contraction. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2005;15:608-16.

4. Magnusson SP, Aagaard P, Rosager S, Dyhre-Poulsen P, Kjaer M. Load-displacement properties of the human triceps surae aponeurosis in vivo. *Journal of Physiology* 2001;531:277-88.
 5. Kawakami Y, Ichinose Y, Fukunaga T. Architectural and functional features of human triceps surae muscles during contraction. *Journal of Applied Physiology* 1998;85:398-404.
 6. Rosager S, Aagaard P, Dyhre-Poulsen P, Neergaard K, Kjaer M, Magnusson SP. Load-displacement properties of the human triceps aponeurosis and tendon in runners and nonrunners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2002;12:90-8.
 7. Muramatsu T, Muraoka T, Takeshita D, Kawakami Y, Hirano Y, Fukunaga T. Mechanical properties of tendon and aponeurosis of human gastrocnemius muscle in vivo. *Journal of Applied Physiology* 2001;90:1671-8.
 8. Magnusson SP, Hansen P, Aagaard P, Brønd J, Dyhre-Poulsen P, Bojsen-Møller J, Kjaer M. Differential strain patterns of the human gastrocnemius aponeurosis and free tendon, in vivo. *Acta Physiologica Scandinavica* 2003;177:185-95.
 9. Karamanidis K, Arampatzis A. Mechanical and morphological properties of human quadriceps femoris and triceps surae muscle-tendon unit in relation to aging and running. *Journal of Biomechanics* 2006;39:406-17.
 10. Arampatzis A, Morey-Klapsing G, Karamanidis K, Demonte D, Stafilidis S, Brüggemann GP. Differences between measured and resultant joint moments during isometric contractions at the ankle joint. *Journal of Biomechanics* 2005;38:885-92.
 11. Arampatzis A, Morey-Klapsing G, Brüggemann GP. The effect of falling height on muscle activity and foot motion during landings. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2003;13:533-44.
-

Endereço para correspondência:

Francisco Xavier Monteiro Bezerra do Nascimento

Endereço: Av. João Luis Alves, s/nº, Fortaleza de São João, Urca, Rio de Janeiro, RJ

Tel: 2586-2234 / 2586-2248

Email: chicoxaviermbn@hotmail.com