

MEDIÇÃO DA ARQUITETURA MUSCULAR DO M. GASTROCNÊMIO LATERAL, ATRAVÉS DA TÉCNICA DE ULTRA-SONOGRAFIA

Rafael Griffo¹, Thiago Torres da Matta¹, Jurandir Nadal², Liliam Fernandes de Oliveira¹

¹Laboratório de Biomecânica – Escola de Educação Física e Desportos – UFRJ – Rio de Janeiro

²Laboratório de Processamento de Sinais – Programa de Engenharia Biomédica – COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro

Resumo: Os modelos matemáticos que estimam o valor da força de um músculo específico utilizam parâmetros de arquitetura muscular medidos diretamente, entre os quais o ângulo de penação e o comprimento do fascículo dos músculos, em que a ultra-sonografia vem sendo uma das técnicas mais empregadas neste tipo de análise. O propósito deste trabalho foi medir o ângulo de penação e o comprimento do fascículo do músculo gastrocnêmio lateral, por ultra-sonografia, em repouso e em contração voluntária máxima (CVM), estando o tornozelo a 90° e o joelho em extensão. O ângulo de penação médio foi de 15,8° ($\pm 1,6$) em repouso e 22,5° ($\pm 2,9$) em CVM e o comprimento médio do fascículo de 57,0 mm ($\pm 7,3$) em repouso e de 43,7 mm ($\pm 4,6$) em CVM, ratificando a literatura. Estes resultados demonstram a redução do comprimento do fascículo e um aumento do ângulo de penação como estratégia de reestruturação interna durante a contração.

Palavras Chave: ângulo de penação, comprimento do fascículo, Ultra-som, Gastrocnêmio lateral

Abstract: The mathematical models that estimate the muscle strength use muscle architecture parameters directly-measured as the pennation angle and the fascicle length of the muscles. Currently, the ultrasonography is one of the most used techniques in this type of analysis. The purpose of this work was to measure the pennation angle and the fascicle length of the lateral gastrocnemius by ultrasonography, at rest and maximal voluntary contraction (MVC), with the ankle at 90° and the knee at 0° (full extension). The pennation angle measured was 15,8° ($\pm 1,6$) at rest and 22,5° ($\pm 2,9$) at MVC. The fascicle length had the average value of 57,0mm ($\pm 7,3$) at rest and 43,7 mm ($\pm 4,6$) at MVC, ratifying the literature. These demonstrated the fascicle length reduction and the pennation angle increasing as an internal muscle reconfiguration during contraction.

Keywords: pennation angle, fascicle length, ultrasonography, lateral gastrocnemius.

INTRODUÇÃO

Modelos matemáticos têm sido largamente utilizados para estimar a contribuição de cada músculo na produção do torque muscular [1]. Os primeiros modelos descritos utilizavam parâmetros arquitetônicos do músculo derivados de medições feitas em cadáveres [2,3], o que introduzia erros nos valores preditos.

Posteriormente, com a aplicação das técnicas de imagem como a MRI (*Magnetic Resonance Image*), o Raio-X, a Tomografia computadorizada e o Ultra-som por imagem (US), tem sido possível medir os parâmetros musculares *in vivo*, proporcionando maior acurácia nos resultados da modelagem. Dentre tais técnicas, a ultra-sonografia tem adquirido importância, pois

apresenta baixo custo relativo, boa reprodutibilidade e é de fácil manuseio [4,5].

Dentre os parâmetros da arquitetura muscular mais estudados estão o ângulo de penação, definido como o ângulo formado entre o fascículo e a aponeurose interna do músculo e o comprimento do fascículo, como sendo a distância do ponto da junção deste fascículo com a aponeurose interna, até a aponeurose externa (epimísio). Estes parâmetros têm sido descritos na literatura, derivados de imagens por US para vários grupamentos musculares como os extensores e flexores do cotovelo [6,7,8], extensores do joelho [9,10], dorsiflexores [11,12] e flexores plantares [13,14,15,16,17]

Os flexores plantares são muito utilizados neste tipo de análise devido às vantagens

metodológicas, como a facilidade na visualização das estruturas e no manuseio do transdutor do US [1]. Além disso, o tríceps sural tem relevância funcional já que é fundamental na compreensão de importantes características do corpo humano, como a marcha e o equilíbrio.

Os estudos neste contexto apresentam diferenças metodológicas, como a padronização do local da medida, a característica do grupo estudado e o nível de expertise do avaliador. A condição muscular em que estes parâmetros são medidos também variam nos estudos, como análises em repouso e em contrações isométricas máximas e submáximas [14,18,19,20,21]. Estes aspectos contribuem para a alta variabilidade dos resultados da literatura.

O objetivo deste estudo foi quantificar o ângulo de penação e o comprimento do fascículo do músculo gastrocnêmio lateral de indivíduos jovens, em repouso e em contração voluntária máxima (CVM), utilizando a técnica de ultrasonografia.

MATERIAIS E MÉTODOS

O grupo foi composto por 15 homens, estudantes do Curso de Educação Física, idade média de 23,87 ($\pm 2,85$) anos, massa corporal 77,54 ($\pm 9,45$) kg e estatura de 175,1 ($\pm 4,86$) cm. Os indivíduos assinaram termo de consentimento livre e esclarecido, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRJ.

A instrumentação consistiu de um aparelho de ultra-som (modelo EUB-405, Hitachi Medical Corporation), com um transdutor linear (frequência fundamental de 7.5 MHz). Foi utilizado um gel (Ultrex-gel, Farmativa Indústria e Comércio Ltda.) para o acoplamento acústico na

superfície da pele. O mesmo pesquisador manuseou o aparelho durante todo o período de coleta dos dados. As imagens de ultra-som foram digitalizadas com uma frequência de 30 quadros/segundo. Uma filmadora digital Sony (DCR-HC42) gravou as imagens, acoplada ao Ultra-som e ao computador. Os filmes produzidos foram editados posteriormente em um computador portátil (Pentium 4 – Microsoft Windows XP).

O protocolo consistiu em medir o comprimento da perna direita (distância entre a fossa poplíteica e o maléolo lateral), do indivíduo em decúbito ventral sobre uma maca fixa ao solo, e acoplar longitudinalmente o transdutor do US, a 30% proximal desta distância [14]. Neste ponto foram captadas as imagens do ângulo de penação e do comprimento do fascículo em repouso.

O pé direito foi firmemente fixado a um pedal por meio de tiras de velcro, com o tornozelo a 90° para o teste de CVM, mantendo o joelho em extensão completa e os membros inferiores fixados à maca através de tiras contensoras. O transdutor recolocado sobre a marcação anterior buscando a melhor imagem.

Para a CVM o indivíduo foi encorajado a realizar a flexão plantar máxima em rampa de 4 segundos, permanecendo por mais 4 segundos e retornando ao repouso no mesmo tempo, como descrito por Kubo *e cols* [22]. O teste de CVM foi realizado duas vezes, com um intervalo de três minutos.

Após inspeção visual, os quadros relativos às condições de repouso e de CVM foram selecionados de acordo com a qualidade da imagem. Utilizando recursos básicos do aplicativo de editor de imagem, o ângulo de penação e o comprimento do fascículo foram medidos e escalonados (Figura 1).

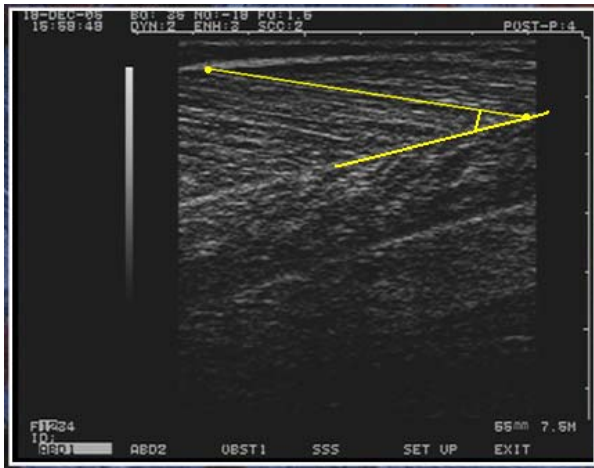


Figura 1: Medidas do ângulo de penação e comprimento do fascículo em repouso

Para análise estatística foi aplicado o teste não paramétrico de Wilcoxon para comparação das variáveis: ângulo de penação (âng.pen) e o comprimento do fascículo (Lfasc), em repouso e em CVM e entre as medidas consecutivas. O nível de significância (α) adotado foi de 0,05 (5%).

RESULTADOS

Não houve diferença significativa entre os valores obtidos nas duas medidas consecutivas dos parâmetros, tanto em repouso quanto em CVM. Portanto, na análise das diferenças foi adotada a média de ambas as medidas.

A Tabela 1 apresenta os resultados médios dos parâmetros analisados.

Tabela 1: Valores médios (\pm dp) dos parâmetros, em repouso e em CVM

Parâmetro	repouso	CVM
Ang pen(°)	15,8 (\pm 1,6)	22,5 (\pm 2,9)*
L fasc. (mm)	57,0(\pm 7,3)	43,7(\pm 4,6)**

*p =0,000655

**p=0,000805

DISCUSSÃO

Os valores encontrados neste estudo foram comparados com relatados na literatura, sumarizados na tabela 2.

Tabela 2: Estudos anteriores com metodologia similar à adotada neste estudo

Autores	L fascículo (mm)		Âng_penação (°)	
	repouso	CVM	repouso	CVM
Kawakami [14]	56 \pm 8	38 \pm 6	13 \pm 1	24 \pm 4
Maganaris[20]	74 \pm 3,4	35 \pm 3	11,3 \pm 1,2	35 \pm 2,4
Chow [18]	44,6 \pm 8,4	-	15,5 \pm 3	-
Maganaris [16]	-	41 \pm 6	-	27 \pm 4
Maganaris[1]	56 \pm 4	33 \pm 2	-	24 \pm 4

Os valores do comprimento do fascículo em repouso obtidos ratificam os estudos com metodologia similar, como os de Kawakami *e cols* [14], Chow *e cols* [18] e Maganaris [1]. O trabalho de Maganaris *e cols* [16] foi metodologicamente diferente, em que os indivíduos apresentavam o joelho com flexão de 90°. Neste caso, o músculo já estaria em condição encurtada, favorecendo um aumento do ângulo de penação para um rearranjo da unidade músculo-tendínea. Além disso, o cálculo do ângulo de penação também foi diferente, definido por ele, neste estudo, como o ponto de interseção do fascículo com a aponeurose externa e não com a interna como neste e nos demais trabalhos. Esta abordagem pode ter resultado em maiores valores do ângulo de penação em CVM.

O comportamento do comprimento do fascículo em CVM encontrado ratifica os outros trabalhos. A redução de aproximadamente 23,3% foi menor do que os reportados com metodologia similar (32% para Kawakami *e cols* [14] e 41%

para Maganaris [1]). Possíveis explicações remontam à questão metodológica. Alguns indivíduos do grupo estudado relataram incômodo na fixação do pé ao pedal, fato que poderia ter interferido na realização da força máxima. A falha em atingir a CVM caracterizaria uma menor diminuição do comprimento do fascículo. A fixação do tornozelo durante a CVM é um problema relatado em vários estudos. Durante a CVM, mesmo sendo uma contração isométrica, há movimentação interna na articulação do tornozelo. Caso não seja firmemente fixado ao pedal, durante a CVM, o tornozelo pode apresentar ainda movimentação articular significativa, o que interferiria na medição destes parâmetros [19]. Para evitar tais movimentos, optamos por uma forte fixação do pé, gerando desconforto em alguns indivíduos e contribuindo para que não tenham conseguido atingir a CVM. Isto pode explicar os menores valores do ângulo de penação em CVM encontrados neste estudo. Já o ângulo de penação em repouso está de acordo com os demais estudos.

A utilização de outras técnicas de medição durante a CVM, como a dinamometria e a eletromiografia, podem contribuir, em futuros estudos, para a melhoria desta metodologia, uma vez que são indicativos de produção de força máxima.

CONCLUSÃO

Este estudo descreveu a redução do comprimento de fascículo e o aumento do ângulo de penação do m. gastrocnêmio, em contração voluntária máxima a partir do repouso, obtendo valores compatíveis com a literatura. A aplicação desta metodologia parece ser adequada na

medição destes parâmetros biomecânicos *in vivo*, proporcionando um maior acurácia dos valores estimados nos modelos matemáticos.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi parcialmente financiado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- [1] Maganaris, C N. A predictive model of moment angle characteristics in human skeletal muscle: Application and validation in muscles across the ankle joint. *J Theor Biol* 2004; 230:89-98.
- [2] Chang, Y, Su, F, Wu, H, An K. Optimum length of muscle contraction. *Clin Biomec* 1999; 14:537-42.
- [3] Herzog, W, Read, L J, Keurs H E D J. Experimental determination of force-length relations of intact human gastrocnemius. *Clin Biomech* 1991; 6:230-8.
- [4] Miyatani M, Kanehisa H, Ito M, Kawakami Y, Fukunaga T. The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91: 264 – 72.
- [5] Narici M. Human skeletal muscle architecture studied *in vivo* by non-

- invasive imaging techniques: functional significance and applications. *J Electromyogr Kinesiol* 1999; 9: 97-103.
- [6] Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, Kanehisa H. Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiol Scand* 2001; 172 (4): 249-55
- [7] Herbert R D, Gandevia S C. Changes in pennation with joint angle and muscle torque - in-vivo measurements in human brachialis muscle. *J Physiol London* 1995; 484 (2): 523-32
- [8] Kawakami Y, Abe T, Kuno S Y, Fukunaga T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol* 1995; 72 (1-2): 37-43
- [9] Chleboun G S, France A R, Crill M T, Braddock H K, Howell J N. In vivo measurement of fascicle length and pennation angle of the human biceps femoris muscle. *Cells Tissues Organs* 2001; 169 (4): 401-9
- [10] Fukunaga T, Ichinose Y, Ito M, Kawakami Y, Fukashiro S. Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *J Appl Physiol* 1997; 82 (1): 354-8
- [11] Fukunaga T, Kawakami Y, Kuno S, Funato K, Fukashiro S. Muscle architecture and functions in humans. *J Biomech* 1997; 30: 457-63.
- [12] Maganaris C N. In vivo measurement-based estimations of the moment arm in the human tibialis anterior muscle-tendon unit. *J Biomec* 2000; 33(3): 375-9
- [13] Herbert R D, Moseley A M, Butler J E, Gandevia S C. Change in length of relaxed muscle fascicles and tendons with knee and ankle movement in humans. *J Physiol* 2002; 539.2:637-45.
- [14] Kawakami Y, Ichinose Y, Fukunaga T. Architectural and functional features of human triceps surae muscles during contraction. *J Appl Physiol* 1998; 85: 398 - 404.
- [15] Kawakami Y, Abe T, Kanehisa H, Fukunaga T. Human skeletal muscle size and architecture: Variability and interdependence. *Am J Human Biol* 2006; 18 (6): 845-8
- [16] Maganaris, C N. Force-Length Characteristics of the In vivo human Gastrocnemius Muscle. *Clin Anat* 2003; 16:215-23.
- [17] Narici M V, Maganaris C N, Reeves N D, Capodaglio P. Effect of aging on human muscle architecture. *J. Appl Physiol* 2003; 95: 2229-34.
- [18] Chow R S, Medri M K, Martin D C, Leekam R N, Agur A M, McKee N H. Sonographic studies of human soleus and gastrocnemius muscle architecture:

gender variability. *Eur J Appl Physiol* 2000; 82:236-44

[19] Karamanidis K, Stafilidis S, DeMonte G, Morey-Klapsing G, Brüggemann G P, Arampatzis A. Inevitable joint angular rotation affects muscle architecture during isometric contraction. *J Electromyogr Kinesiol* 2005; 15: 608 – 16.

[20] Maganaris C N, Baltzopoulos V, Sargeant A J. *In vivo* measurements of the triceps surae complex architecture in man: implications for muscle function. *J Physiol* 1998; 512:603-14.

[21] Maganaris C N. Validity of procedures involved in ultrasound-based measurement of human plantarflexor tendon elongation on contraction. *J Biomec* 2005; 38 (1): 9-13

[22] Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol* 2001; 90:520-27

e-mail:

biomecanica_ufrj@yahoo.com.br

liliam@bridge.com.br