



Artigo Original

Alterações radiográficas femoropatelares na insuficiência do ligamento cruzado anterior[☆]



Diego Protásio de Vasconcelos^{a,*}, Alan de Paula Mozella^b,
Pedro Guilme Teixeira de Sousa Filho^b, Gustavo Cardilo Oliveira^b
e Hugo Alexandre de Araújo Barros Cobra^b

^a Serviço de Ortopedia e Traumatologia, Hospital Universitário, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, SE, Brasil

^b Centro de Cirurgia do Joelho, Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia (Into), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

INFORMAÇÕES SOBRE O ARTIGO

Histórico do artigo:

Recebido em 8 de setembro de 2013

Aceito em 17 de outubro de 2013

On-line em 12 de agosto de 2014

Palavras-chave:

Instabilidade articular

Ligamento cruzado anterior

Articulação patelofemoral

R E S U M O

Objetivo: análise comparativa de três parâmetros radiográficos femoropatelares entre joelhos com insuficiência crônica do ligamento cruzado anterior (LCA) e joelhos normais.

Métodos: foram selecionados 30 pacientes voluntários com diagnóstico de lesão crônica isolada unilateral do LCA havia mais de um ano e joelho contralateral normal. Todos os pacientes foram submetidos a radiografias digitais de ambos os joelhos nas incidências em perfil absoluto a 30° de flexão, com e sem carga monopodal, e axial de patela a 30°. Foram mensurados, nas radiografias obtidas, o índice de altura patelar de Caton-Deschamps, o ângulo de congruência patelar de Merchant e o ângulo de inclinação lateral da patela, descrito por Laurin, nos joelhos normais e nos joelhos com lesão do LCA e foi feita análise comparativa entre esses dois grupos.

Resultados: a altura patelar foi inferior, de forma estatisticamente significativa ($p < 0,001$), nos joelhos com insuficiência do LCA em comparação com os joelhos normais, tanto nas radiografias sem carga quanto nas com carga monopodal. O ângulo de congruência patelar de Merchant foi significativamente menor ($p < 0,001$) nos joelhos normais e o ângulo de inclinação lateral da patela foi inferior ($p < 0,001$) nos joelhos com insuficiência do LCA.

Conclusão: a insuficiência crônica do LCA alterou de forma estatisticamente significativa ($p < 0,001$) os valores dos parâmetros radiográficos femoropatelares estudados. Joelhos com lesão desse ligamento apresentaram menores valores de altura patelar, maior inclinação e deslocamento laterais da patela em relação à tróclea femoral comparados com os joelhos contralaterais normais.

© 2014 Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Todos os direitos reservados.

[☆] Trabalho desenvolvido no Centro de Cirurgia do Joelho do Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia (Into), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

* Autor para correspondência.

E-mail: diegoprotasio@yahoo.com.br (D.P. de Vasconcelos).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rbo.2013.10.017>

0102-3616/© 2014 Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Todos os direitos reservados.

Femoropatellar radiographic alterations in cases of anterior cruciate ligament failure

A B S T R A C T

Keywords:

Joint instability
Anterior cruciate ligament
Patellofemoral joint

Objective: to make a comparative analysis on three femoropatellar radiographic parameters, between knees with chronic failure of the anterior cruciate ligament (ACL) and normal knees.

Methods: thirty volunteer patients with a diagnosis of unilateral isolated chronic ACL injury for more than one year and a normal contralateral knee were selected. Digital radiographs were produced for all the patients, on both knees in absolute lateral view at 30° of flexion, with and without load-bearing on one leg, and in axial view of the patella at 30°. The Caton-Deschamps patellar height index, Merchant patellar congruence angle and Laurin lateral patellar tilt angle were measured on the radiographs obtained from the normal knees and knees with ACL injuries, and comparative analysis was performed between these two groups.

Results: the patellar height was statistically significantly lower ($p < 0.001$) in the knees with ACL failure than in the normal knees, both on radiographs without loading and on those with single-foot loading. The Merchant patellar congruence angle was significantly smaller ($p < 0.001$) in the normal knees and the lateral patellar tilt angle was smaller ($p < 0.001$) in the knees with ACL failure.

Conclusion: chronic ACL failure gave rise to a statistically significant change in the femoropatellar radiographic values studied ($p < 0.001$). Knees with injuries to this ligament presented lower patellar height values, greater tilt and lateral displacement of the patella, in relation to the femoral trochlea, in comparison with the normal contralateral knees.

© 2014 Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Published by Elsevier Editora Ltda. All rights reserved.

Introdução

A lesão do ligamento cruzado anterior (LCA) é uma das mais comuns do joelho, com crescente incidência por causa do número cada vez maior de indivíduos envolvidos com atividades esportivas.¹ A insuficiência desse ligamento causa instabilidade anterior e rotatória do joelho, caracterizada por episódios recorrentes de subluxação anterior e rotatória (rotação interna) da tibia sobre o fêmur.² Tais episódios podem causar prejuízo funcional e limitar a prática de esportes e de determinadas atividades de vida diária.³

Importantes alterações biomecânicas e cinemáticas foram reconhecidas nas últimas décadas em joelhos com insuficiência do LCA. Estudos feitos em laboratórios de análise de marcha mostraram que joelhos com lesão do LCA apresentavam maior rotação interna,⁴ menor rotação externa⁵ e aumento da translação medial da tibia sobre o fêmur,⁶ comparados com joelhos normais, durante a fase de apoio e balanço da marcha. Para vários autores,⁷⁻¹⁰ a insuficiência do LCA ocasionaria perda do equilíbrio cinemático tibiofemoral e provocaria comportamento biomecânico anormal, que colocaria o joelho em risco para lesões secundárias.

Apesar do grande número de estudos que examinaram os efeitos da lesão do LCA sobre a cinemática tibiofemoral, poucos analisaram as alterações femoropatellares em pacientes com insuficiência desse ligamento.⁹ Baugher et al.¹¹ demonstraram que pacientes com insuficiência do LCA apresentavam atrofia irreversível do músculo quadríceps e alertaram sobre

suas possíveis consequências sobre a articulação patelofemoral.

Para Hsieh et al.,^{12,13} alterações na cinemática tibiofemoral, resultantes da lesão do LCA, afetam a cinemática da articulação patelofemoral e causam desequilíbrio do mecanismo extensor e distribuição anormal de forças entre a patela e a tróclea femoral. Esses autores^{12,13} evidenciaram aumento da translação lateral e da inclinação lateral da patela, em relação ao fêmur, após a ressecção do LCA em joelhos de cadáveres. *In vivo*, Van de Velde et al.¹⁴ demonstraram que a insuficiência do LCA altera a área de contato e o trilhamento femoropatellares.

Parâmetros radiográficos femoropatellares podem auxiliar no diagnóstico de alterações na articulação patelofemoral. No presente estudo fizemos uma análise comparativa de três parâmetros radiográficos femoropatellares, comumente usados na prática clínica, com o objetivo de detectar diferenças nesses parâmetros entre joelhos com insuficiência crônica do LCA e joelhos normais.

Métodos

Após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa, foram selecionados 30 pacientes voluntários, 17 do sexo masculino e 13 do feminino, atendidos no Centro de Cirurgia do Joelho da instituição. Todos apresentavam diagnóstico de lesão isolada do LCA havia mais de 12 meses em um dos joelhos, o contralateral normal, e preenchiam os critérios de inclusão e exclusão

Tabela 1 – Critérios de inclusão e exclusão da amostra**Critérios de inclusão**

1. Indivíduos esqueleticamente maduros com idade menor do que 60 anos
2. Diagnóstico de lesão isolada unilateral do LCA havia mais de 12 meses
 - 2.1. Translação anterior da tíbia sobre o fêmur maior do que 5 mm sem *end-point* em relação ao joelho contralateral, com o uso de KT-1000.
 - 2.2. Testes de Lachman, Gaveta Anterior e Pivot-Shift positivos
 - 2.3. Demais testes ligamentares e meniscais negativos
 - 2.4. Imagem de ressonância magnética (IRM) que evidenciava lesão isolada do LCA
3. Membro inferior e joelho contralateral sem alterações ao exame físico
4. Indivíduos que estiverem de acordo e assinarem o termo de consentimento livre e esclarecido da pesquisa

Critérios de exclusão

1. Presença de alterações de qualquer origem (congenita, traumática, metabólica, inflamatória ou degenerativa), herdada geneticamente ou adquirida, em qualquer um dos membros inferiores, à exceção de um dos joelhos com lesão isolada do LCA
2. Presença de deformidade em varo, valgo, antecurvado, recurvado ou torcional em qualquer um dos membros inferiores
3. Cirurgias prévias em quaisquer dos membros inferiores
4. Gestantes

da amostra (tabela 1). A idade média era de 28 anos, variação de 17 a 46, e o tempo médio de lesão do LCA era de 32 meses, variação de 14 a 70.

Todos foram submetidos a radiografias digitais do joelho com insuficiência do LCA e do joelho contralateral normal. Foram feitas cinco radiografias em cada um: duas, uma em cada joelho, em perfil absoluto a 30° de flexão sem carga no membro inferior (MMII), feitas com o paciente em decúbito lateral sobre a mesa radiográfica; duas, uma em cada joelho, em perfil absoluto do joelho a 30° de flexão, feitas em ortostase com apoio de peso corporal monopodal no lado radiografado; e uma axial de patela que abrangeu ambos os joelhos de acordo com a técnica de Merchant et al.,¹⁵ porém com os joelhos fletidos a 30°, em vez de 45°.

Todas as 150 radiografias digitais obtidas foram analisadas pelo mesmo avaliador com ferramentas para mensuração de distâncias em milímetros e ângulos do *software* DicomViewer® (Microdata, Rio de Janeiro, Brasil).



Figura 1 – Índice de altura patelar de Caton-Deschamps (A/B) em radiografia em perfil absoluto de joelho. (A) distância entre a margem anterior da superfície articular da tíbia e o limite inferior da superfície articular da patela; (B) distância entre o limite superior e inferior da superfície articular da patela.

Foram registrados os valores de três parâmetros radiográficos femoropatellares: a altura patelar, que foi mensurada nas radiografias em perfil do joelho por meio do método de Caton-Deschamps¹⁶ (fig. 1); o ângulo de congruência patelar de Merchant, mensurado nas radiografias axiais de patela conforme descrito por Merchant et al.¹⁵ (fig. 2); e o ângulo de inclinação lateral da patela, medido de acordo com a técnica de Laurin et al.¹⁷ (fig. 3) nas radiografias axiais de patela.

Os valores dos parâmetros radiográficos femoropatellares obtidos nos joelhos com insuficiência do LCA (grupo caso) e nos joelhos contralaterais normais (grupo controle) foram submetidos aos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, que acusaram distribuição normal da amostra, e comparados com o uso do teste t de Student pareado para avaliar significância estatística ($p < 0,05$). O teste de correlação

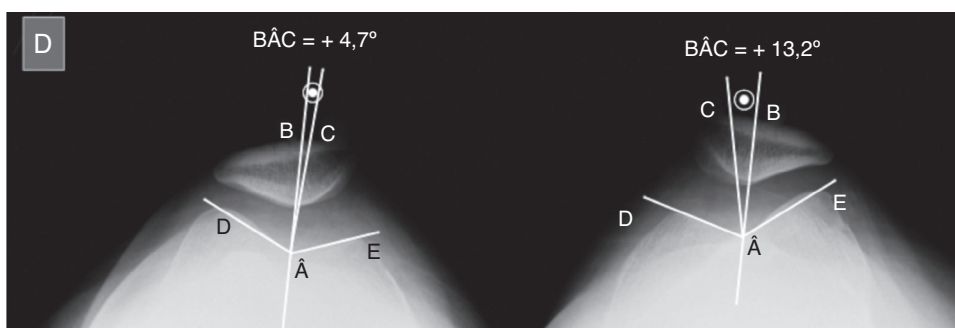


Figura 2 – Ângulo (BÂC) de congruência patelar de Merchant. Linha C representa a bissetriz do ângulo DÂE, ângulo do sulco troclear. Linha B une o vértice do ângulo DÂE ao ponto mais inferior da crista patelar. BÂC = +4,7° em joelho direito normal e BÂC = +13,2° em joelho esquerdo com lesão do ligamento cruzado anterior.

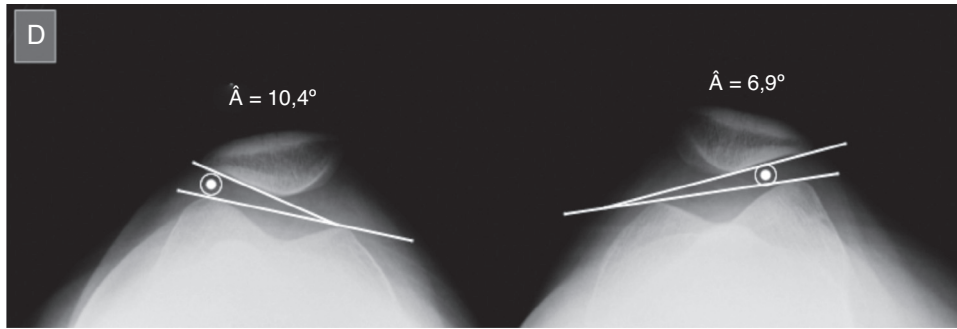


Figura 3 – Ângulo (\hat{A}) de inclinação lateral da patela segundo Laurin et al.,¹⁷ formado por uma linha que une os limites anteriores dos côndilos femorais medial e lateral e outra que tangencia a faceta lateral da patela. $\hat{A} = 10,4^\circ$ em joelho direito normal e $\hat{A} = 6,9^\circ$ em joelho esquerdo com lesão do ligamento cruzado anterior.

de Pearson foi usado para avaliar a correlação entre o tempo de lesão do LCA e os valores de altura patelar, o ângulo de congruência de Merchant e o ângulo de inclinação lateral da patela.

Resultados

Dos 30 voluntários, 57% (n=17) eram homens e 43% (n=13) mulheres. O tempo médio de lesão do ligamento foi de 32 ± 14 meses, variação de 14 a 70. A idade média era de $28 \pm 7,6$ anos, variação de 17 a 46. A lesão do LCA distribuiu-se igualmente em ambos os lados: 50% (n=15) no joelho direito e 50% (n=15) no esquerdo. O mecanismo de trauma que ocasionou a ruptura do ligamento foi o indireto em 83% (n=25) e o direto em 17% (n=5). As causas mais comuns foram a prática de futebol (57%, n=17), quedas de altura (16,5%, n=5), acidentes de trânsito (16,5%, n=5) e prática de artes marciais (10%, n=3).

Os valores médios de altura patelar em ambos os grupos, sem carga em MMII e com carga monopodal, estão mostrados nas figuras 4 e 5. Os valores de altura patelar foram inferiores, de forma estatisticamente significativa ($p < 0,001$), nos joelhos com insuficiência do LCA (grupo caso) em comparação com os joelhos normais (grupo controle), tanto nas radiografias sem carga quanto nas com carga monopodal. A carga monopodal aumentou, de forma estatisticamente significativa ($p < 0,001$), os valores de altura patelar em ambos os grupos de forma semelhante (fig. 5).

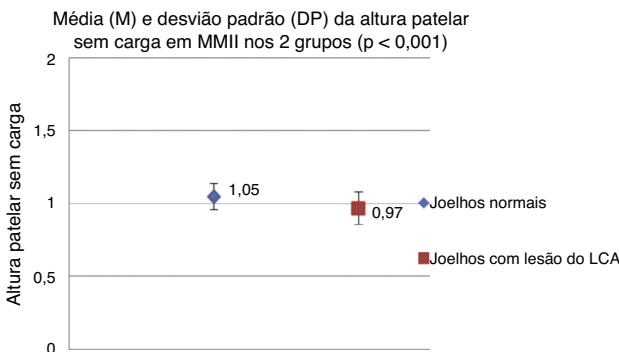


Figura 4 – Média e desvio padrão (DP) da altura patelar sem carga em membros inferiores (MMII) nos dois grupos.

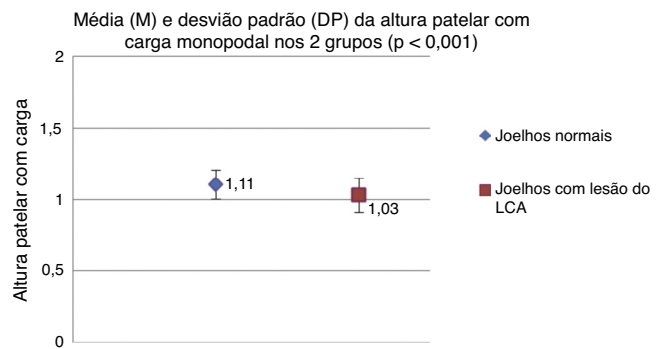


Figura 5 – Média e desvio padrão da altura patelar com carga monopodal nos dois grupos.

A tabela 2 mostra os valores médio, máximo, mínimo e desvio padrão do ângulo de congruência patelar de Merchant em cada grupo. O valor médio desse ângulo nos joelhos normais foi de $-2,57^\circ \pm 5,86^\circ$. Esse valor foi inferior, com significância estatística ($p < 0,001$), ao encontrado nos joelhos com insuficiência do LCA ($+2,08^\circ \pm 6,16^\circ$), conforme ilustrado na figura 6.

O valor médio do ângulo de inclinação lateral da patela no grupo de joelhos com lesão do LCA foi $6,70^\circ \pm 4,86^\circ$, valor significativamente inferior ($p < 0,001$) ao aferido nos joelhos normais ($11,25^\circ \pm 4,54^\circ$), conforme mostra a figura 7. A tabela 3 contém os valores médio, máximo, mínimo e desvio padrão do ângulo de inclinação lateral da patela em cada grupo.

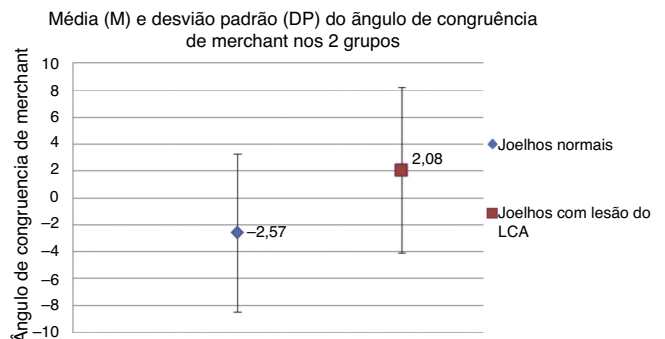


Figura 6 – Média e desvio padrão do ângulo de congruência de Merchant nos dois grupos.

Tabela 2 – Média, desvio padrão (DP), valores mínimo e máximo do ângulo de congruência patelar de Merchant nos dois grupos

	Ângulo de congruência patelar de Merchant			
	Média	DP	Min	Max
Joelhos normais	-2,57	5,86	-13,90	7,80
Joelhos com lesão do LCA	2,08	6,16	-13,20	13,20

Tabela 3 – Média, desvio padrão (DP), valores mínimo e máximo do ângulo de inclinação lateral da patela nos dois grupos

	Ângulo de inclinação lateral da patela			
	Média	DP	Min	Max
Joelhos normais	11,25	4,54	0,00	21,00
Joelhos com lesão do LCA	6,70	4,86	-4,80	14,80

O teste de correlação de Pearson não evidenciou correlação significativa ($r = 0,14$) entre o tempo decorrido de lesão do ligamento e os valores de altura patelar, ângulo de congruência patelar de Merchant e ângulo de inclinação lateral da patela nos joelhos com insuficiência do LCA.

Discussão

Os efeitos da insuficiência do LCA sobre a cinemática tibi-femoral estão bem documentados na literatura. Foram demonstradas alterações rotacionais^{4,5} e translacionais⁶ na articulação tibiofemoral durante as fases de apoio e balanço da marcha. Para Hsieh et al.,¹³ as alterações na cinemática tibiofemoral provocam, inevitavelmente, alterações na articulação femoropatelar e modificam seu funcionamento normal.

Com parâmetros radiográficos comumente aplicados na prática clínica, buscamos detectar essas possíveis alterações femoropatelares em joelhos com lesão crônica isolada do LCA ocorridas havia mais de 12 meses. Para tanto, usamos como controle o joelho contralateral normal do mesmo paciente.

Na análise da altura patelar, encontramos um valor significativamente menor ($p < 0,001$) no grupo de joelhos com lesão do LCA em comparação com o grupo de joelhos normais. Nas radiografias sem carga, o índice de altura patelar de Caton-Deschamps foi de $0,97 \pm 0,11$, nos joelhos com lesão do LCA, e $1,05 \pm 0,09$, nos joelhos normais (fig. 4). Esses valores foram muito semelhantes aos registrados por Lin et al.,¹⁸ que compararam a altura patelar sem carga em MMII, com o uso do índice

de altura patelar de Insall-Salvati, em joelhos com lesão do LCA ($0,99 \pm 0,11$) e sem lesão do LCA ($1,05 \pm 0,12$). Esses autores, assim como Aglietti et al.,¹⁹ também registraram valores significativamente inferiores de altura patelar em pacientes do sexo masculino com lesão do LCA e concluíram que a patela baixa é um fator de risco para a lesão do ligamento. Na nossa amostra, não observamos diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) nos valores de altura patelar entre homens e mulheres. Além disso, como usamos o joelho contralateral normal do mesmo paciente como controle, não podemos afirmar que os valores inferiores de altura patelar, encontrados nos joelhos com lesão do LCA, são um fator de risco para a lesão do ligamento ou consequências de sua lesão crônica.

A carga monopodal aumentou de forma estatisticamente significativa ($p < 0,01$) os valores de altura patelar nos dois grupos (fig. 5). Yiannakopoulos et al.²⁰ observaram aumento médio de 0,11 no índice de altura patelar de Caton-Deschamps durante a sustentação de peso corporal em joelhos normais. Esses autores sugeriram que o aumento da altura patelar provocado pela translação proximal da patela por causa da contração do quadríceps, quando é feita carga em MMII, poderia ser maior em joelhos com insuficiência ligamentar. Van de Velde et al.¹⁴ detectaram alongamento relativo do tendão patelar em joelhos com lesão do LCA, o que poderia, em teoria, provocar um aumento ainda maior da altura patelar nesses joelhos durante a contração do quadríceps. No nosso estudo, entretanto, o aumento médio da altura patelar provocado pela contração do quadríceps, durante carga monopodal, foi igual (0,06) nos dois grupos.

O ângulo de congruência patelar de Merchant reflete a posição da patela em relação ao sulco troclear. Seus valores podem ser negativos, o que indica que a crista da patela encontra-se medial ao sulco troclear, ou positivos, quando a crista da patela está lateral ao sulco troclear.¹⁵ Assim, quanto mais positivo for o valor do ângulo, maior o deslocamento lateral da patela em relação à tróclea femoral e quanto mais negativo, maior o deslocamento medial. No nosso estudo, o valor médio desse ângulo nos joelhos normais foi de $-2,57 \pm 5,86^\circ$ contra $+2,08 \pm 6,16^\circ$ ($p < 0,001$) nos joelhos com insuficiência do LCA, o que indica posicionamento mais lateral da patela em relação ao sulco troclear no grupo de joelhos com lesão do ligamento. Esse achado está de acordo com o encontrado por Van de Velde et al.,¹⁴ que registraram maior deslocamento lateral da patela, em milímetros em relação ao

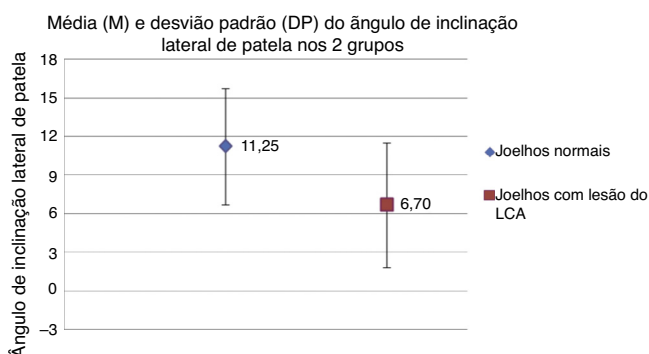


Figura 7 – Média e desvio padrão do ângulo de inclinação lateral da patela nos dois grupos.



Figura 8 – Ângulo (\hat{A}) de inclinação lateral da patela negativo ($\hat{A} = -4,8^\circ$) em joelho direito com lesão do LCA e positivo ($\hat{A} = +5,9^\circ$) em joelho esquerdo normal.

sulco troclear, em joelhos com lesão do LCA entre 0° e 30° de flexão. Em média, o deslocamento lateral da patela encontrado por esses autores¹⁴ foi 1,7 mm maior ($p < 0,001$) em joelhos com insuficiência do LCA em comparação com os joelhos normais. Hsieh et al.¹³ também registraram deslocamento lateral da área de contato femoropatelar e aumento de pressão de contato entre a patela e a tróclea entre 0° e 90° de flexão em joelhos de cadáveres com lesão do ligamento.

À medida que a patela inclina-se lateralmente, ocorre diminuição do ângulo de inclinação lateral da patela descrito por Laurin et al.¹⁷ Isso ocorre porque a linha que tangencia a faceta lateral da patela torna-se mais paralela à linha que une os limites anteriores dos côndilos femorais medial e lateral. Em casos de grave inclinação lateral pode ocorrer uma inversão desse ângulo, que se torna negativo quando ele se abre medialmente, em vez de lateralmente (fig. 8). Na nossa amostra, essa inversão do ângulo ocorreu apenas em dois joelhos com lesão do LCA ($-2,2^\circ$ e $-4,8^\circ$) e não foi registrada nos joelhos normais. O valor médio do ângulo de inclinação lateral da patela nos joelhos com lesão do LCA foi de $6,70^\circ \pm 4,86^\circ$, significativamente inferior ($p < 0,001$) ao aferido nos joelhos normais ($11,25^\circ \pm 4,54^\circ$). Esses resultados revelam uma maior inclinação lateral da patela em joelhos com lesão do LCA, que foi em média $4,55^\circ$ maior do que nos joelhos normais. Valores semelhantes também foram relatados por Van de Velde et al.,¹⁴ que registraram aumento médio de $5,2^\circ$ na inclinação lateral da patela de joelhos com lesão do LCA nos primeiros 30° de flexão.

Não há consenso na literatura se as alterações femoropatelares poderiam ser revertidas com a reconstrução do LCA. Em joelhos de cadáveres, Hsieh et al.^{12,13} afirmaram que, após a reconstrução do LCA, a inclinação da patela, a área de contato e a pressão de contato femoropatelar retornavam a valores próximos aos dos joelhos normais. Por outro lado, em estudo *in vivo*, Van de Velde et al.¹⁴ documentaram a persistência dessas alterações mesmo após a reconstrução do ligamento, o que sugere que tal procedimento isoladamente não seria capaz de corrigi-las. Novas pesquisas serão necessárias para confirmar tais hipóteses.

Pequenas alterações na orientação da patela em relação à tróclea femoral podem provocar mudanças significativas na biomecânica femoropatelar.¹⁴ Para alguns autores,^{14,21,22} o maior deslocamento e a maior inclinação laterais da patela encontrados em joelhos com insuficiência do LCA poderiam estar relacionados com o surgimento de dor anterior no joelho e artrose femoropatelar.

Acreditamos que as alterações femoropatelares em joelhos com lesão do LCA ou submetidos à reconstrução desse ligamento muitas vezes são subdiagnosticadas na prática clínica. Um estudo radiológico adequado e a análise criteriosa de parâmetros radiográficos femoropatelares poderiam auxiliar no reconhecimento dessas alterações e permitir uma racional abordagem terapêutica.

Conclusão

Em nossa amostra, a insuficiência crônica do LCA alterou de forma estatisticamente significativa ($p < 0,001$) os valores dos parâmetros radiográficos femoropatelares estudados. Joelhos com lesão crônica desse ligamento apresentaram menores valores de altura patelar, maior inclinação e deslocamento laterais da patela em relação à tróclea femoral comparados aos joelhos contralaterais normais.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

1. Ristanis S, Giakas G, Papageorgiou CD, Moraiti T, Stergiou N, Georgoulis AD. The effects of anterior cruciate ligament reconstruction on tibial rotation during pivoting after descending stairs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003;11(6):360-5.
2. Dennis DA, Mahfouz MR, Komistek RD, Hoff W. In vivo determination of normal and anterior cruciate ligament-deficient knee kinematics. *J Biomech.* 2005;38(2):241-53.
3. Buckwalter JA, Lane NE. Athletics and osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 1997;25(6):873-81.
4. Georgoulis AD, Papadonikolakis A, Papageorgiou CD, Mitsou A, Stergiou N. Three-dimensional tibiofemoral kinematics of the anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knee during walking. *Am J Sports Med.* 2003;31(1):75-9.
5. Andriacchi TP, Dyrby CO. Interactions between kinematics and loading during walking for the normal and ACL deficient knee. *J Biomech.* 2005;38(2):293-8.
6. DeFrate LE, Papannagari R, Gill TJ, Moses JM, Pathare NP, Li G. The six degrees of freedom kinematics of the knee after ACL deficiency: an in-vivo imaging analysis. *Am J Sports Med.* 2006;34(8):1240-6.

7. Andriacchi TP, Mundermann A, Smith RL, Alexander EJ, Dyrby CO, Koo S. A framework for the in vivo pathomechanics of osteoarthritis at the knee. *Ann Biomed Eng.* 2004;32(3):447-57.
8. Li G, Park SE, DeFrate LE, Schutzer ME, Ji L, Gill TJ, et al. The cartilage thickness distribution in the tibiofemoral joint and its correlation with cartilage-to-cartilage contact. *ClinBiomech (Bristol, Avon).* 2005;20(7):736-44.
9. Li G, DeFrate LE, Zayontz S, Park SE, Gill TJ. The effect of tibiofemoral joint kinematics on patellofemoral contact pressures under simulated muscle loads. *J Orthop Res.* 2004;22(4):801-6.
10. Van de Velde SK, DeFrate LE, Gill TJ, Moses JM, Papannagari R, Li G. The effect of anterior cruciate ligament deficiency on the in vivo elongation of the medial and lateral collateral ligaments. *Am J Sports Med.* 2007;35(2):294-300.
11. Baugher WH, Warren RF, Marshall JL, Joseph A. Quadriceps atrophy in the anterior cruciate insufficient knee. *Am J Sports Med.* 1984;12(3):192-5.
12. Hsieh YF, Draganich LF, Ho SH, Reider B. The effects of removal and reconstruction of the anterior cruciate ligament on patellofemoral kinematics. *Am J Sports Med.* 1998;26(2):201-9.
13. Hsieh YF, Draganich LF, Ho SH, Reider B. The effects of removal and reconstruction of the anterior cruciate ligament on the contact characteristics of the patellofemoral joint. *Am J Sports Med.* 2002;30(1):121-7.
14. Van de Velde SK, Gill TJ, DeFrate LE, Papannagari R, Li G. The effect of anterior cruciate ligament deficiency and reconstruction on the patellofemoral joint. *Am J Sports Med.* 2008;36(6):1150-9.
15. Merchant AC, Mercer RL, Jacobsen RH, Cool CR. Roentgenographic analysis of patellofemoral congruence. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(7):1391-6.
16. Caton J, Deschamps G, Chambat P, Lerat JL, Dejour H. Patella infera: a propos of 128 cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1982;68(5):317-25.
17. Laurin CA, Levesque HP, Dussault R, Labelle H, Peides JP. The abnormal lateral patellofemoral angle: a diagnostic roentgenographic sign of recurrent patellar subluxation. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60(1):55-60.
18. Lin CF, Wu JJ, Chen TS, Huang TF. Comparison of the Insall-Salvati ratio of the patella in patients with and without an ACL tear. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005;13(1):8-11.
19. Aglietti P, Insall JN, Cerulli G. Patellar pain and incongruence. I: Measurements of incongruence. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;(176):217-24.
20. Yiannakopoulos CK, Mataragas E, Antonogiannakis E. The effect of quadriceps contraction during weight-bearing on four patellar height indices. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(7):870-3.
21. Øiestad BE, Holm I, Engebretsen L, Aune AK, Gunderson R, Risberg MA. The prevalence of patellofemoral osteoarthritis 12 years after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(4):942-9.
22. Tajima G, Iriuchishima T, Ingham SJ, Shen W, van Houten AH, Aerts MM, et al. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction restores patellofemoral contact areas and pressures more closely than nonanatomic single-bundle reconstruction. *Arthroscopy.* 2010;26(10):1302-10.