

Será a morfologia da aponevrose proximal da longa porção do bicípete femoral um fator de risco para a rotura muscular?

Autores

Sandro R. Freitas^{1,2}; Filipe Abrantes¹; Francisco Santos¹; Vasco Mascarenhas³; Mauricio Cerda^{4,5}; Raúl Oliveira^{1,6}; Bruno Mendes^{1,6}; Telmo Firmino^{1,6,7}; João Vaz^{1,8}

sfreitas@fmh.ulisboa.pt

Resumo

Tem sido sugerido que a dimensão da aponevrose proximal (Apo-BFLP) da longa porção do bicípete femoral (BFLP) é um fator de risco a favor da lesão da BFLP, na medida que uma aponevrose de menor dimensão evoca maior deformação durante a contração muscular nessa região e pode assim induzir lesão. Porém, esta hipótese nunca foi testada. Este estudo pretendeu verificar se futebolistas profissionais com historial de rotura na BFLP apresentam menor dimensão da Apo-BFLP em comparação aos seus pares sem historial. Testes de ressonância magnética, e de força isométrica máxima dos flexores do joelho, foram realizados em 40 futebolistas profissionais durante a pré-época. Usou-se um procedimento automatizado, objetivo e reprodutível criado pela nossa equipa de investigação para quantificar a dimensão da Apo-BFLP e BFLP. Verificou-se: i) que a Apo-BFLP do membro lesado do grupo com historial de lesão (n=9) evidenciou um maior volume, em comparação aos membros do grupo sem historial de lesão (n=31, sem diferenças em outros parâmetros morfológicos); e ii) a força isométrica máxima do joelho do membro lesado foi superior em comparação aos membros do grupo sem historial de lesão. Estes resultados sugerem que a dimensão da aponevrose proximal da longa porção do bicípete femoral não é, por si só, diferente entre atletas com e sem historial de rotura na longa porção do bicípete femoral. Como tal, não deverá ser considerado (isoladamente) como fator de risco.

¹ Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

² Laboratórios de Biomecânica e Função Neuromuscular, da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

³ MSK Imaging Unit (UIME), Imaging Center, Hospital da Luz, Lisbon, Portugal

⁴ Anatomy and Developmental Biology Program, Institute of Biomedical Sciences (Chile), Faculty of Medicine, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

⁵ Biomedical Neuroscience Institute, Santiago, Chile

⁶ Laboratório de Função Neuromuscular, da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

⁷ Sport Lisboa e Benfica

⁸ Universidade Europeia, Laureate International Universities, Lisbon, Portugal

Palavras-chave: Futebol; Longa porção do bicípete femoral; Risco de lesão; Rotura muscular

INTRODUÇÃO

A incidência de lesões dos *hamstring* em atletas de modalidades coletivas é elevada (5,12); e, em particular no Futebol, tem crescido nos últimos anos (5). A componente proximal da longa porção do bicípete femoral (BF_{LP}) é a mais afetada (6). Dado o consequente impacto negativo a nível desportivo e financeiro (4,13), é fundamental identificar os fatores de risco associados a esta lesão para que se desenvolvam propostas de prevenção eficazes.

Vários parâmetros biomecânicos têm sido propostos como fatores de risco deste tipo de lesão (14). Um deles é a superfície de contacto entre a região muscular da BF_{LP} e a sua aponevrose proximal ($Apo-BF_{LP}$) (7,8), devido às seguintes razões: i) uma $Apo-BF_{LP}$ que tenha menor dimensão, e por conseguinte menor área de contacto entre a $Apo-BF_{LP}$ com os fascículos musculares da BF_{LP} , favorece uma maior deformação neste interface (9,10); ii) a dimensão da $Apo-BF_{LP}$ é altamente variável entre indivíduos (11); e a dimensão da $Apo-BF_{LP}$ não está relacionado quer com iii) o volume da BF_{LP} ou iv) a força isométrica máxima dos flexores do joelho (7,8). Por isso, é possível que indivíduos com menor dimensão da $Apo-BF_{LP}$ apresentem maior risco de lesão do BF_{LP} , dado que poderão exibir maior deformação ao nível do interface entre a BF_{LP} e a $Apo-BF_{LP}$. Porém esta hipótese nunca foi testada, porque os estudos anteriores nunca compararam (retrospectivamente) atletas com e sem historial de lesão na BF_{LP} . De notar que os estudos anteriores usaram uma metodologia subjetiva na quantificação da dimensão da $Apo-BF_{LP}$ (9,10). Este aspeto é crítico, pois favorece uma baixa reprodutibilidade na quantificação da dimensão da $Apo-BF_{LP}$.

Este estudo pretendeu verificar se futebolistas profissionais com historial de lesão no BF_{LP} nos últimos 3 anos apresentam diferenças de tamanho na $Apo-BF_{LP}$. Considerando estudos anteriores (7,8,10,11,17), hipotetizou-se que atletas com histórico de lesão teriam uma $Apo-BF_{LP}$ com menor dimensão e área de contacto com o BF_{LP} , comparativamente a atletas sem historial de lesão. Adicionalmente, foram reexaminados os pressupostos reportados nos estudos prévios supracitados. Para

este fim, foi usado um procedimento semi-automático, com critério de medição objetivo, desenvolvido pela nossa equipa para quantificar a dimensão e forma da Apo-BF_{LP}.

MÉTODOS

Participantes

Futebolistas masculinos de uma equipa profissional ($n=40$, 24.5 ± 4.9 anos, 1.81 ± 0.08 m, 78.9 ± 7.9 kg), aceitaram participar neste estudo, tendo assinado um consentimento informado antes do estudo. A amostra foi estimada usando o software G* Power (v3.1.9.2), para um efeito de tamanho largo ($d=1.0$), potência amostral de 80% e nível de significância de 5%; considerando os níveis de prevalência de atletas com historial de lesão no BF_{LP} (5). Este estudo foi aprovado pelo Conselho de Ética da Faculdade de Motricidade Humana (#21/2016).

Protocolo, Equipamentos e Variáveis

Os participantes deste estudo realizaram duas sessões de teste no início de época desportiva: uma sessão para quantificar o volume da BF_{LP}, a dimensão da Apo-BF_{LP} (volume, comprimento, e largura) e área de contacto entre a Apo-BF_{LP} e a BF_{LP}, num teste com ressonância magnética; ii) e uma sessão para quantificar a força isométrica máxima dos flexores da perna, e para levantar o historial clínico relativo às lesões anteriores da BF_{LP}. As sessões foram separadas por menos de 48 horas, sendo que os atletas não treinaram pelo menos durante 96 horas antes da primeira sessão, e entre sessões.

Na primeira sessão, um equipamento de ressonância magnética (3-T, Siemens Verio 3T MR; Erlangen, Germany) foi usado para digitalizar a dimensão da Apo-BF_{LP} dos dois membros numa posição de decúbito ventral, com as articulações coxofemorais em posição neutra e os joelhos em extensão completa. Imagens no plano axial, ponderadas em T1 e sem supressão de gordura, foram adquiridas por um médico radiologista com mais de 10 anos de experiência, desde a espinha íliaca ântero-superior até à cabeça do perónio, em dois blocos contínuos. Cápsulas cheias de óleo foram colocadas lateralmente à coxa dos participantes no sentido de confirmar o alinhamento dos blocos durante a análise. Os seguintes parâmetros de imagem foram

utilizados: matriz de imagem, 512×512; campo de aquisição, 260mm×260mm; resolução espacial, 0.508mm×0.508mm; espessura de corte, 5 mm; intervalo entre cortes, 0 mm; tempo de repetição, 500 ms e tempo de eco, 10 ms.

Na segunda sessão, a força isométrica máxima dos flexores do joelho dos participantes foi testada, com os sujeitos em decúbito ventral (i.e. coxofemoral em posição neutra) e os joelhos a 30° de flexão (0° = extensão completa). Previamente ao teste (~10min), os atletas realizaram um processo de familiarização com o equipamento de teste e um aquecimento (i.e. 15-20 contrações submáximas de 2-3s alternadas entre membros). Este ângulo foi escolhido por se aproximar do ângulo que produz maior força rotacional na flexão do joelho. As medições de força foram realizadas num equipamento desenhado para o efeito (**anexo 3**), com acesso a feedback visual. Foram realizadas 2 repetições para cada membro, tendo as repetições sido alternadas entre membros, com um minuto de descanso entre repetições. A força foi recolhida ao nível do calcanhar (Model STC, Vishay Precision, USA) com uma amostragem de 1000 Hz, amplificada (Model UA73.202, Sensor Techniques, UK), convertida (USB-230 Series, MC; MA, USA), e lida no software DAQami (v4.1, MC; MA, USA). A força recolhida foi multiplicada pela distância do ponto de recolha de força ao estimador do eixo rotacional do joelho (i.e. côndilo femoral externo), visando estimar o momento de força, e permitir a comparação entre sujeitos. Após a sessão, o historial clínico de lesões foi determinado por um médico e um fisioterapeuta, com mais 12 anos de experiência, por via de entrevista, e recorrendo à informação clínica do atleta e em posse do clube que representa. Sobre os atletas cujo departamento médico não tinha informação (n=4), foram contactados os responsáveis médicos dos clubes que os atletas representaram.

Processamento dos dados

Os parâmetros morfológicos da aponevrose foram quantificados usando uma rotina Matlab® construída para o efeito (anexos 1 e 2). Esta rotina permite determinar, em cada corte da ressonância magnética, a (i) área da Apo-BF_{LP} e o (ii) comprimento da zona de interface entre a BF_{LP} e a Apo-BF_{LP}, a partir de um algoritmo e procedimento sistemático (Fig. 1). Considerou-se para a identificação do interface entre a BF_{LP} e a Apo-BF_{LP}, que a Apo-BF_{LP} teria sempre que se apresentar em contato com a BF_{LP}, e

teria de ter uma espessura mínima de 0.72mm.⁹ Previamente à realização deste estudo, verificou-se uma elevada reprodutibilidade intra- (*intraclass correlation coefficient*, ICC=0.79-0.88) e inter-examinador (ICC=0.75-0.82), o que estabeleceu confiança para usar esta técnica no presente estudo.

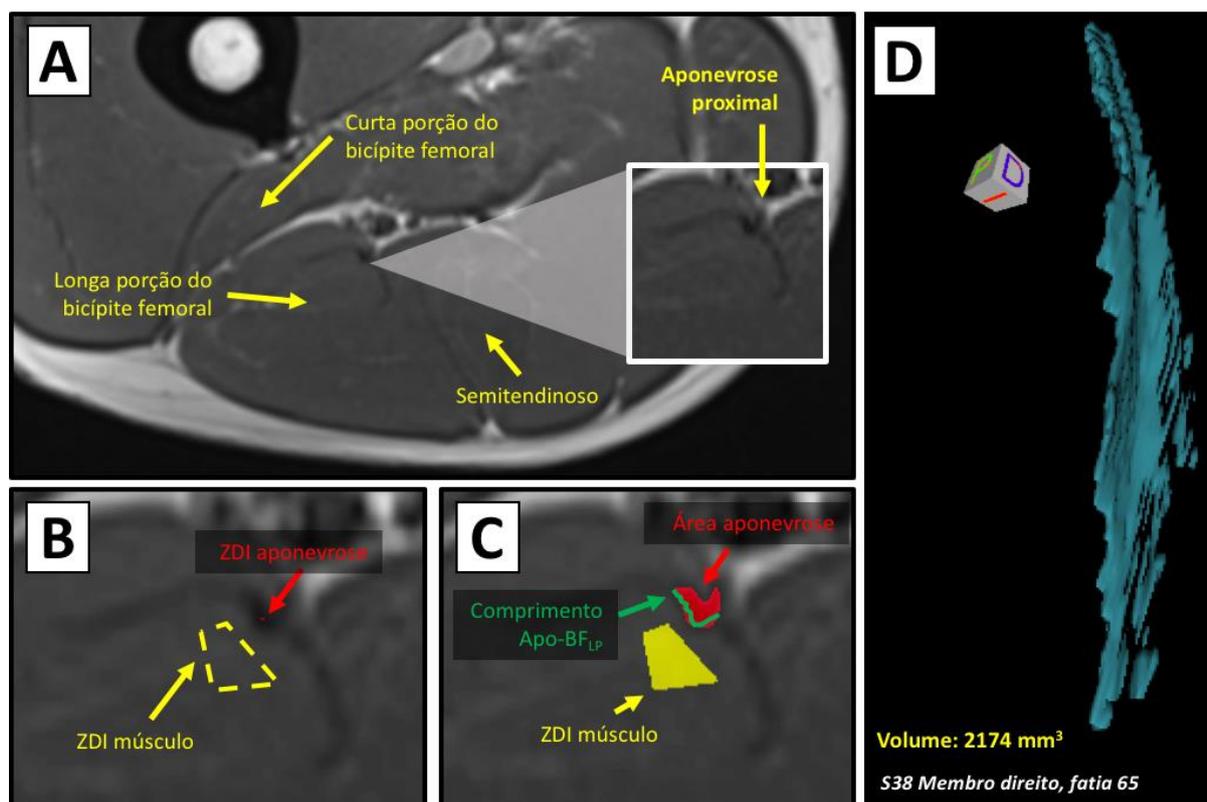


Figura 1. Esquematização do procedimento para digitalização dos parâmetros morfológicos da aponevrose proximal da longa porção do bíceps femoral: (A) identificação da localização da aponevrose proximal e ventre muscular da longa porção do bíceps femoral; (B) ampliação da zona de interesse, e seleção da zona de interesse (ZDI) da aponevrose proximal e ventre muscular da longa porção do bíceps femoral; (C) determinação automática da área aponevrose proximal da longa porção do bíceps femoral, e do comprimento do interface entre a aponevrose e o ventre muscular longa porção do bíceps femoral (i.e. suposta região fascicular); e, (D) representação 3D da aponevrose proximal da longa porção do bíceps femoral, com indicação volumétrica (legenda: D, lado direito; I, lado inferior; P, lado posterior).

⁹ Este critério de 0.72mm representa o valor (médio) de espessura a partir do qual 10 especialistas em análise de morfologia de tecidos moles com ressonância magnética (3 médicos, 3 fisioterapeutas, 4 doutorados em Biomecânica) consideraram que a aponevrose propriamente dita dá lugar à expansão conjuntiva que reveste o músculo. Estes dados foram obtidos (previamente) pelos investigadores do presente estudo, e não se encontram publicados.

O volume da BF_{LP} foi determinado usando o princípio de *Cavalieri*, a partir do somatório das áreas de secção transversa muscular da BF_{LP} (observadas entre as junções miotendinosas) multiplicada por 5 mm (i.e. espessura do corte). As secções transversais foram identificadas por um fisioterapeuta treinado para a identificação da morfologia da BF_{LP}, e por um médico radiologista com mais de 12 anos de experiência.

A média num intervalo de 300 ms em torno do valor máximo das duas repetições da força isométrica máxima dos flexores de cada um dos joelhos foi determinada e considerada para análise estatística.

Análise estatística

O cálculo estatístico foi feito no software SPSS (v20, Chicago, USA). A normalidade dos dados foi determinada usando o teste de *Shapiro-Wilk*. A simetria entre membros dos parâmetros morfológicos da BF_{LP} e da Apo-BF_{LP} foi determinada para os grupos de participantes com e sem historial de lesão na BF_{LP} nos últimos 3 anos, a partir de um teste T-Student para amostras emparelhadas. Para testar a hipótese de que a dimensão da Apo-BF_{LP} do membro com historial de lesão na BF_{LP} apresentava diferenças em comparação aos membros sem historial de lesão, foi feita uma análise da variância univariada. Para testar os pressupostos deste estudo foi determinado(a): i) o coeficiente de variação (CV) dos vários parâmetros morfológicos; e, ii) a correlação entre os parâmetros morfológicos da Apo-BF_{LP} (i.e. volume, comprimento e largura), área de interface entre Apo-BF_{LP} e a BF_{LP}, volume da BF_{LP} e a força isométrica máxima dos flexores do joelho, quantificando o coeficiente de Pearson (r), e classificando como muito fraca (0.00-0.25), fraca (0.26-0.49), moderada (0.50-0.69), forte (0.70-0.89) ou muito forte (0.90-1.00) (2). O nível de significância foi definido em 5%.

RESULTADOS

Dos quarenta atletas observados, nove apresentaram historial de lesão na BF_{LP} nos últimos 3 anos. Em comparação aos atletas sem historial de lesão, apresentaram maior idade ($p=0.004$), massa corporal ($p=0.03$), e força isométrica máxima dos flexores do joelho do membro lesado ($p=0.012-0.03$), embora com simetria entre membros nos dois grupos (Tab. 1).

Tabela 1. Características demográficas, antropométricas, clínicas e funcionais dos participantes do estudo.

Parâmetros	Grupo com Historial Lesão (n=9)	Grupo sem Historial Lesão (n=31)
Idade (anos)	28.6 ± 5.2 #1	23.3 ± 4.3
Altura (m)	1.82 ± 0.09	1.81 ± 0.08
Massa (kg)	83.3 ± 6.7 #1	76.7 ± 0.08
Lateralidade lesão	n=4 esq. ^o / n=5 dt. ^o	---
Tempo de paragem devido à lesão (dias)	28.9 ± 12.9	---
Tempo entre a última lesão e o exame (anos)	1.41±1.04	---
N. ^o atletas com recidiva BF _{LP} nos últimos 5 anos	n=3	---
Força isométrica máxima dos flexores do joelho (Nm) # *	Membro lesado: 196.5 ± 31.9 Membro não lesado: 182.5 ± 23.6	Membro esquerdo: 156.2 ± 31.4 #2 Membro direito: 160.0 ± 31.4 #2

Lêgenda: BF_{LP} - longa porção do bicipete femoral.

Nota (*): Devido a dificuldade operacionais, o teste de força isométrica máxima dos flexores do joelho foi realizado por 33 atletas, dos quais 8 com historial de lesão.

#1 - Diferença significativa ($p<0.05$) entre grupos com e sem historial de lesão. #2 - Diferença significativa ($p<0.05$) em comparação ao membro lesado do grupo com historial de lesão.

Os parâmetros morfológicos dos grupos com e sem historial de lesão analisados no presente estudo encontram-se na Tabela 2. Verificou-se simetria entre membros para os diversos parâmetros morfológicos nos grupos com ($p>0.16$) e sem ($p>0.08$) historial de lesão. O membro não lesado do grupo com historial de lesão apresentou um maior volume em relação aos membros esquerdo ($p=0.03$) e direito ($p=0.07$) do grupo sem

historial de lesão; e sem diferenças entre grupos para os restantes parâmetros morfológicos.

Tabela 2. Parâmetros morfológicos da longa porção do bicípite femoral, da aponevrose proximal da longa porção do bicípite femoral, e do interface entre a aponevrose e a longa porção do bicípite femoral, em atletas de futebol profissional com (n=9) e sem (n=31) historial de lesão da longa porção do bicípite femoral.

Características	Grupo com Historial Lesão (n=9)		Grupo sem Historial Lesão (n=31)	
	Membro lesado	Membro não lesado [#]	Membro Esquerdo	Membro Direito
Volume BF _{LP} (cm ³)	260.9 ± 47.1	257.6 ± 37.7	236.6 ± 28.3	234.9 ± 30.5
Volume Apo (mm ³)	3266.6 ± 1710.5	3692.1 ± 2638.4	2274.1 ± 798.7 #1	2416.2 ± 1038.7
Comprimento Apo (mm)	175.6 ± 39.1	176.7 ± 50.4	162.1 ± 32.9	163.1 ± 32.3
Área Apo-BF _{LP} (mm ²)	1999.0 ± 775.9	1956.4 ± 934.6	1523.1 ± 516.2	1649.5 ± 523.6
Largura média Apo-BF _{LP} (mm)	11.1 ± 2.2	10.7 ± 2.3	9.3 ± 2.1	10.0 ± 2.0

Nota (#): No membro não lesado do grupo com historial de lesão, dois participantes apresentaram lesões na BF_{LP} com 5.4 e 6.3 anos antes do exame (i.e. fora do critério de inclusão para pertencer ao grupo com historial de lesão).

Legenda: Apo – aponevrose proximal da longa porção do bicípite femoral; Apo-BF_{LP} – superfície de contacto entre a região muscular da BF_{LP} e a sua aponevrose proximal; BF_{LP} – longa porção do bicípite femoral.

#1 - Diferença significativa (p<0.05) em comparação ao membro não lesado do grupo com historial de lesão.

Verificou-se coeficientes de variação de 14% (volume da BF_{LP}), 55% (volume da Apo), 22% (comprimento da Apo), 22% (largura da Apo-BF_{LP}) e 38% (área da Apo-BF_{LP}). Face às associações estudadas, verificou-se uma correlação moderada entre o volume da BF_{LP} e o volume da Apo-BF_{LP} (r=0.53, p<0.001), e com a área da Apo-BF_{LP} (r=0.52, p<0.001). Adicionalmente, verificou-se correlação fraca entre a força isométrica máxima dos flexores da perna e o volume da BF_{LP} (r=0.32, p=0.01); e muito fraca correlação com o volume da Apo-BF_{LP}, (r=0.16, p=0.23), e a área da Apo-BF_{LP} (r=0.11, p=0.38).

DISCUSSÃO

Este é o primeiro estudo que testa a hipótese de que atletas de futebol profissional com historial de lesão na BF_{LP} apresentam uma menor dimensão da Apo-BF_{LP}. Verificou-se que: i) não existem diferenças na morfologia e dimensão da Apo-BF_{LP} entre futebolistas profissionais com e sem historial de lesão na BF_{LP}, à exceção do volume da Apo-BF_{LP}; e, ii) nem todos os pressupostos que sustentaram a hipótese deste estudo (e reportado em estudos prévios) se observaram.

Contrariamente ao que se esperava, não se verificaram diferenças entre os atletas com e sem historial de lesão na BF_{LP}, na maioria dos vários parâmetros morfológicos da Apo-BF_{LP}, à exceção do volume da aponevrose que se verificou ser maior no membro com histórico de lesão. Porque não foram encontradas diferenças em outros parâmetros, o maior volume da Apo-BF_{LP} deve-se à maior espessura da Apo-BF_{LP}, e explica-se parcialmente pela maior dimensão dos atletas. É importante notar que a Apo-BF_{LP} é a única via de transmissão de força no sentido proximal (17), e é nesta região que ocorrem a maior parte das lesões nos *hamstring* (6). Como tal, seria de esperar que uma menor dimensão da aponevrose fosse observada em atletas com historial de lesão na BF_{LP}, dado que teoricamente favorece uma maior deformação durante a contração muscular podendo desencadear lesão nessa região. Ainda, de forma surpreendente, o grupo com historial de lesão apresentou maior capacidade de força isométrica máxima dos flexores do joelho, em comparação ao grupo sem historial. Este dado é contrário ao que é descrito na literatura, pois é reportado que a capacidade contrátil está diminuída em atletas com historial de lesão (1,18). Isto significa que, considerando os pressupostos biomecânicos descritos na literatura (10), e que a área da Apo-BF_{LP} observou-se igual entre grupos, é de admitir que atletas com historial de lesão evocam maior deformação no interface da Apo-BF_{LP} durante contrações com a mesma intensidade relativa comparativamente a atletas sem historial de lesão. Isto sugere que a dimensão da aponevrose (i.e. que define a capacidade de suportar a força) deverá ser analisada em função da capacidade de produção de força dos *hamstring* (i.e. aquela capaz de evocar deformação).

Neste estudo também se observou uma elevada variabilidade da dimensão da Apo-BF_{LP} entre os participantes, e uma muito fraca correlação entre a dimensão da aponevrose com a força isométrica máxima dos atletas. Estes resultados são consistentes com estudos prévios (8), e sugerem que sujeitos com elevada

capacidade de produção de força dos flexores do joelho podem apresentar Apo-BF_{LP} de reduzida dimensão, o que é susceptível de evocar deformações miotendinosas consideráveis nesta região. Por outro lado, verificou-se uma relação moderada entre as dimensões da aponevrose e da BF_{LP}. Tal resultado é contrário a resultados de estudos anteriores (8), sugerindo que indivíduos com maior volumetria da BF_{LP} apresentam uma Apo-BF_{LP} de maior dimensão. Pensamos que esta discrepância de resultados em comparação a estudos prévios se deve ao método usado para quantificar os vários parâmetros morfológicos. Enquanto que em estudos prévios foi usado um procedimento com carácter subjetivo e altamente dependente do observador, no presente estudo foi usado um procedimento automatizado, que respeita um critério objetivo e consensual entre pessoas com perícia na análise de tecidos moles em exames de ressonância magnética (anexo 1). De notar que este procedimento exibiu valores de reprodutibilidade muito elevada a níveis intra- e inter-examinador; aspeto este que não foi observado quando usado um procedimento semelhante aos descritos nos estudos prévios (anexo 1). Tal facto conduziu certamente à obtenção de uma medida potencialmente mais precisa, e com menor erro de medição. Uma outra razão poderá estar relacionado com o tipo de pessoas avaliadas. Enquanto que em estudos prévios foram analisadas pessoas não-atletas mas fisicamente ativas, neste estudo participaram futebolistas profissionais. Um dado interessante observado foi de que a variação da volumetria da BF_{LP} foi mais baixa (CV=12%), quando comparada a de estudos prévios (CV=17%) (8).

O presente estudo deve ser analisado perante algumas considerações metodológicas. Primeiro, o local exato da lesão na BF_{LP}, assim como a sua magnitude não foi examinado. Segundo, embora se tenha utilizado um método *gold standard* para a medição da dimensão de tecidos moles (i.e. ressonância magnética 3T), as medidas foram obtidas de uma forma estática. É possível que, em condição dinâmica, a morfologia da aponevrose seja diferente (15). Também, a força foi avaliada isometricamente. Porque pensa-se que a lesão da BF_{LP} ocorre durante uma contração excêntrica, será importante analisar outros tipos de produção de força. Por fim, porque o carácter do presente estudo foi retrospectivo, e porque o tecido conjuntivo no local de lesão pode aumentar após lesão (16), não excluimos a hipótese de que a dimensão da aponevrose dos atletas possa ter sido alterada após a lesão na BF_{LP}.

CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Este estudo permitiu saber, numa amostra de futebolistas profissionais, que atletas com historial de lesão na BF_{LP} não apresentam diferenças morfológicas significativas, em comparação aos seus pares sem historial de lesão. Esta informação é importante dado que na literatura internacional de referência este parâmetro tem sido sugerido de forma isolada como potencial fator de risco. Por outro lado, a força isométrica dos flexores do joelho do membro com historial de lesão foi superior, embora tenham apresentado uma dimensão semelhante da aponevrose a atletas sem historial de lesão. Constatou-se também que os pressupostos que alavancaram a hipótese deste estudo apenas se verificaram parcialmente. Este estudo também permitiu o desenvolvimento de um algoritmo, inserida numa rotina semiautomática, capaz de quantificar a morfologia da Apo-BF_{LP}. Esta ferramenta apresenta um potencial de aplicação em outros contextos de análise imagiológica onde as apreciações são subjetivas (e.g. quantificação da dimensão de dano estrutural numa lesão muscular).

REFERÊNCIAS

1. Charlton et al. *J Sci Med Sport* 21: 999–1003, 2018.
2. Domholdt, E. *Physical Therapy Research: Principles and Applications*. W.B. Saunders Company, 1993.
3. Dvorák, J and Junge, A. F-MARC - Football for Health 20 years of F-MARC Research and Education 1994 - 2014. FIFA, 2014.
4. Ekstrand & Jan. *Br J Sports Med* 47: 723–724, 2013.
5. Ekstrand et al. *Br J Sports Med* 50: 731–737, 2016.
6. Erkstand et al. UEFA Elite Club Injury Study Report 2015/16. UEFA, 2016.
7. Evangelidis et al. *Br J Sports Med* 48: 591.2–592, 2014.
8. Evangelidis et al. *Med Sci Sports Exerc* 47: 1383–1389, 2015.
9. Fiorentino et al. *J Biomech* 47: 3325–3333, 2014.
10. Fiorentino et al. *J Biomech* 45: 647–652, 2012.
11. Handsfield et al. Variability in biceps femoris long head muscle–tendon morphology. In: *Proceedings of the 34th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics*. Brown University, 2010. pp. 690–691.
12. Jackson et al. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 1(3): 2325967113499130, 2013.
13. Krist et al. *J Physiother* 59: 15–23, 2013.
14. Opar et al. *Sports Med* 42: 209–226, 2012.
15. Raiteri. *Eur J Sport Sci*. 18: 1128–1138, 2018.
16. Silder et al. *Skeletal Radiol* 37: 1101–1109, 2008.
17. Storey et al. *Scand J Med Sci Sports* 26: 1480–1489, 2016.
18. Timmins et al. *Br J Sports Med* 50: 1524–1535, 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Rotina automática de quantificação da morfologia da Apo-BFlp

Com o propósito de quantificar a dimensão e morfologia da aponevrose proximal da longa porção do bicípito femoral, foi desenvolvido uma rotina Matlab, semiautomática, que obedece a um critério objetivo e consensual (definido entre especialistas) na observação e interpretação de exames de ressonância magnética. Este ato ocorreu em sequência de ter sido constatado por membros da nossa equipa de investigação uma baixa reprodutibilidade inter-examinador na quantificação do volume da aponevrose proximal da BF_{LP} [ICC=0.40 (-0.13-0.79),] em 10 sujeitos do sexo masculino, aquando do uso do procedimento previamente descrito na literatura (8). Importante notar que este procedimento tem um carácter subjetivo e altamente dependente do examinador, e que o volume depende da dupla quantificação do comprimento da aponevrose, e das áreas de secção transversa da aponevrose ao longo do seu comprimento.

Foram três as etapas de desenvolvimento da rotina semiautomática de quantificação dos parâmetros morfológicos da aponevrose proximal da longa porção do bicípito femoral, que de seguida se descrevem.

1. Identificação do valor de corte da área de secção transversa da aponevrose.

De modo a definir um critério objetivo de corte no interface (I) entre a área de secção transversa e as componentes musculares que a circunscvem, foi pedido a 8 examinadores especialistas na observação e interpretação de exames de ressonância magnética para assinalarem o limite da área transversa da aponevrose proximal da longa porção do bicípito femoral de 10 cortes de ressonância magnética (escolhidas aleatoriamente) pertencentes a indivíduo do sexo masculino; e para seleccionar as áreas sobre a componente muscular da BF_{LP} (A) e sobre a região central da aponevrose proximal da BF_{LP} (B). Usando o software imageJ (NIH, v1.47, USA), foram determinados os valores médios de pantone nas regiões I, A e B, nos 80 cortes da ressonância magnética. Com os valores obtidos, foi determinado o valor percentual médio de pantone (P) entre A e B para cada corte, usando a equação 1:

$$P = (I - A) / ((A-B)/100) [1]$$

De todas os 80 cortes da ressonância magnética analisadas, o valor médio de **P** determinado foi de 60%, notando que não houve diferenças significativas entre examinadores ($p>0.05$) para este critério de corte.

2. Concepção da rotina semiautomática

Em seguimento da etapa 1, prosseguiu-se para a concepção da rotina semiautomática em Matlab®, cujo código se pode ler no final deste anexo. Sucintamente, esta rotina permite e exige os seguintes procedimentos (Fig. 1):

1. Ler cada corte de ressonância magnética em formato .dicom;
2. Em cada corte, ampliar a região de interesse;
3. Seleccionar uma área representativa da BF_{LP} ;
4. Seleccionar uma área representativa da aponevrose proximal da BF_{LP} ;
5. Identificar dois pontos correspondentes ao início e fim da zona de interface entre a aponevrose e a BF_{LP} ;
6. E, confirmação da espessura da aponevrose superior a 0.72mm.

Usando o critério identificado na etapa 1 (i.e. $P=60\%$), e o algoritmo expresso na equação 1, a rotina permitiu a determinação: i) da área de secção transversa da aponevrose proximal da BF_{LP} ; e, ii) do comprimento da zona de interface entre e a aponevrose e a BF_{LP} . Com estes outputs, e considerando a distância inter-corte das ressonâncias magnéticas, foi estimado o volume da aponevrose e área de interface entre e a aponevrose e a BF_{LP} .

3. Determinação da reprodutibilidade da rotina semiautomática

Visando testar a reprodutibilidade da rotina desenvolvida na quantificação dos parâmetros morfológicos da aponevrose proximal da BF_{LP} , dois examinadores treinados pelo investigador principal desta investigação para o uso da rotina semiautomática, processaram duas vezes (em dois dias distintos), de uma forma cega, 10 cortes de ressonância magnética pertencentes a um indivíduo do sexo masculino (escolhido aleatoriamente), usando o procedimento previamente descrito. Uma boa reprodutibilidade foi verificada a níveis intra- e inter-examinador no processamento automatizado de quantificação da área da aponevrose, e do

comprimento do interface entre a aponevrose e a longa porção do ventre muscular (tabela 3).

Tabela 3. Reprodutibilidade (n=10) da área da aponevrose proximal da longa...

	Área aponevrose	Comprimento Apo-BF_{LP}
Intra-examinador	0.88 [0.75-0.95]	0.82 [0.63-0.92]
Inter-examinador	0.79 [0.35-0.94]	0.75 [0.28-0.93]

Anexo 2. Script da rotina Matlab

```
[filename,user_canceled] = imgetfile;
%only for png files
%I=rgb2gray(imread(filename))\

info=dicominfo(filename);
pixelSpacing=info.PixelSpacing;
scale=pixelSpacing(1);
I=dicomread(filename);
imin=min(min(I));
imax=max(max(I));
I=uint8(255.0*double(I-imin)/double(imax-imin));
factor=6;
I=imresize(I, factor*size(I));
f=figure;
imshow(I, 'InitialMagnification', 250);
axis off; % Turn off axis numbering

%ask for aponeurosis
BW1=roipoly;
[L,n]=bwlabel(BW1);
RGB=label2rgb(L, 'autumn', 'black', 'shuffle');
imshow(I, 'InitialMagnification', 250);
hold on;
himage = imshow(RGB);
himage.AlphaData = 0.3;
drawnow;

%ask for muscle
BW2=roipoly;
mask=BW1;
mask(BW2)=2;
[L,n]=bwlabel(mask);
RGB=label2rgb(L, 'autumn', 'black', 'shuffle');
imshow(I, 'InitialMagnification', 250);
hold on;
himage = imshow(RGB);
himage.AlphaData = 0.3;
drawnow;

%apoCoordinates=[840 538; 866 532; 898 512; 902 496; 896 472; 874 496; 840 538];
%musCoordinates=[632 544; 676 546; 750 478; 760 396; 612 426; 632 544];
%BW1 = poly2mask(apoCoordinates(:,1), apoCoordinates(:,2), size(I,1), size(I,2));
meanApo=mean(I(BW1));

%BW2 = poly2mask(musCoordinates(:,1), musCoordinates(:,2), size(I,1), size(I,2));
meanMus=mean(I(BW2));

%%%%%%%%%%%%%%
thresholdPct=51; %pct
%%%%%%%%%%%%%%
threshold=meanApo+double(meanMus-meanApo)*thresholdPct/100.0;
aponeurosisTh=I<threshold;
global aponeurosis
aponeurosis=BW1 | aponeurosisTh ;
[L,n]=bwlabel(aponeurosis);
indx=find(BW1==1);
```

```
aponeurosis= L==L(indx(1));
aponeurosis(BW2)=2;

[L,n]=bwlabel(aponeurosis);
RGB=label2rgb(L, 'autumn', 'black', 'shuffle');

% Initial Image
hold on;
himage = imshow(RGB);
himage.AlphaData = 0.3;

%SLIDER
b = uicontrol('Parent',f,'Style','slider','Position',[81,54,419,23],...
    'value',thresholdPct, 'min',0, 'max',100);
bgcolor = f.Color;
bl1 = uicontrol('Parent',f,'Style','text','Position',[50,54,23,23],...
    'String','0','BackgroundColor',bgcolor);
bl2 = uicontrol('Parent',f,'Style','text','Position',[500,54,23,23],...
    'String','100','BackgroundColor',bgcolor);
bl3 = uicontrol('Parent',f,'Style','text','Position',[240,25,100,23],...
    'String',sprintf('Threshold %2.2f', thresholdPct),'BackgroundColor',bgcolor);

b.Callback = @(hObject, event) sliderCallback(hObject, event, meanMus, meanApo, I, BW1, bl3, BW2)
;

%QUANTIFY
btn = uicontrol('Style','pushbutton','String','Quantify',...
    'Position',[20 600 50 20],...
    'Callback', @(hObject, event) quantifyCallback(hObject, event, I, BW2, scale, factor, filename) );
```

Anexo 3. Setup de medição da força isométrica dos flexores do joelho

