

Comprimento do fascículo muscular obtido pela ultrassonografia panorâmica e estimado por equações de predição

Muscle fascicle length obtained by panoramic ultrasound and estimated by prediction equations

André Luiz Conveniente Soares¹ , Paulo Sergio Chagas Gomes¹ 

1. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RESUMO

Introdução: A ultrassonografia no modo B é limitada ao tamanho do transdutor, entretanto a técnica panorâmica permite mensurar o comprimento do fascículo sem a necessidade de utilizar equações de predição. **Objetivo:** Comparar o comprimento do fascículo do vasto lateral obtido pela ultrassonografia panorâmica e estimado por equações trigonométricas. **Métodos:** Participaram do estudo 15 homens com idades de 24 ± 6 anos. A pesquisa caracteriza-se como um estudo observacional comparativo de visita única. Foi realizada uma imagem de ultrassonografia panorâmica do vasto lateral através de um transdutor linear de 4 cm, com frequência de 10 MHz e 6 cm de profundidade de imagem, através de uma varredura de 13 cm. Após a coleta das imagens, foi comparado o comprimento do fascículo panorâmico e estimado por duas equações de predição diferentes. **Resultados:** A ANOVA de uma via não detectou diferença significativa ($P = 0,093$). As análises de diferença percentual, coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa e coeficiente de correlação de Pearson entre a diferença e a média da medida panorâmica em comparação a equação 1 ($\Delta = 24,1\%$; $R^2 = 0,68$; EPE = 0,9 cm; $r = 0,796$; $p = 0,000$) e equação 2 ($\Delta = 17,4\%$; $R^2 = 0,48$; EPE = 1,1 cm; $r = 0,695$; $p = 0,004$) indicaram viés de proporção. **Conclusão:** Apesar de não ter sido observada diferença significativa entre as equações de predição e a medida panorâmica, as equações trigonométricas apresentaram uma superestimativa do comprimento do fascículo e uma baixa concordância com a medida de referência.

Palavras-chave: exercício físico; hipertrofia; músculo quadríceps; reprodutibilidade dos testes; treinamento de força.

ABSTRACT

Introduction: B-mode ultrasound is limited to the size of the transducer. However, the panoramic technique allows measuring the fascicle length without using prediction equations. **Objective:** To compare the fascicle length of the vastus lateralis obtained by panoramic ultrasound and estimated by trigonometric equations. **Methods:** Fifteen men aged 24 ± 6 participated in the study. The research is characterized as a single-visit comparative observational study. A panoramic ultrasound image of the vastus lateralis was performed using a 4 cm linear transducer, with a frequency of 10 MHz and 6 cm of image depth, through a 13 cm scan. After collecting the images, the panoramic fascicle length was compared and estimated by two different prediction equations. **Results:** One-way ANOVA detected no significant difference ($P = 0.093$). The analysis of percentage difference, coefficient of determination, standard error of the estimate, and Pearson correlation coefficient between the difference and the average of the panoramic measure compared to equation 1 ($\Delta = 24.1\%$; $R^2 = 0.68$; SEE = 0.9 cm; $r = 0.796$; $p = 0.000$) and equation 2 ($\Delta = 17.4\%$; $R^2 = 0.48$; SEE = 1.1 cm; $r = 0.695$; $p = 0.004$) indicated proportion bias. **Conclusion:** Although no significant difference was observed between the prediction equations and the panoramic measure, the trigonometric equations showed an overestimated fascicle length and a low agreement with the reference measure.

Keywords: exercise; hypertrophy; quadriceps muscle; reproducibility; resistance training.

Recebido em: 18 de novembro de 2022; Aceito em: 15 de dezembro de 2022.

Correspondência: André Luiz Conveniente Soares, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier, 524, Bloco F, 8º andar, Sala 8104, Maracanã, 20550-900 Rio de Janeiro RJ. andresoares94@hotmail.com

Introdução

A ultrassonografia (US) no modo B é comumente utilizada para monitorar adaptações derivadas de reabilitação de lesão [1], treinamento resistido [2], alongamento [3] e atrofia muscular [4]. A US é uma técnica simples e confiável para determinar as variáveis da arquitetura muscular, tais como espessura muscular (EM), comprimento do fascículo (CF) e ângulo de penação (AP) [5,6].

As adaptações do CF estão associadas ao tipo [7] e velocidade de contração [8], assim como a amplitude do movimento [9]. Logo, gestos motores como saltos [10], sprints [11] e ações de potência muscular no geral são beneficiadas pela adição de sarcômeros em série [12]. A determinação do CF se justifica em estudo com tratamento, no qual se busca aprimorar a relação força-velocidade [13].

Mais recentemente, a técnica de US panorâmica demonstrou a possibilidade de fornecer um campo de visão estendido em uma única varredura de forma consistente [14]. A US panorâmica permite ao avaliador observar uma parte extensa do músculo de interesse sem a limitação do tamanho do transdutor, através da renderização das imagens estáticas sobrepostas [15]. Dessa forma, é possível observar a EM em diferentes porções do mesmo músculo [16] e poder quantificar todo o CF sem a necessidade de usar equações de predição.

As equações de predição do CF partem do pressuposto que as aponeuroses superficial e profunda do músculo são paralelas. As equações trigonométricas, como as de Finni *et al.* [17] e Kawakami *et al.* [18], assumem que o CF, EM e a aponeurose profunda formam um triângulo retângulo, o que não necessariamente se sustenta, pois as aponeuroses e os fascículos não são lineares [19]. Essas equações foram desenvolvidas por pesquisadores que não tinham acesso a uma tecnologia mais avançada e ficavam limitados ao tamanho do transdutor. Entretanto, com o aprimoramento dos softwares e hardwares, atualmente pode-se renderizar imagens panorâmicas em um aparelho de ultrassom, podendo realizar comparações entre as medidas de CF panorâmico e estimado por equações.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi determinar a diferença e a concordância do CF do vasto lateral obtido pela US panorâmica e estimado por equações trigonométricas.

Métodos

Amostra

Participaram do estudo 15 homens universitários, com idade de 24 ± 6 anos, estatura de $1,77 \pm 0,06$ m e massa corporal de $74,6 \pm 8,1$ kg. A amostra foi por conveniência e composta por alunos de graduação em Educação Física e Desportos. Os critérios de elegibilidade foram: ter idade entre 18 e 40 anos, IMC < 30 kg/m², não possuir lesão musculoesquelética ou restrições existentes na saúde de acordo com o questionário PAR-Q e não utilizar suplementação nutricional ou recurso farmacológico.

Antes de ingressar no estudo, todos os participantes leram e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. A pesquisa foi aprovada pelo comitê de ética em pesquisa do Hospital Universitário Pedro Ernesto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, sob o número de protocolo 2.531.389 (CAAE: 76693917.2.0000.5259).

Delineamento do estudo

A pesquisa caracteriza-se como um estudo observacional comparativo. Os participantes realizaram visita única ao laboratório e foram instruídos previamente a não realizarem qualquer tipo de atividade física moderada ou intensa por pelo menos 48 horas antes da visita. Antes de iniciar os procedimentos, os sujeitos ficaram deitados em repouso sobre uma maca por 20 minutos para estabilizar o fluido intramuscular.

Procedimentos

Para realizar a imagem de US panorâmica do músculo vasto lateral, o indivíduo permaneceu em decúbito dorsal e foi posicionado um trilho guia, feito de espuma de polietileno, a 40% da borda superior lateral do trocanter maior do fêmur e do limite superior do epicôndilo lateral da tíbia, com uma inclinação de cerca de 15° entre o trocanter maior do fêmur e a região superior da patela, como demonstrado na figura 1 [20]. As imagens da US panorâmica foram registradas por um pesquisador através de um ultrassonógrafo GE LOGIQe (GE Healthcare, Chicago, IL, EUA) com um transdutor linear 12L-RS de 4 cm, com frequência de 10 MHz e 6 cm de profundidade de imagem. Posteriormente, foi realizada uma varredura de 13 cm sobre a pele com auxílio de um gel condutor (Mercur, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil) realizando um mínimo de pressão para não deformar os tecidos.

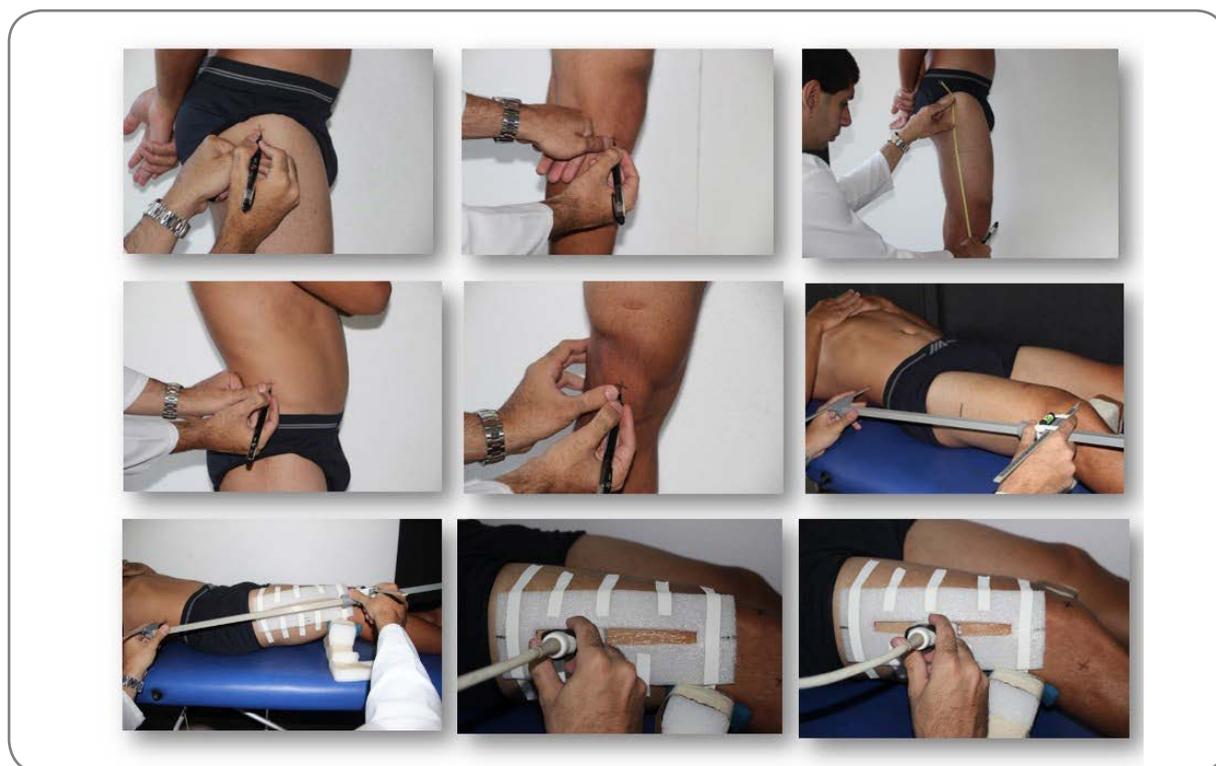
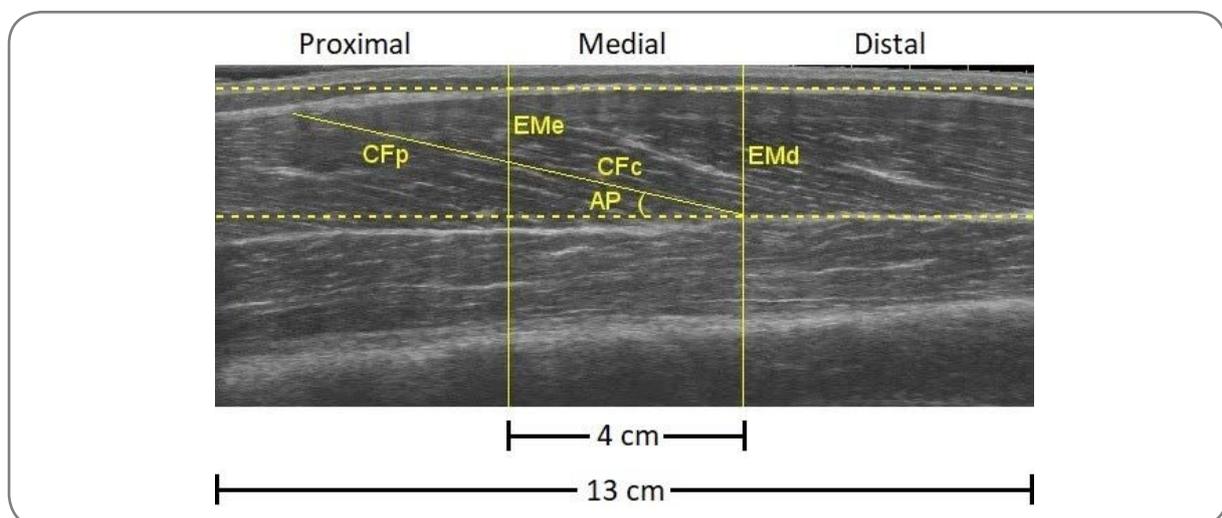


Figura 1 - Identificação dos sítios anatômicos para o posicionamento do trilho guia e manipulação do transdutor sobre o músculo vasto lateral

Após a coleta das imagens, um pesquisador independente codificou os arquivos e dividiu as imagens panorâmicas de 13 cm em 3 porções: proximal, medial e distal. A porção medial se localizava no centro da imagem e era limitada pelo tamanho típico de um transdutor de 4 cm. As análises das imagens foram realizadas com um software de imagem de acesso livre (ImageJ, ver. 1.50f, National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA), onde foram quantificados o comprimento do fascículo panorâmico (CFp), comprimento do fascículo convencional (CFc), espessura muscular direita (EMd), espessura muscular esquerda (EMe) e AP. As medidas de EM foram mensuradas no modo linha reta, o CF no modo linha segmentada e o AP no modo ferramenta de ângulo. As medidas do CFp foram comparadas aos CF estimados utilizando as equações 1 e 2, de Finni *et al.* [17] e Kawakami *et al.* [18], respectivamente. Na figura 2 encontra-se uma imagem típica do músculo vasto lateral observada pela US panorâmica e as demarcações típicas daquelas normalmente usadas com a medida convencional para a predição do CF através das equações trigonométricas.



AP = ângulo de penação; CFc = comprimento do fascículo convencional; CFp = comprimento fascículo panorâmico; EMd = espessura muscular direita; EMe = espessura muscular esquerda

Figura 2 - Imagem da ultrassonografia panorâmica do vasto lateral e as demarcações típicas da ultrassonografia convencional

$$\text{Equação 1, Finni et al. [17]: } CFc + \frac{EMe}{\text{sen}(AP)}$$

$$\text{Equação 2, Kawakami et al. [18]: } CFc = \frac{EMd}{\text{sen}(AP)}$$

Confiabilidade e erro da medida

Em estudo recente realizado pelo nosso laboratório, observou-se em medidas realizadas em dias diferentes, alta consistência ($CCI_{EM} = 0,964$; $CCI_{CF} = 0,947$; $CCI_{AP} = 0,942$), baixo erro absoluto ($ETM_{EM} = 0,07$ cm; $ETM_{CF} = 0,31$ cm; $ETM_{AP} = 0,92^\circ$) e baixa variabilidade entres as medidas ($CV_{EM} = 2,9\%$; $CV_{CF} = 2,9\%$; $CV_{AP} = 4,1\%$) [21]. Dessa forma, é possível atribuir um maior poder de certeza aos resultados da comparação entre o CF obtido pela US panorâmica e estimado pelas equações 1 e 2 que utilizaram as variáveis EM, AP e o próprio CF para o cálculo de predição.

Análise estatística

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para testar a normalidade da distribuição das medidas de CF e para as variáveis de predição (AP, CFe, CFc, EMd e EMe). Para determinar a diferença entre as três técnicas de medidas usadas para determinação do CF, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) de uma via, por se tratarem de medidas diferentes, portanto independentes. Também foi calculada a média das diferenças percentuais individuais ($\Delta = [CFp - CFe] \times 100 / CFp$) entre as técnicas de medida do CF. A análise de regressão linear, seguida do coeficiente de determinação (R^2) e do erro padrão da estimativa (EPE) foram utilizados para verificar como a variação do CF predito pelas equações 1 e 2 explicam a variação da medida panorâmica. Para determinar a concordância entre as técnicas foi realizada a análise gráfica de Bland-Altman [22], seguida do coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a diferença e a média das medidas de CF para cada uma das duas equações utilizadas. O nível de significância adotado foi de $P < 0,05$ e todas as análises foram realizadas através do software Statistical Package for the Social Sciences (IBM Corp. Released 2012. IBM SPSS Statistics for Windows, Versão 21.0. Armonk, NY: IBM Corp.).

Resultados

O teste de Shapiro-Wilk não identificou afastamento da normalidade para todas as medidas de CF e para as variáveis de predição (AP, CFe, CFc, EMd e EMe) ($P > 0,05$). A ANOVA de uma via não detectou diferença significativa entre os CFs panorâmico e os preditos pelas equações 1 e 2 ($F = 2,519$; $P = 0,093$). Entretanto, a comparação da diferença percentual entre a medida panorâmica e a equação 1 ($\Delta = 24,1\%$) e a equação 2 ($\Delta = 17,4\%$) sugere superestimativa da medida de CF. A figura 3 mostra de forma gráfica a média e o desvio padrão das técnicas de medida do CF. A figura 4 apresenta as análises de regressão linear, R^2 , EPE, Bland-Altman e r de Pearson entre a diferença e a média das medidas de CF.

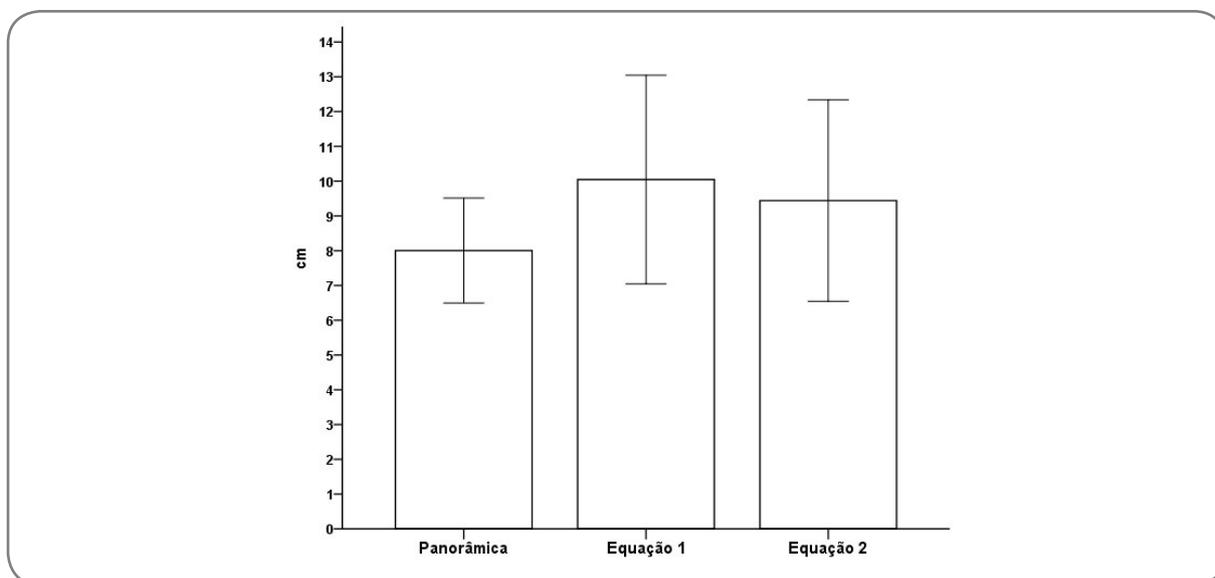


Figura 3 - Análise descritiva (média \pm desvio padrão) do comprimento do fascículo em centímetros (cm) obtido pela ultrassonografia panorâmica e pelas equações de predição

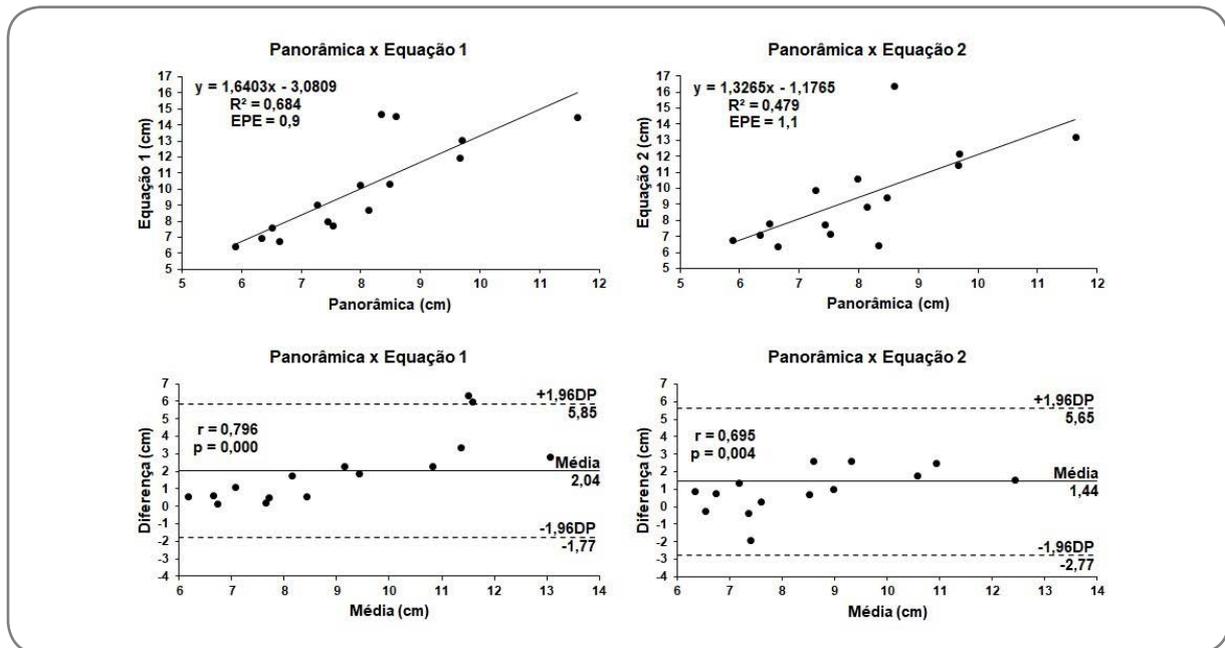


Figura 4 - Análise de regressão linear seguida do coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (EPE), e Bland-Altman seguido do coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a diferença e a média das medidas do comprimento do fascículo panorâmico e predito pelas equações 1 e 2

Discussão

O CF obtido pela US panorâmica serviu de referência para comparar com o CF predito pelas equações de Finni *et al.* [17] e Kawakami *et al.* [18]. No entanto, não foi observada diferença significativa entre o CF do vasto lateral obtido pela US panorâmica e predito pelas equações trigonométricas ($P = 0,093$).

Apesar da equação 1 ter apresentado uma variabilidade menor em comparação a medida panorâmica ($R^2 = 0,684$; EPE = 0,9 cm), houve uma superestimativa percentual ($\Delta = 24,1\%$) maior quando comparado a equação 2 ($\Delta = 17,4\%$), que apresentou uma variabilidade maior ($R^2 = 0,479$; EPE = 1,1 cm). Além disso, a análise gráfica de Bland-Altman, seguida pelo r de Pearson entre a diferença e a média, mostraram viés de proporção na comparação do CF panorâmico com a equação 1 ($r = 0,796$; $p = 0,000$) e equação 2 ($r = 0,695$; $p = 0,004$). Os erros observados e os valores de CF superestimados pelas equações 1 e 2 reforçam que é necessário cautela ao utilizar equações de predição do CF no vasto lateral.

Embora não tenha havido diferença estatísticas entre as técnicas, não se pode assumir que quando realizadas intervenções, como treinamento resistido, as medidas de predição do CF do vasto lateral serão reprodutíveis ao longo do tempo. Reeves *et al.* [23] observaram um aumento de 10,7% no CF utilizando a equação de Finni *et al.* [17], entretanto a adaptação foi inferior a diferença percentual de 24,1% encontrada pela equação 1 em comparação a medida de referência. Alegre *et al.* [24] detectaram um incremento de 10,5% no CF utilizando a equação de Kawakami *et al.* [18], porém a diferença percentual entre a equação 2 e a medida panorâmica foi de 17,4% no presente estudo.

A equação 1 [17] foi desenvolvida a partir da medida do CF limitada ao campo de visão da US convencional, com base na distância entre o final do CFc na parte proximal da imagem até a aponeurose superficial e do seno do AP. A medida do CF, estimado pela equação 2 [18], foi desenvolvida a partir de uma relação trigonométrica, a qual necessita das medidas da EM da parte distal da imagem e do seno do AP. Em contrapartida, a imagem produzida pela US panorâmica permite a visualização total do fascículo alvo.

As equações de predição não se limitam ao músculo vasto lateral, mas a qualquer músculo penado. Um estudo semelhante comparou diferentes equações de predição do CF com a medida panorâmica do CF do bíceps femoral obtido pela US panorâmica [25]. Entretanto, cabe ressaltar que estudos anteriores que visaram determinar a diferença entre a medida do CF de referência e equações de predição utilizaram métodos estatísticos diferentes. Alguns estudos consideraram as diferentes técnicas como medidas repetidas [19,25,26] e outros não [27,28]. Isto pode ser uma limitação na hora de comparar os resultados dos diferentes estudos. No presente estudo, as diferentes técnicas de predição do CF foram consideradas como medidas independentes.

Como mostrado anteriormente, as equações de predição partem do pressuposto que as aponeuroses superficial e profunda do músculo são paralelas e que o fascículo é sempre uma reta, deixando claro as limitações da US convencional para medir o CF em toda sua extensão [28]. Por outro lado, para realizar a medida panorâmica é necessário um avaliador experiente e que mantenha a prática constante para obter imagens renderizadas sem deformação dos tecidos [29]. Portanto, nosso laboratório sugere que antes de coletar e quantificar as medidas do CF panorâmico ou estimado, o avaliador seja treinado em todo o processo (marcação dos pontos anatômicos, aquisição da imagem pela US e medida do CF via software) e tenha sua confiabilidade e erro da medida testados previamente.

Conclusão

Apesar de não ter sido observada diferença significativa entre as equações de predição e a medida de referência, as equações trigonométricas apresentaram uma superestimativa do CF. Portanto, na ausência da técnica panorâmica, pode-se utilizar as equações 1 e 2 para predizer o CF do vasto lateral obtido pela US convencional. Porém, deve-se ser cauteloso ao interpretar os resultados, visto que não houve uma alta concordância com a medida de referência e isso pode ser um fator de erro em casos de intervenções que realizam medidas repetidas.

Vinculação acadêmica

Este artigo representa o produto final de uma disciplina de Doutorado realizada pelo Me. André Luiz Coniente Soares, orientado pelo Dr. Paulo Sergio Chagas Gomes.

Fonte de financiamento

Soares ALC é bolsista de doutorado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ). Processo: 260003/014681/2022

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuições dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Soares ALC, Gomes PSC; **Obtenção de dados:** Soares ALC; **Análise e interpretação dos dados:** Soares ALC, Gomes PSC; **Análise estatística:** Soares ALC, Gomes PSC; **Redação do manuscrito:** Soares ALC; **Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante:** Gomes PSC

Referências

1. Devrimsel G, Metin Y, Beyazal MS. Short-term effects of neuromuscular electrical stimulation and ultrasound therapies on muscle architecture and functional capacity in knee osteoarthritis: a randomized study. *Clin Rehabil* 2019;33(3):418-27. doi: 10.1177/0269215518817807
2. Ema R, Wakahara T, Miyamoto N, Kanehisa H, Kawakami Y. Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training. *Eur J Appl Physiol* 2013;113(11):2691-2703. doi: 10.1007/s00421-013-2700-1
3. Blazeovich AJ, Cannavan D, Waugh CM, Miller SC, Thorlund JB, Aagaard P *et al.* Range of motion, neuromechanical, and architectural adaptations to plantar flexor stretch training in humans. *J Appl Physiol* 2014;117(5):452-62. doi: 10.1152/jappphysiol.00204.2014
4. Yang JH, Eun SP, Park DH, Kwak HB, Chang E. The effects of anterior cruciate ligament reconstruction on individual quadriceps muscle thickness and circulating biomarkers. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16(24):4895. doi: 10.3390/ijerph16244895
5. Oranchuk DJ, Nelson AR, Storey AG, Cronin JB. Variability of regional quadriceps architecture in trained men assessed by B-mode and extended-field-of-view ultrasonography. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15(3):430-36. doi: 10.1123/ijsp.2019-0050
6. Chino K, Akagi R, Dohi M, Takahashi H. Measurement of muscle architecture concurrently with muscle hardness using ultrasound strain elastography. *Acta Radiol* 2014;55(7):833-9. doi: 10.1177/0284185113507565
7. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Shield AJ, Williams MD, *et al.* Architectural changes of the biceps femoris long head after concentric or eccentric training. *Med Sci Sports Exerc* 2016;48(3):499-508. doi: 10.1249/MSS.0000000000000795
8. Lieber RL, Fridén J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve* 2000;23(11):1647-66. doi: 10.1002/1097-4598(200011)23:11<1647::aid-mus1>3.0.co;2-m
9. Valamatos MJ, Tavares F, Santos RM, Veloso AP, Mil-Homens P. Influence of full range of motion vs. equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *Eur J Appl Physiol* 2018;118(9):1969-83. doi: 10.1007/s00421-018-3932-x
10. Nikolaidou ME, Marzilger R, Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A. Operating length and velocity of human M. vastus lateralis fascicles during vertical jumping. *R Soc Open Sci* 2017;4(5):170185. doi: 10.1098/rsos.170185
11. Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S, Mizuno M. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol* 2000;88(3):811-6. doi: 10.1152/jap.2000.88.3.811
12. Thom JM, Morse CI, Birch KM, Narici MV. Influence of muscle architecture on the torque and power-velocity characteristics of young and elderly men. *Eur J Appl Physiol* 2007;100(5):613-9. doi: 10.1007/s00421-007-0481-0
13. Blazeovich AJ. Effects of physical training and detraining, immobilisation, growth and aging on human fascicle geometry. *Sports Med* 2006;36(12):1003-17. doi: 10.2165/00007256-200636120-00002
14. Hagoort I, Hortobágyi T, Vuillerme N, Lamoth CJC, Murgia A. Age- and muscle-specific reliability of muscle architecture measurements assessed by two-dimensional panoramic ultrasound. *Biomed Eng*

Online 2022;21(1):15. doi: 10.1186/s12938-021-00967-4

15. Elliott ST. A user guide to extended field of view in ultrasonography. *Ultrasound* 2006;14(1):55-8. doi: 10.1179/174313405X83597
16. Arruda BR, Soares ALC, Carvalho RF, Gomes PSC. Reliability and measurement error of the proximal, medial and distal portions of the vastus lateralis muscle thickness measured with extended field of view ultrasonography. *Kinesiol* 2022;54(1):107-14. doi: 10.26582/k.54.1.11
17. Finni T, Ikegawa S, Lepola V, Komi PV. Comparison of force-velocity relationships of vastus lateralis muscle in isokinetic and in stretch-shortening cycle exercises. *Acta Physiol Scand* 2003;177(4):483-91. doi: 10.1046/j.1365-201X.2003.01069.x
18. Kawakami Y, Abe T, Kuno SY, Fukunaga T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;72(1-2):37-43 doi: 10.1007/BF00964112
19. Pimenta R, Blazeovich AJ, Freitas SR. Biceps femoris long-head architecture assessed using different sonographic techniques. *Med Sci Sports Exerc* 2018;50(12):2584-94. doi: 10.1249/MSS.0000000000001731
20. Gomes PSC, Soares ALC, Meirelles CM. Técnicas ultrassonográficas para determinação de medidas de arquitetura e qualidade muscular: aplicações nas áreas de ciências do exercício, esporte e saúde. In: Neves AN, Muniz AMS, Meirelles CM, et al. *Ciência aplicada ao exercício físico e ao esporte*. 1 ed. Curitiba: Appris, 2022. p.221-35.
21. Soares ALC, Nogueira FS, Gomes PSC. Assessment methods of vastus lateralis muscle architecture using panoramic ultrasound: a new approach, test-retest reliability and measurement error. *Braz J Kinesiol Hum Perform* 2021;23:e76402. doi: 10.1590/1980-0037.2021v23e76402
22. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;327(8476):307-10. doi: 10.1016/S0140-6736(86)90837-8
23. Reeves ND, Narici MV, Maganaris CN. Effect of resistance training on skeletal muscle-specific force in elderly humans. *J Appl Physiol* 2004;96(3):885-92. doi: 10.1152/jappphysiol.00688.2003
24. Alegre LM, Jiménez F, Gonzalo-Orden JM, Martín-Acero R, Aguado X. Effects of dynamic resistance training on fascicle length and isometric strength. *J Sports Sci* 2006;24(5):501-8. doi: 10.1080/02640410500189322
25. Franchi MV, Fitze DP, Raiteri BJ, Hahn D, Spörri J. Ultrasound-derived biceps femoris long head fascicle length: extrapolation pitfalls. *Med Sci Sports Exerc* 2020;52(1):233-43. doi: 10.1249/MSS.0000000000002123
26. Ripley N, Comfort P, McMahon J. Comparison between methods to estimate bicep femoris fascicle length from three estimation equations using a 10 cm ultrasound probe. *Meas Phys Educ Exerc Sci* 2022. doi: 10.1080/1091367X.2022.2063689
27. Ando R, Taniguchi K, Saito A, Fujimiya M, Katayose M, Akima H. Validity of fascicle length estimation in the vastus lateralis and vastus intermedius using ultrasonography. *J Electromyogr Kinesiol* 2014;24(2):214-20. doi: 10.1016/j.jelekin.2014.01.003
28. Brusco CM, Pinto RS, Blazeovich AJ. Reliability and comparison of sonographic methods for in vivo measurement of human biceps femoris long-head architecture. *Med Sci Sports Exerc* 2022;54(2):2216-26. doi: 10.1249/MSS.0000000000003015
29. Cleary CJ, Nabavizadeh O, Young KL, Herda AA. Skeletal muscle analysis of panoramic ultrasound is reliable across multiple raters. *PLoS One* 2022;17(5):e0267641. doi: 10.1371/journal.pone.0267641

