

Estudo morfo-histológico da interconexão dos ligamentos cruzados no joelho humano*

TANIA CLARETE F. VIEIRA S. SAMPAIO¹, VIRGÍNIA H.R. LEITE², JOSÉ MÁRCIO G. DE SOUZA³, LEONARDO C. ANTUNES⁴

RESUMO

Vários estudos têm demonstrado a função mecânica e proprioceptiva dos ligamentos cruzados na estabilidade do joelho. Em 1999, Morgan-Jones e Cross descreveram uma banda de tecido, não relatada anteriormente, que continha fibras colágenas, vasos e nervos e unia os ligamentos cruzados anterior e posterior. Esses autores nomearam de banda intercruzados a estrutura e afirmaram que os ligamentos cruzados não poderiam ser mais pensados isoladamente, mas sim como um complexo dos cruzados. Para estudar detalhadamente a morfologia e histologia dessa banda de interconexão dos cruzados, detectar a presença de mecanorreceptores, comprovar que esse tecido tem função e suas implicações diagnósticas, 10 complexos de cruzados foram dissecados de cadáveres. Os complexos foram fotografados e posteriormente seccionados e corados com técnicas específicas para demonstrar a presença de colágeno, vasos, nervos e mecanorreceptores. O estudo mostrou que em todos os espécimes a faixa de interconexão dos cruzados estava presente. Ao exame histológico detectou-se presença de membrana sinovial, fibras colágenas, estruturas vasculares, nervos e corpúsculos sensoriais especializados (mecanorreceptores). Os resultados sugerem que a presença de tecido conjuntivo denso não modelado na estrutura de interconexão dos cruzados, identificado como fibras colágenas arranjadas sem orientação fixa, confere ao tecido de interconexão resistência às trações oferecidas em várias direções. A

ABSTRACT

Morphohistologic study of cruciate ligament interconnection in the human knee

Some studies have demonstrated the mechanic and proprioceptive functions of the anterior and posterior cruciate ligaments in the stability of the knee. In 1999, Morgan-Jones and Cross described a tissue band, not previously described, that contained collagen fibers, vascular structures, and nerves, and connected the anterior and posterior cruciate ligaments. These authors had called this structure the intercruciate band and affirmed that the cruciate ligaments should no longer be thought of in isolation, but together as a cruciate complex. To study in detail the morphology and histology of this band of interconnection of the cruciates, to detect the presence of the mechanoreceptors, to verify that this tissue has function and its diagnostic implications, ten complexes of cruciate were dissected of cadavers. The complexes were photographed and later processed and stained with specific techniques to demonstrate the presence of collagen, vascular structures, nerves, and mechanoreceptors. The study showed that in all specimens the band of interconnection of the cruciate was present. During the histological examination, the authors detected the presence of synovial membrane, collagen fibers, vascular structures, nerves, and specialized sensorial corpuscles (mechanoreceptors). Results suggest that the presence of the disordered dense connective tissue in the structure of interconnection of the cruciate, identified as arranged collagen fibers without fixed direction, confers

* Trabalho realizado no Departamento de Anatomia Patológica e Medicina Legal da Faculdade de Medicina/Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Sports – Hospital Ortopédico, Belo Horizonte, MG.

1. Mestre em Reabilitação pela EPM/Unifesp; Doutoranda em Patologia pela UFMG.
2. Ph.D. pela Universidade de Londres/Reino Unido; Doutora em Patologia pela UFMG.

3. Chefe do Serviço de Cirurgia do Joelho e Artroscopia do Hospital Ortopédico-AMR.

4. Ortopedista do Hospital Ortopédico-AMR.

Endereço para correspondência: Rua Anita Garibaldi, 119, apto. 202 – 30380-230 – Belo Horizonte, MG. Tel.: (31) 3296-1572 / fax: (31) 3281-8260. E-mail: tania@sportsmed.com.br

Recebido em 28/6/01. Aprovado para publicação em 2/10/01.
Copyright RBO2001

presença de condrócitos na área de implantação da estrutura de interconexão nos ligamentos cruzados comprova sua função mecânica. Os mecanorreceptores encontrados na mesma confirmam seu papel proprioceptivo. Os autores acreditam que o conjunto, ligamento cruzado anterior, ligamento cruzado posterior e a banda, é importante na estabilidade do joelho.

Unitermos – Histologia; ligamentos cruzados; joelho

INTRODUÇÃO

A compreensão da anatomia do joelho é decisiva para o entendimento da sua função, especialmente a dos ligamentos cruzados. No homem, os ligamentos cruzados são condensações do mesênquima sinovial vascular que ocorrem entre a sétima e a oitava semana do desenvolvimento embrionário; na 10ª semana o ligamento cruzado anterior (LCA) se separa do ligamento cruzado posterior (LCP), sendo ambos facilmente diferenciados em estudos histológicos, pela direção e orientação das suas fibras^(1,2). Com 18 semanas, alguns elementos vasculares são encontrados nos ligamentos e com 20 se assemelham aos da fase adulta; daí em diante, continuam a crescer sem modificar sua forma e sua estrutura^(1,2). Os ligamentos são definidos como faixas de fibras paralelas de tecido conjuntivo denso, com importante papel na mediação do movimento normal e estabilidade articular⁽³⁻⁷⁾. Os LCA e LCP têm sido amplamente estudados e descrições anatômicas, estudos histológicos e biomecânicos receberam atenção de vários pesquisadores, especialmente nos últimos anos^(3,5-7).

Neurath e Stofft⁽⁸⁾ estudaram a composição e a função dos componentes da matriz extracelular nos ligamentos cruzados do homem. Concluíram que a matriz dos mesmos consiste de quatro diferentes sistemas: colagenosos, fibras elásticas, glicoconjugados e glicosaminoglicanos. Fascículos colagenosos em ambos os cruzados são limitados por feixes de tecido conjuntivo frouxo. Colágeno VI, filamento de deslizamento interfibrilar, é mais freqüente no LCA, sugerindo grandes tensões em suas inserções. O LCA tem nutrição crítica no seu terço médio e distal, diferindo do LCP, que apresenta melhor suprimento vascular, com forte correlação à expressão de colágeno IV, que é o encontrado em membranas basais vasculares.

Haus e Refior⁽⁹⁾ descreveram a estrutura sinovial e ligamentar do LCA em humanos. Observaram, pela microscopia óptica, sinoviócitos cobrindo a superfície anterior e

tensile strength to the interconnection tissue in several directions. The presence of chondrocytes in the area of attachment of the interconnection structure in the cruciate ligaments proves its mechanic function. The mechanoreceptors found in the same one confirms its proprioceptive role. The authors believe that the cluster, anterior cruciate ligament, posterior cruciate ligament and the band are important in the stability of the knee.

Key words – Histology; cruciate ligaments; knee

posterior do LCA. Esse revestimento é continuação da sinóvia da cavidade articular, não sendo distinguível do tecido conjuntivo da cápsula posterior.

Petersen e Tillmann⁽¹⁰⁾ demonstraram que a estrutura histológica dos ligamentos cruzados anterior e posterior não é homogênea. Em ambos existe uma zona de fibrocartilagem e densidade de vasos sanguíneos desiguais. No ligamento cruzado anterior a zona fibrocartilaginosa está localizada na porção anterior da parte distal. No ligamento cruzado posterior a fibrocartilagem está localizada na parte central do terço médio.

Em 1999, Morgan-Jones e Cross⁽¹¹⁾, em estudo realizado em cadáveres, identificaram uma banda de tecido formada por fibras colágenas, vasos e nervos. Essa banda, chamada pelos autores de “banda intercruzados”, faz interconexão dos ligamentos cruzados e reforça as evidências sobre a capacidade proprioceptiva e mecânica dos ligamentos cruzados na estabilidade do joelho.

O objetivo deste trabalho é estudar detalhadamente a banda intercruzados, descrever histologicamente a região em que a banda se implanta nos cruzados, detectar a presença de mecanorreceptores e comprovar sua função mecânica e proprioceptiva.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados cinco cadáveres humanos e o total de 10 joelhos (cinco esquerdos e cinco direitos), sendo seis joelhos de homens e quatro de mulheres. Os membros foram seccionados no terço distal do fêmur e terço proximal da tíbia e testados os movimentos de flexão, extensão e rotações. Seguiu-se dissecação por planos, sendo seccionado o complexo medial, em seguida o lateral e só então, com o fêmur fixo e a tíbia flexionada, entre 90° e 110°, e em rotação externa de 90°, conseguiu-se total visualização

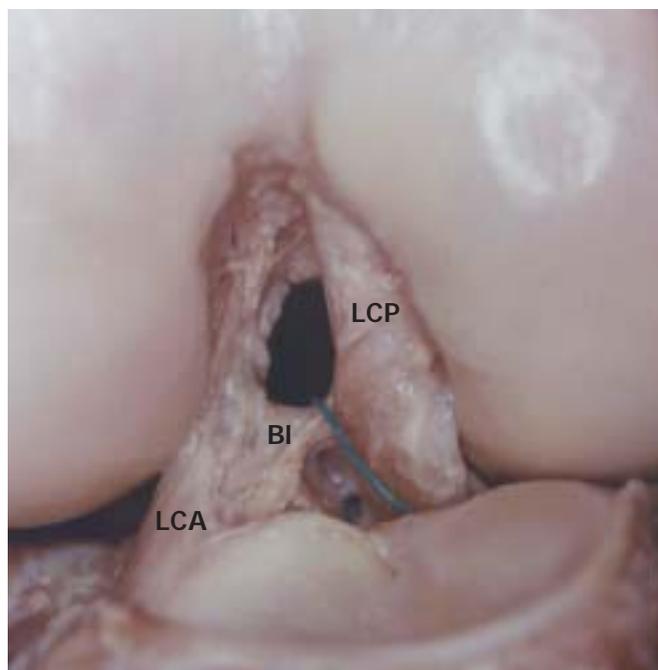


Fig. 1 – Visualização da banda intercruzados (BI)
Fig. 1 – Visualization of the intercruciate band (BI)

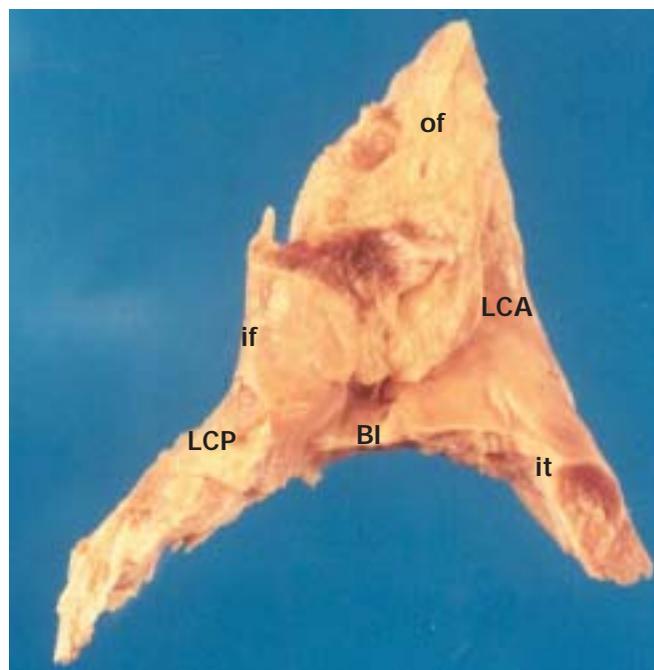


Fig. 2 – Complexo dos cruzados: LCA, ligamento cruzado anterior (of – origem femoral, it – inserção tibial); LCP, ligamento cruzado posterior (ot – origem tibial, if – inserção femoral); BI, banda intercruzados.

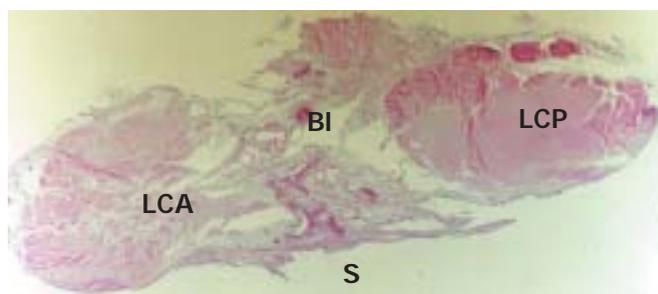


Fig. 3 – Fotografia panorâmica de um corte transversal do complexo dos cruzados: LCA, ligamento cruzado anterior; LCP, ligamento cruzado posterior; BI, banda intercruzados revestida de sinóvia (S) (HE).

Fig. 3 – Panoramic photograph of a transverse section of the cruciate complex: LCA, anterior cruciate ligament; LCP, posterior cruciate ligament; BI, intercruciate band covered by synovium (S) (hematoxylin and eosin stain)

da banda intercruzados, a qual foi analisada e fotografada (fig. 1). Na fase seguinte foi feita secção dos ligamentos cruzados nas suas inserções tibial e femoral, preservando o tecido entre o LCA e o LCP. Os espécimes – complexo dos cruzados (fig. 2) – foram fixados em formol tamponado ou fixador de Millonig modificado por Carson e Martin⁽¹²⁾ e incluídos em parafina. Cortes transversais ou longitudinais com espessura entre 5 e 10µm foram corados pela hemato-

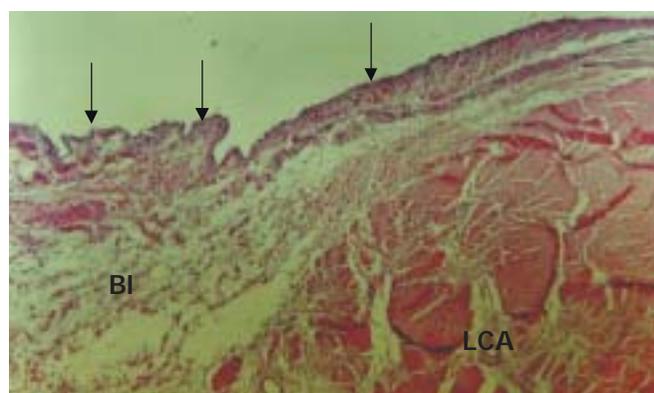


Fig. 4 – Fotomicrografia mostrando o tecido sinovial contínuo (setas) revestindo o ligamento cruzado anterior (LCA) e a banda intercruzados (BI) (HE, 40x).

Fig. 4 – Photomicrograph showing the anterior cruciate ligament (LCA) and intercruciate band (BI) covered by continuous synovial tissue (arrows) (hematoxylin and eosin stain, x40).

xilina-eosina, tricrômico de Masson, retículo, elástico e impregnação pela prata. Para análise imuno-histoquímica foi utilizado o anticorpo antivimentina.

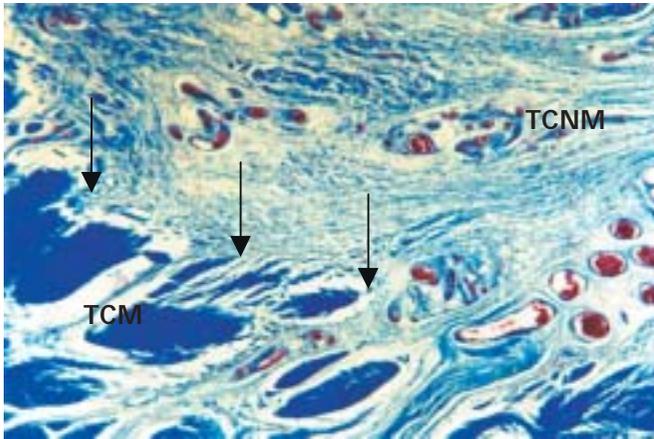


Fig. 5 – Fotomicrografia da área de transição (setas) entre o ligamento – tecido conjuntivo denso modelado (TCM) e a estrutura de interconexão – tecido conjuntivo denso não modelado (TCNM) (tricroâmico de Masson, 40x).

Fig. 5 – Photomicrograph of the transition area (arrows) between the ligament – shaped dense connective tissue (TCM), and the interconnection structure – not shaped dense connective tissue (TCNM) (Masson's trichrome stain, x40)

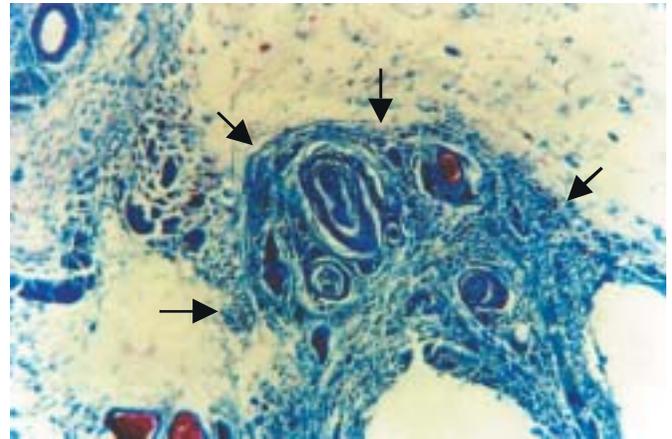


Fig. 6 – Fotomicrografia de um feixe vasculonervoso (setas) na estrutura de interconexão dos cruzados (tricroâmico de Masson, 100x).

Fig. 6 – Photomicrograph of the vascular structures and nerve fibers (arrows) in the interconnection structure of the cruciate (Masson's trichrome stain, x100).

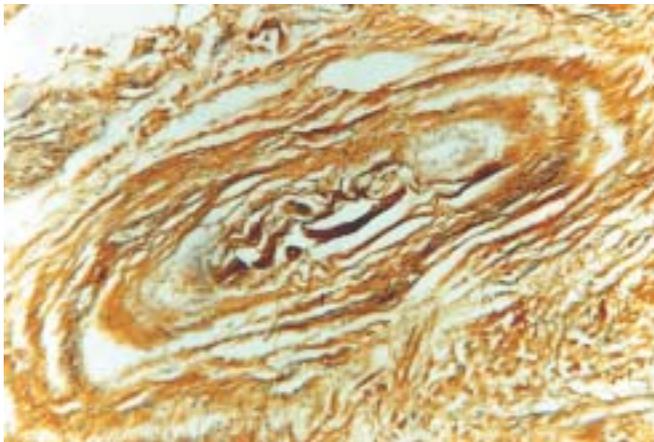


Fig. 7 – Fotomicrografia de um corpúsculo de Pacini na estrutura de interconexão dos cruzados (impregnação pela prata, 100x).

Fig. 7 – Photomicrograph of a Pacini's corpuscle in the interconnection structure of the cruciate (silver stain, x100).

RESULTADOS

Estudo macroscópico

Em todos os joelhos a estrutura de conexão entre os ligamentos cruzados estava presente. Essa estrutura apresentava-se ligando os cruzados, sendo revestida por membrana sinovial contínua aos ligamentos. A estrutura de conexão unia-se ao LCA na sua porção ântero-lateral, aproximadamente 5-10mm da inserção tibial, e seguia obliqua-

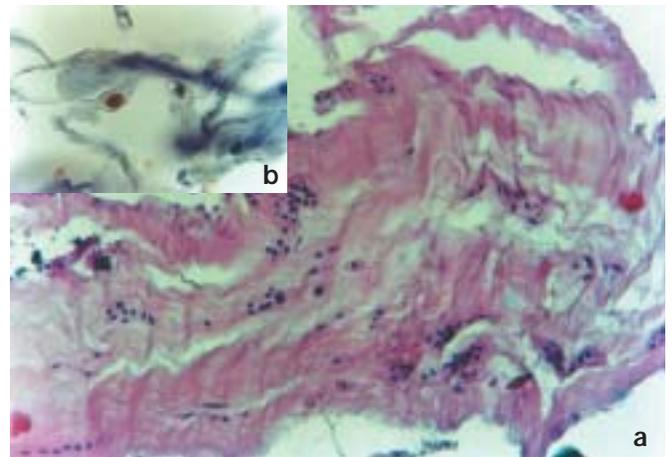


Fig. 8 – Fotomicrografia da área de implantação da estrutura de interconexão nos cruzados: **a)** grupos de células semelhantes a condrócitos (HE, 200x); **b)** condrócitos demonstrando imunorreatividade para vimentina (1.000x).

Fig. 8 – Photomicrograph of the implantation area of the interconnection structure in the cruciate: **a)** clusters of cells similar to chondrocytes (hematoxylin and eosin, x200); **b)** chondrocytes displayed vimentin immunoreactivity, x1000.

mente em sentido proximal, ligando-se ao LCP na sua região pósteromedial, em seu terço médio. O tecido de interconexão ao corte transversal do complexo dos cruzados apresentou-se sinuoso e mediu aproximadamente 5mm de largura e 10mm de comprimento (fig. 3).

Estudo histológico

Nos cortes longitudinais e transversais, foram visualizados o LCA, o LCP e a banda intercruzados. Foi constante a presença de tecido sinovial contínuo revestindo todo o complexo dos cruzados, sem individualização, formando um conjunto único (fig. 4). A estrutura de interconexão apresentou tecido conjuntivo denso, sendo a maior parte do tipo não modelado (fig. 5). Nessa estrutura, entremeando os feixes de fibras colágenas, observou-se tecido conjuntivo frouxo rico em feixes vasculonervosos (fig. 6). Artérias e veias de vários calibres estavam presentes em todos os níveis e extensão da estrutura. O tecido nervoso, geralmente próximo aos vasos, variou de simples filetes nervosos a corpúsculos sensoriais especializados. Feixes nervosos foram constantes no tecido de interconexão. Em menor quantidade, foram detectadas terminações sensoriais encapsuladas, mecanorreceptores, em especial corpúsculo de Pacini, confirmados pela imuno-histoquímica e impregnação pela prata (fig. 7).

Nas áreas de implantação da banda intercruzados no LCA e no LCP foram observadas células, dentro dos ligamentos, com forma que variou de arredondada a ovóide, semelhantes a condrócitos. Os condrócitos, identificados imuno-histoquimicamente pela vimentina, apresentaram-se enfileirados ou em pequenos grupos entre os feixes colágenos e, ocasionalmente, distribuídos aos pares ou isolados (fig. 8).

DISCUSSÃO

A descrição clássica da anatomia do joelho considera que os ligamentos cruzados são estruturas separadas por um envoltório sinovial, cujas funções na estabilidade articular são de difícil compreensão. A literatura atual^(9-11,13) questiona a descrição clássica, esclarecendo pontos obscuros.

Confirmando os estudos de Haus e Refior⁽⁹⁾ quanto à continuidade do tecido sinovial entre o LCA e LCP, Morgan-Jones e Cross⁽¹¹⁾ descreveram uma banda de fibras colágenas revestida de tecido sinovial, banda intercruzados, que conecta o LCA ao LCP. Estes autores⁽¹¹⁾ descreveram que a banda tem forma de um “S” aberto e liga-se ao LCA, em sua borda ântero-lateral, e ao LCP, em sua borda pósteromedial. Estruturas vasculares e fibras nervosas estão presentes. Sugerem que a banda intercruzados funciona como conduto nervoso entre os ligamentos e, ainda, que a mesma se adapta ao conceito do sistema das quatro barras cruzadas, o qual procura explicar a interação do LCA e LCP durante a flexão e extensão do joelho. Lee *et al*⁽¹⁴⁾, após

injeção de contraste na articulação do joelho, observaram, pela imagem da ressonância magnética, que o contraste não penetra nos cruzados e num espaço triangular entre eles. Este espaço triangular é demarcado pelos dois ligamentos cruzados e o planalto tibial; eles o nomearam espaço triangular dos ligamentos cruzados, o qual é bem visualizado na imagem médio-sagital. Os autores⁽¹⁴⁾ correlacionaram a coleção de fluido nesse espaço, visualizada pela ressonância nuclear magnética, com algum grau de lesão ligamentar. Nossos resultados sugerem que a banda intercruzados pode explicar esse espaço triangular.

Este nosso estudo confirma a presença dessa estrutura fibrosa de interconexão. É composta de tecido conjuntivo denso não modelado e pequena quantidade de tecido modelado. Feixes vasculonervosos dispersos no tecido conjuntivo frouxo e mecanorreceptores sugerem seu desempenho. Por suas características morfológicas, o corpúsculo de Pacini, terminações tipo II⁽¹⁵⁾, é facilmente identificado. Essa terminação sensorial encapsulada apresenta um cilindro eixo central envolvido interna e externamente por camadas lamelares circunferenciais⁽¹⁵⁻¹⁹⁾. Fisiologicamente, é um mecanorreceptor de baixo limiar e de adaptação rápida⁽¹⁵⁾. As terminações tipo II podem ser relacionadas com pelo menos três diferentes (não necessariamente independentes) funções: 1) como receptores, detectam a velocidade angular; 2) como estruturas, influenciam a atividade muscular reflexa; e 3) como estruturas, participam da regulação local do fluxo sanguíneo⁽¹⁷⁾. A presença de mecanorreceptores na banda corrobora sua função proprioceptiva. Vários mecanorreceptores têm sido encontrados no LCA e LCP^(16,20).

Os ligamentos cruzados, estabilizadores primários da articulação do joelho no plano sagital, têm grande relevância clínica, mas poucos estudos histológicos demonstram sua vascularização e composição das suas fibras no joelho humano^(5,8,10,13). Neurath e Scofft⁽⁸⁾ analisaram os componentes da matriz de 100 ligamentos cruzados pela microscopia eletrônica de transmissão, imuno-histoquímica, morfometria e microscopia imunoelétrica. Esses autores⁽⁸⁾ comprovaram a presença de colágeno tipos I, III, IV, e VI no LCA e LCP. O colágeno tipo I é responsável pela força tênsil dos tecidos e o tipo III pela flexibilidade dos ligamentos. O colágeno tipo III serve de suporte para os vasos e o tipo IV forma a maior parte dos componentes das lâminas basais dentro dos ligamentos. A diferença intraligamentar na expressão de colágeno tipo IV é correlacionada com a diferente densidade vascular entre o LCA e LCP. Em

todo LCP existem áreas de melhor suprimento vascular com forte correspondência à expressão de colágeno tipo IV. O colágeno tipo VI, em maior quantidade no LCA, serve como componente deslizante entre as fibrilas, concentrando-se em áreas submetidas às forças de cisalhamento. Definições de que os ligamentos são compostos de água e fibras colágenas densamente empacotadas, que se dispõem em direção longitudinal, paralelas ao eixo de aplicação da carga, são um consenso na literatura⁽³⁻⁹⁾. Petersen e Tillmann⁽¹⁰⁾ investigaram a estrutura do LCA e LCP no homem e demonstraram que a estrutura histológica destes ligamentos desvia da sua descrição na literatura⁽³⁻⁹⁾. Esses autores⁽¹⁰⁾ comprovaram a presença de zonas de fibrocartilagem em ambos os ligamentos cruzados. No LCA, a zona fibrocartilaginosa é localizada na porção anterior da parte distal; no LCP, a zona de fibrocartilagem é encontrada na região central do terço médio. Na fibrocartilagem da região anterior do LCA e da porção central do LCP, fibrilas colágenas são visíveis como largos feixes entre grupos de condrócitos. Os condrócitos apresentam-se alinhados em pequenos grupos e às vezes isolados ou aos pares. Justificaram a presença da fibrocartilagem no LCA, pela força compressiva causada pelo impacto da fossa intercondilar quando ocorre a extensão completa do joelho. No LCP, sugerem que durante a excursão da flexo-extensão e rotação interna, as torções ocorridas no ligamento criam forças compressivas no mesmo, explicando a presença da fibrocartilagem⁽¹⁰⁾.

Em nosso trabalho, ao estudarmos a região de implantação da banda de interconexão nos cruzados, localizamos uma zona semelhante à fibrocartilagem. Esta zona localiza-se exatamente na área de transição da banda, em seu local de implantação. Os condrócitos apresentam-se nesta área em filas ou em pequenos grupos. Partindo da área de implantação para o interior dos ligamentos cruzados, as células se diferenciam e apresentam-se como verdadeiros fibroblastos. Esta zona de fibrocartilagem na área de implantação do tecido de interconexão coincide com a região de fibrocartilagem dos ligamentos cruzados, descrita por Petersen e Tillmann⁽¹⁰⁾. A banda liga-se ao cruzado anterior na sua região ântero-lateral, 5-10mm proximal da inserção tibial do ligamento e ao LCP na região pósteromedial, em seu terço médio. Nesta área foi encontrada continuidade do tecido sinovial, ou seja, neste local os ligamentos não apresentam sinóvia. A continuidade da sinóvia coincide com as descrições de alguns autores^(9,10,14).

Por definição, fibrocartilagem ou cartilagem fibrosa é um tecido de transição sem pericôndrio e apresenta pro-

priedades, funcional e estrutural, entre as do tecido conjuntivo denso e as da cartilagem hialina. A fibrocartilagem está sempre associada ao conjuntivo denso, sendo imprecisos os limites entre os dois. O estímulo para o desenvolvimento da fibrocartilagem dentro do tecido conjuntivo denso é a compressão intermitente e a força de cisalhamento^(4,21). Os condrócitos são de origem mesenquimal e têm atividade biológica regulada pela estimulação mecânica fornecida por carga na articulação com liberação de mediadores solúveis, como as citocinas⁽²¹⁾. A fibrocartilagem é resistente a tensões e caracteriza-se pela presença de colágeno tipo I^(4,21).

Em nossa pesquisa, a presença de tecido conjuntivo denso não modelado na estrutura de interconexão dos cruzados, identificado como fibras colágenas arranjadas sem orientação fixa, confere ao tecido de interconexão resistência às trações oferecidas em várias direções. Outro aspecto importante é sua área de implantação: a presença de fibrocartilagem comprova a existência de forças de compressão e cisalhamento. Assim, podemos afirmar que essa banda tem função mecânica e sugerir que essa estrutura de interconexão tem importância na biomecânica do joelho, provavelmente participando do sistema das quatro barras cruzadas.

Como parte preliminar de um projeto de pesquisa, este nosso trabalho, pelas estruturas estudadas, comprova que o tecido de interconexão dos ligamentos cruzados tem função proprioceptiva e mecânica; conseqüentemente, participa da estabilidade do joelho. A morfometria e o estudo das propriedades biomecânicas dessa estrutura são objetivos da próxima fase do nosso estudo.

REFERÊNCIAS

- Gardner E., O'Rahilly R.: The early development of the knee joint in staged human embryos. *J Anat* 102: 289-299, 1968.
- Gray D.J., Gardner E.: Prenatal development of the human knee and superior tibiofibular joints. *Am J Anat* 86: 235-288, 1950.
- Dye S.F., Cannon W.D.: Anatomy and biomechanics of the anterior cruciate ligament. *Clin Sports Med* 7: 715-725, 1988.
- Hyman J., Rodeo S.A.: Injury and repair of tendons and ligaments. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 11: 267-288, 2000.
- Strocchi R., Pasquale V., Gubellini P., et al: The human anterior cruciate ligament: histological and ultrastructural observations. *J Anat* 180: 515-519, 1992.
- Woo, S.L.-Y., Debski R.E., Withrow J.D., et al: Biomechanics of knee ligaments. *Am J Sports Med* 27: 533-543, 1999.
- Woo, S.L.-Y., Hildebrand K., Watanabe N., et al: Tissue engineering of ligament and tendon healing. *Clin Orthop* 367: S312-S323, 1999.
- Neurath M.F., Stofft E.: Structure and function of matrix components in the cruciate ligaments. *Acta Anat (Basel)* 145: 387-394, 1992.

9. Haus J., Refior H.J.: A study of the synovial and ligamentous structure of the anterior cruciate ligament. *Int Orthop* 11: 117-124, 1987.
10. Petersen W., Tillmann B.: Structure and vascularization of the cruciate ligaments of the human knee joint. *Anat Embryol (Berl)* 200: 325-334, 1999.
11. Morgan-Jones R.L., Cross M.J.: The intercruciate band of the human knee: an anatomical and histological study. *J Bone Joint Surg [Br]* 81: 991-994, 1999.
12. Carson F.L., Martin J.: Formalin fixation for electron microscopy: a re-evaluation. *Am J Clin Pathol* 59: 365-373, 1973.
13. Scapinelli R.: Vascular anatomy of the human cruciate ligaments and surrounding structures. *Clin Anat* 10: 151-162, 1997.
14. Lee S.H., Petersile C.A., Trudell D.J., et al: Extrasynovial spaces of the cruciate ligaments: anatomy, MR imaging, and diagnostic implications. *Am J Roentgenol* 166: 1433-1437, 1996.
15. Freeman M.A.R., Wyke B.D.: The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in cat. *J Anat* 101: 505-532, 1967.
16. Del Valle M.E., Harwin S.F., Maestro A., et al: Immunohistochemical analysis of mechanoreceptors in the human posterior cruciate ligament. A demonstration of its proprioceptive role and clinical relevance. *J Arthroplasty* 13: 916-922, 1998.
17. O'Connor B.L., Gonzales J.: Mechanoreceptors of the medial collateral ligament of the cat knee joint. *J Anat* 129: 719-729, 1979.
18. Vega J.A., Estaban I., Naves F.J., et al: Immunohistochemical localization of laminin and type IV collagen in human cutaneous sensory nerve formations. *Anat Embryol (Berl)* 191: 33-39, 1995.
19. Vega J.A., Del Valle M.E., Haro J.J., et al: The inner-core, outer-core and capsule cells of the human Pacinian corpuscles: an immunohistochemical study. *Eur J Morphol* 32: 11-18, 1994.
20. Haus J., Halata Z.: Innervation of the anterior cruciate ligament. *Int Orthop* 14: 293-296, 1990.
21. Ghivizzani S.C., Oligino T.J., Robbins P.D., et al: Cartilage injury and repair. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 11: 289-307, 2000.