

# ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO LIGAMENTO CRUZADO POSTERIOR E DO LIGAMENTO PATELAR DE CADÁVERES DE SERES HUMANOS APÓS UTILIZAÇÃO DE RADIOFREQUÊNCIA

STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE POSTERIOR CRUCIATE LIGAMENT AND PATELLAR TENDON ON FRESH HUMAN CADAVERS AFTER RADIOFREQUENCY SHRINKAGE.

ALINE FAZZOLARI DOTA<sup>1</sup>, MAURÍCIO RODRIGUES ZENAIDE<sup>1</sup>, MARCO KAWAMURA DEMANGE<sup>2</sup>, GILBERTO LUIS CAMANHO<sup>3</sup>, ARNALDO JOSÉ HERNANDEZ<sup>4</sup>.

## RESUMO

Este trabalho visou estudar os efeitos da radiofrequência sobre os ligamentos patelares (LP) e ligamentos cruzados posteriores (LCP) de cadáveres, levando em conta as características de rigidez e deformação máxima. Foram utilizados 11 LCP e 14 LP, sendo feitas as aferições com o aparelho Kratos® K5002. Foi realizada a termoablação das estruturas, com encurtamento obtido entre 15 e 20% do comprimento inicial. Observou-se que essas deformações (encurtamento) não se mantiveram no ensaio pós RF. Conclusão: A radiofrequência permite o encurtamento do LP e LCP. O encurtamento obtido não se mantém completamente quando os ligamentos são submetidos a cargas tensionais padronizadas neste ensaio biomecânico. O uso de radiofrequência causa redução da rigidez do tecido (LP e LCP).

**Descritores:** *Ligamento cruzado posterior; Ligamento patelar; Biomecânica; Ablação por Cateter*

**Citação:** DOTA AF, ZENAIDE MR, DEMANGE MK, CAMANHO GL, HERNANDEZ AJ. Estudo das propriedades mecânicas do ligamento cruzado posterior e do ligamento patelar de cadáveres de seres humanos após utilização de radiofrequência. *Acta Ortop Bras.* [periódico na Internet]. 2007; 15(3):138-142. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>.

## INTRODUÇÃO

A reconstrução dos ligamentos cruzados anterior (LCA) e posterior (LCP) do joelho corresponde a um procedimento cada vez mais freqüente e com aprimoramento constante de técnicas. Esta reconstrução tem como objetivo restaurar a estabilidade e função do joelho após a ruptura / insuficiência destes ligamentos. Na prática clínica, há situações de rotura parcial e total dos ligamentos cruzados, assim como situações de frouxidão ligamentar de ligamentos ou de neo-ligamentos/enxertos alongados e não funcionais. Aqueles com rotura parcial ou alongamento sem perda de continuidade podem ser tratados conservadoramente ou por cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior<sup>(1)</sup>. As propriedades mecânicas dos ligamentos têm sido estudadas assim como as de seus possíveis substitutos. Os tendões e ligamentos são constituídos predominantemente por colágeno, uma estrutura em forma de hélice triplíce com a capacidade variável de reter líquidos em função da solitação mecânica (estado de deformação resultante da intensidade, duração e variação das

## SUMMARY

This study intended to examine the effects of radiofrequency shrinkage (RF) on patellar ligament (PL) and posterior cruciate ligaments (PCL) of fresh human cadavers, measuring stiffness and maximum deformation. Eleven PCLs and 14 PLs were studied with traction tests being performed with the aid of a Kratos® K5002 machine. The structures were reduced by 15-20%, after the shrinkage. However, this reduction was partially lost after the traction test. Conclusion: RF was successful in reducing the length of the structures studied, in spite of the statistically significant stiffness loss. Then, RF was not fully successful in maintaining the reduction of ligament length under the traction forces of the test.

**Keywords:** *Posterior Cruciate Ligament; Patellar Tendon; Biomechanics; Catheter Ablation.*

**Citation:** DOTA AF, ZENAIDE MR, DEMANGE MK, CAMANHO GL, HERNANDEZ AJ. Study of the mechanical properties of the posterior cruciate ligament and patellar tendon on fresh human cadavers after radiofrequency shrinkage. *Acta Ortop Bras.* [serial on the Internet]. 2007; 15(3): 138-142. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>.

tensões aplicadas). A deformação de um tecido puramente elástico é diretamente proporcional à força aplicada, enquanto que as propriedades de um tecido viscoso são dependentes do tempo e da velocidade de aplicação da força. Tecidos biológicos apresentam propriedades elásticas e viscosas, o que lhes confere um comportamento viscoelástico<sup>(2)</sup>. Esse comportamento determina que as estruturas do aparelho locomotor sejam mais adaptadas às solitações mecânicas em alta velocidade, ou impactos que ocorram constantemente ao longo da vida. Observa-se atualmente um número crescente de cirurgias de revisão de reconstrução do LCA sendo em número significativo das vezes decorrente do alongamento deste ligamento conforme exposto previamente<sup>(3)</sup>, fato também observado com o ligamento cruzado posterior. Dessa maneira, considera-se interessante o desenvolvimento de técnicas que permitam o retensionamento do ligamento ou de seus respectivos enxertos substitutos permitindo se obter estabilidade do joelho sem a necessidade de cirurgia de reconstrução ligamentar.

Trabalho desenvolvido no Departamento de Ortopedia e Traumatologia - Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo (IOT/HC/FMUSP).

Endereço para correspondência: Rua Dr. Ovídio Pires de Campos, 333 - 3º. Andar - Cerqueira César - São Paulo - Capital - CEP: 05403-010

1 - Médicos Residentes do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

2 - Preceptor e Pós-graduando do do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

3 - Professor Associado do Departamento de Ortopedia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

4 - Professor Associado do Departamento de Ortopedia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Trabalho recebido em 30/08/06 e aprovado em 25/10/06

Equipamentos de radiofrequência permitem realizar encurtamentos nas fibras colágenas<sup>(4,5)</sup> sem cortá-las. Em seu funcionamento, as ponteiros passam corrente alternada da ponta desta para o tecido. Os ions do tecido seguem a direção da corrente alternada gerando calor friccional. Existem diversos modelos de aparelhos de radiofrequência, inclusive tipos adaptados para uso em cirurgia por artroscopia com presença de líquidos (imersos em solução fisiológica). Estes equipamentos são utilizados em cirurgias ortopédicas e artroscópicas para a ressecção, ablação, excisão de tecidos moles, hemostasia de vasos sanguíneos e coagulação de tecidos moles<sup>(6)</sup>.

O uso de técnicas de encurtamento eletrotérmico com radiofrequência (RF) objetivando encurtar as fibras de colágeno pode ter importância clínica. Seu uso em artroscopia do ombro para encurtamento da cápsula, denominada capsuloplastia térmica, consiste em uma das utilizações clínicas e das linhas de pesquisa atuais com equipamentos de radiofrequência em cirurgias ortopédicas realizada através de artroscopia.<sup>(7,8,9)</sup> Estes equipamentos passaram a ser utilizados em cirurgias de joelho<sup>(1,3,4)</sup>, inclusive na tentativa de eliminar a frouxidão do ligamento cruzado anterior.<sup>(1)</sup> Os métodos com uso de radiofrequência para este fim são considerados relativamente fáceis, podendo ser realizado pela maioria dos cirurgiões com experiência em artroscopia com poucas complicações.

## OBJETIVO

Avaliar as propriedades mecânicas do ligamento cruzado posterior (LCP) e do ligamento patelar (LP) após a aplicação de radiofrequência, comparando-as com as propriedades biomecânicas originais destas estruturas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisadas as características mecânicas rigidez e deformação máxima. Para tal, foi utilizado o terço central do ligamento patelar (LP) e o ligamento cruzado posterior (LCP) de joelhos de cadáveres. Foram analisados 14 joelhos (11 LCP e 14 LP). Não foram incluídos espécimes que apresentavam indícios de ocorrência de doenças consumptivas prévias ou alterações do joelho como deformidades, cicatrizes cirúrgicas ou evidências de lesões prévias, com o objetivo de trabalhar com joelhos considerados normais. A obtenção de peças anatômicas foi restrita àqueles cadáveres em que se permitia captação com tempo de óbito menor que 7 dias e que tinham sido devidamente acondicionados no SVO à temperatura inferior a 4°C.

Os joelhos foram retirados por via anterior, obedecendo os critérios do Serviço de Verificação de Óbitos da Capital (SVOC). Após a sua retirada, as peças anatômicas foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas com registro do SVOC e armazenadas em congelador a -20°C, até a realização dos ensaios mecânicos, por período menor que 2 meses, não interferindo no resultado a preservação até 3 meses nesta temperatura<sup>(10,11)</sup>.

O ligamento patelar e o ligamento cruzado posterior foram dissecados e preparados para a aplicação de radiofrequência e dos ensaios mecânicos. Para tal, as peças anatômicas foram descongeladas por 4 horas à temperatura ambiente e submergidas a solução de cloreto de sódio a 0,9%.

O ligamento patelar foi preparado com dois blocos ósseos (2,0 x 1,0 x 1,0 cm) cada qual em uma extremidade, com largura de 1 cm de tendão, de maneira semelhante a empregada em cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior, sendo utilizado seu terço médio<sup>(12)</sup>.

O ligamento cruzado posterior foi preparado fazendo pequenos cortes no fêmur e na tíbia, de maneira que a peça se ajustasse às garras circulares e permanecesse alinhada axialmente na máquina.

Para a fixação dos corpos de prova do ligamento patelar utilizaram-se garras (as quais fixaram os blocos ósseos) compostas por

duas placas metálicas, retangulares, dotadas de perfil denteado sinusoidal em sua face interna e com dispositivos intermediários em uma das extremidades que permitiam sua montagem na máquina onde foram realizados os ensaios<sup>(13)</sup>.

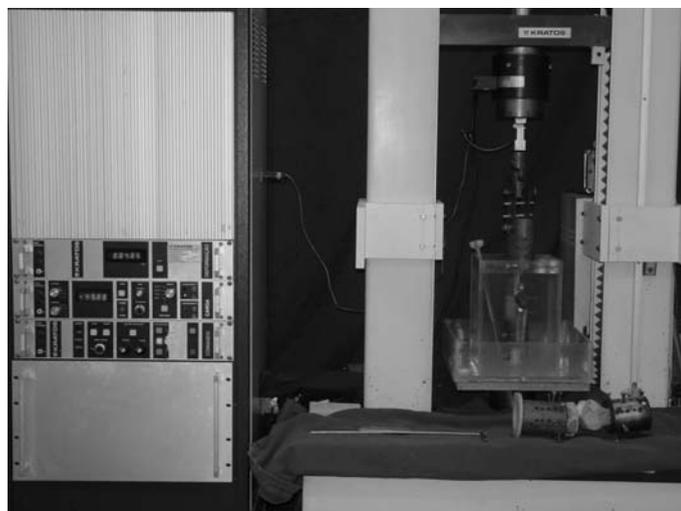
Para a fixação do ligamento cruzado posterior utilizou-se um par de garras circulares, com fixação de cada bloco ósseo no equador das mesmas, mantendo-se o alinhamento, sem tensão, do ligamento.

As garras foram comprimidas entre si com o mesmo torque, controlado.

Utilizamos o aparelho de radiofrequência nos ligamentos fixos a um equipamento, com soro fisiológico, simulando as condições de uma artroscopia de joelho e desenvolvido a fim de minimizar o efeito da desidratação dos ligamentos, evitando alterações nos resultados<sup>(14)</sup>. O compartimento era composto por uma caixa de acrílico, similar a um aquário, com aproximadamente 10 cm de altura, comprimento e largura e tampa removível. A caixa, com capacidade de acomodar 1 litro de soro, possuía uma tampa com vedação de borracha e travas nas quatro pontas para minimizar a perda de líquido. Na tampa havia um furo central para permitir a fixação do tendão com gancho externo.

Em paredes opostas da caixa havia dois furos, para a instrumentação da radiofrequência (furo com membrana de silicone), permitindo abordagem simétrica das estruturas estudadas.

O comprimento inicial dos ligamentos foi aferido com paquímetro. Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Biomecânica LIM 41 do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo em uma máquina universal de ensaios mecânicos, eletromecânica Kratos® K 5002, dotada de célula de carga eletrônica CCI de 100kgf (Figura 1). A precisão deste sistema de carga é de 10g. Os ensaios foram acompanhados por registrador gráfico monitorado por microcomputador IBM PC compatível.



**Figura 1** - Máquina universal de ensaios mecânicos, eletromecânica Kratos® K 5002

Utilizou-se uma junta universal, normatizada para ensaios de tração, objetivando centralizar e homogeneizar as tensões entre as estruturas, compensando eventuais variações de alinhamentos entre as fibras ou feixes dos ligamentos e dos tendões.

Os conjuntos de garras e ligamentos foram montados axialmente na máquina de ensaios mecânicos.

Foram realizados dois ensaios de tração, um antes e um após o uso da RF. O ensaio era iniciado com uma tração uniaxial livre, que era elevada a uma taxa de 20 mm/min até a força de 150N, considerada a força de pico (FMAX). Essa força foi determinada visando manter a integridade da estrutura, para posterior utilização da RF e novo ensaio. Tal força já havia sido utilizada na literatura com intuito de realizar ensaios repetidos.<sup>(13)</sup>

Em seguida, descia-se a junta superior da máquina em uma faixa de 15 a 20% do comprimento inicial, e então era aplicada à estrutura a radiofrequência, através da ponteira do aparelho Vulcan, da PCE (Figura 2). Esse artifício era utilizado para controlar a quantidade do encurtamento, já que a máquina era capaz de detectar quando a estrutura fosse novamente tensionada. A temperatura na ponteira era mantida em torno de 75° C.

A estrutura então encurtada era submetida novamente ao ensaio de tração, sendo obtidos parâmetros biomecânicos após uso da RF.

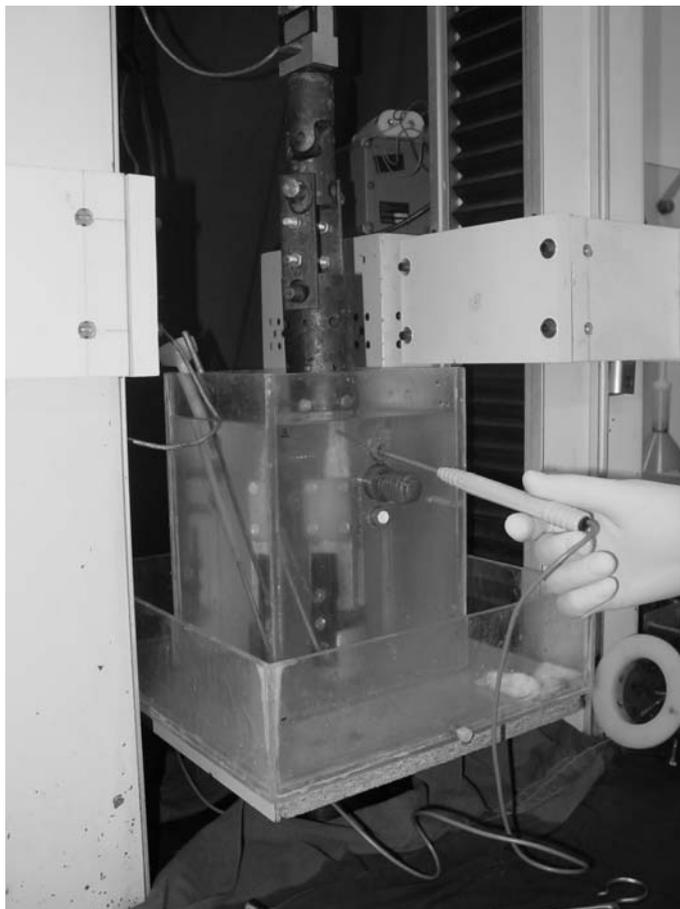


Figura 2 - Ponteira do aparelho Vulcan - PCE

## RESULTADOS

Foram obtidos parâmetros das propriedades biomecânicas antes e após o uso da RF.

A rigidez foi obtida através de um gráfico força (N) X deformação (mm), sendo ela a tangente do ângulo de inclinação do diagrama da fase ascendente até ser atingida a FMAX, predeterminada em 150 N.

Separando os ensaios em 2 grupos, pré-RF e pós-RF, foi construído um gráfico de perfis individuais para as duas estruturas estudadas - LP e LCP. (Gráficos 1 e 2)

Foi realizada uma análise estatística entre o comportamento das duas estruturas, sendo observado em ambas uma diminuição da rigidez após o uso da RF, sendo que essa diminuição foi maior para o LP. (Gráfico 3)

Para o LCP, observou-se uma diminuição da rigidez que foi em média de  $18,1 \pm 8,6$  entre o grupo pré-RF e o grupo pós-RF, que se mostrou estatisticamente significativa ( $p=0,048$ ).

Da mesma forma, para o LP, observou-se uma diminuição da rigidez que foi em média de  $42,6 \pm 7,7$  entre os dois grupos, que se mostrou estatisticamente significativa ( $p < 0,001$ ).

A deformação máxima sofrida pela estrutura durante o teste também foi estudada, através da análise em 2 grupos, pré e pós-RF. Observa-

se abaixo o gráfico dos perfis individuais, mostrando um aumento consistente desta deformação após a RF. (Gráficos 4 e 5)

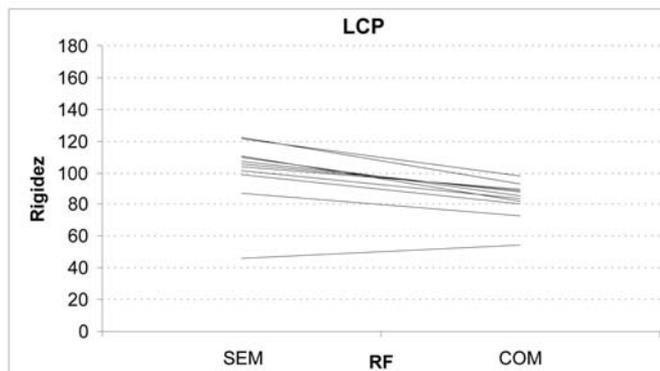


Gráfico 1 - Comportamento da RIGIDEZ para a estrutura LCP segundo RF.

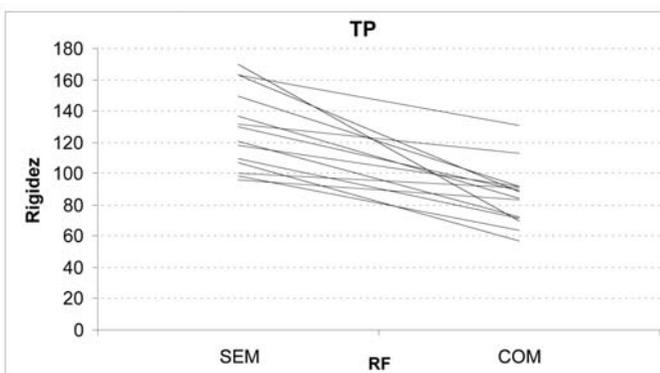


Gráfico 2 - Comportamento da RIGIDEZ para a estrutura TP segundo RF.

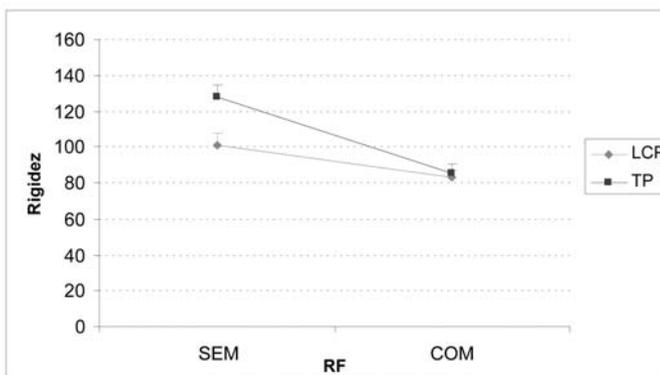


Gráfico 3 - Média + erro padrão da RIGIDEZ segundo estrutura e RF.

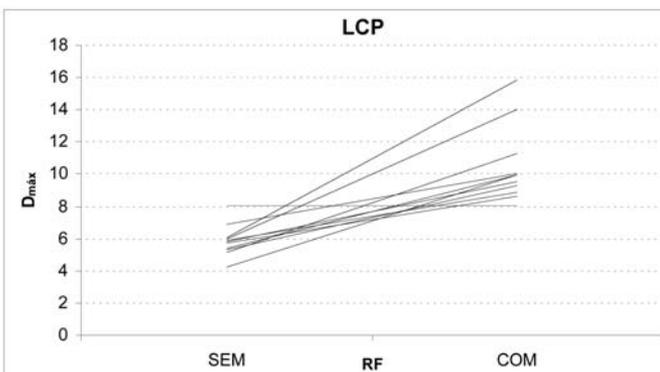
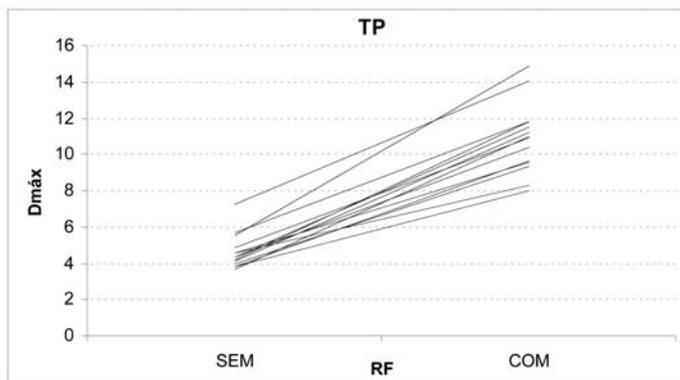
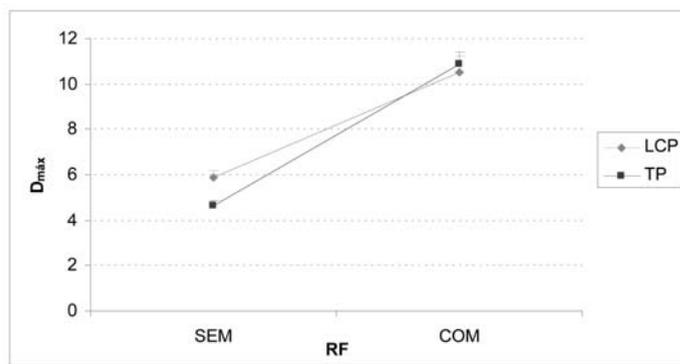


Gráfico 4 - Comportamento da Dmáx para a estrutura LCP segundo RF.



**Gráfico 5 -** Comportamento da Dmáx para a estrutura TP segundo RF.

Procedendo-se a análise estatística através da determinação da média, desvio padrão, mediana, medida mínima e medida máxima, caracterizando o seguinte gráfico (Gráfico 6).



**Gráfico 6 -** Média + erro padrão da Dmáx segundo estrutura e RF.

Conforme a análise, para o LCP, observou-se um acréscimo na deformação máxima do momento pré para o pós RF de  $4,6 \pm 0,6$  mm, em média, sendo tal medida estatisticamente significativa ( $p < 0,0001$ ). Para o LP, observou-se acréscimo de  $6,3 \pm 0,6$  mm, em média, também com significância estatística ( $p < 0,0001$ ).

## DISCUSSÃO

Utilizamos o LCP e o LP pois são estruturas frequentemente consideradas nas patologias e reconstruções ligamentares do joelho. Ainda são escassos os estudos referentes ao LCP e seu comportamento biomecânico associado a lesões, em comparação ao LCA. Levando em conta que os ligamentos cruzados possuem constantes de proporcionalidade e força máxima semelhantes entre si<sup>(5)</sup>, este trabalho visa permitir a aplicabilidade destes re-

sultados também ao LCA, dado seu comportamento biomecânico similar<sup>(15)</sup>.

A porção central do ligamento patelar (LP) tem sido utilizada por muitos cirurgiões ortopédicos na reconstrução do ligamento cruzado anterior. Desta maneira, optamos pelo estudo deste ligamento como elemento comparativo ao comportamento dos ligamentos cruzados.

O uso da radiofrequência é uma técnica nova, com utilização recente na cirurgia do joelho<sup>(1,6,16)</sup>, além de aplicações na cirurgia de ombro<sup>(7,8,9)</sup>.

Estudos mostram que tendões e ligamentos submetidos à radiofrequência não alteram suas propriedades biomecânicas de modo significativo no intervalo entre  $65^\circ$  e  $75^\circ$ , havendo, no entanto, rutura das estruturas com temperaturas superiores a  $80^\circ$  <sup>(4,17)</sup>. Também é sabido que o encurtamento máximo tolerável seria por volta dos 15 a 20%, sem que haja perda significativa das propriedades do colágeno<sup>(4)</sup>. Sendo assim, buscamos manter a temperatura por volta dos  $75^\circ$ , e o encurtamento numa faixa de 15 a 20%.

Através deste trabalho, percebemos que a RF é um método de fácil aplicação e boa eficácia no encurtamento de estruturas do joelho como LP e o LCP, o que se observou em outros estudos in vitro e in vivo<sup>(1,6,14,18)</sup>. Além disso, constatamos de forma objetiva que a RF altera de forma significativa as propriedades mecânicas do tecido.

Observamos que o encurtamento ocorreu à custa de uma significativa redução da rigidez do tecido. Para o LCP, houve uma diminuição média de  $18,1 \pm 8,6$  na rigidez, com  $p = 0,048$ , enquanto o LP apresentou diminuição média de  $42,6 \pm 7,7$ , com  $p < 0,001$ . Esta queda na rigidez após uso de RF também foi notada por outros autores em estudo com animais, em outras estruturas biológicas<sup>(19-21)</sup>.

A perda de rigidez se faz notar no aumento importante na deformação máxima que a estrutura sofreu durante o ensaio. O LCP apresentou um aumento médio de  $4,6 \pm 0,6$  mm, e o LP de  $6,30 \pm 0,6$  mm, ambos com  $p < 0,001$ . Dessa forma, verifica-se que o encurtamento obtido pela RF pode ser parcialmente perdido quando a estrutura for submetida a determinada carga tensional, conforme observado no aumento da deformação máxima após o ensaio de tração padronizado.

Considerando a importante diminuição na rigidez, e conseqüente possibilidade de deformação a cargas tensionais menores, é possível sugerir que após seu uso na cirurgia de joelho pode ser necessária a proteção à estrutura encurtada, no intuito de manter o resultado obtido, método este já utilizado por alguns autores<sup>(3,16)</sup>.

## CONCLUSÃO

O encurtamento por termoabrasão, através do uso da RF, é um método efetivo no encurtamento das estruturas estudadas (LCP e LP). Após o uso da RF, há alteração significativa nas propriedades mecânicas das estruturas, com redução importante da rigidez inicial. Sendo assim, sob tensão, ocorre uma maior deformação da estrutura, e uma perda do encurtamento inicial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - Carter T, Bailie D, Edinger S. Radiofrequency electrothermal shrinkage of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 2002; 30:221-6.
- 02 - Taylor DC, Dal Ton JD, Seaber AV, Garrett WE. Viscoelastic properties of muscletendon units. *Am J Sports Med.* 1990; 18:300-9.
- 03 - Spahn G, Schindler S. Tighthnig elongated ALC grafts by application of bipolar eletromagnetic energy (ligament shrinkage). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2002; 10:66-71.
- 04 - Vangsness CT Jr, Mitchell W, Nimni M, Erlich M, Saadat V, Schmotzer H. Collagen shortening. An experimental approach with heat. *Clin Orthop Relat Res.* 1997; 337:267-71.
- 05 - Wall MS, Deng XH, Torzilli PA, Doty SB, O'Brien SJ, Warren RF. Thermal modification of collagen. *Shoulder Elbow Surg.* 1999; 8:339-44.
- 06 - Roach RA, Roberts SNJ, Rees DA. The potential benefit of thermal shrinkage for lax anterior cruciate ligaments. *Acta Orthop. Belg.* 2004, 70 247-52.
- 07 - Anderson K, Warren RF, Altchek DW, Craig EV, O'Brien SJ. Risk factors for early failure after thermal capsulorrhaphy. *Am J Sports Med.* 2002; 30:103-7.
- 08 - Levy O, Wilson M, Williams H. "Thermal capsular shrinkage for shoulder instability: Mid-term longitudinal outcome study. *J Bone Joint Surg Br.* 2001; 83:640-5.
- 09 - Mishra DK, Fanton GS. Two-year outcome of arthroscopic bankart repair and electrothermal-assisted capsulorrhaphy for recurrent traumatic anterior shoulder instability. *Arthroscopy.* 2001; 17:844-9.
- 10 - Viidik A, Lewin T. Changes in tensile strength characteristics and histology of rabbit ligaments induced by different modes of postmortal storage. *Acta Orthop Scand.* 1966; 36: 141-55.
- 11 - Woo S, Orland C. Effects of posmortem storage by freezing on ligament tensile behavior. *J Biomech.* 1986; 19:399-404.
- 12 - Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy MS. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg Am.* 1984; 66:344-52.
- 13 - Gorios C. Estudo do relaxamento à tensão e da rigidez do ligamento cruzado anterior do joelho e dos enxertos para sua reconstrução com o ligamento patelar e com os tendões dos músculos semitendíneo e grácil [dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2000.
- 14 - Chimich D, Shrive N, Frank C, Marchuk L, Bray R. Water content alters viscoelastic behaviour of the normal adolescent rabbit medial collateral ligament. *J Biomech.* 1992; 25: 831-7.
- 15 - Hernandez AJ. Correlação das propriedades biomecânicas dos ligamentos do joelho com seus parâmetros antropométricos [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 1994.
- 16 - Indelli PF. "Monopolar thermal treatment of symptomatic anterior cruciate ligament instability." *Clin Orthop Relat Res.* 2003; 407:139-47.
- 17 - Hayashi K, Thabit G, Massa KL. The effect of thermal heating on the length and histologic properties of the glenohumeral joint capsule. *Am J Sports Med.* 1997; 25:107-12.
- 18 - Thabit G. The arthroscopic monopolar radiofrequency treatment of chronic anterior cruciate ligament instability. *Oper Tech Sports Med.* 1998; 6:157-60.
- 19 - Potzl W, Heusner T, Kumpers P, Marquardt B, Steinbeck J. Does immobilization after radiofrequency-induced shrinkage influence the biomechanical properties of collagenous tissue? An in vivo rabbit study. *Am J Sports Med.* 2004; 32:681-7.
- 20 - Potzl W, Kumpers P, Szuwart T, Filler T, Marquardt B, Steinbeck J. Neuronal regeneration after application of radiofrequency energy to collagenous tissue is affected by limb immobilization: an in vivo animal study. *J Orthop Res.* 2004; 22:1345-50.
- 21 - Potzl W, Kumpers P, Szuwart T, Gotze C, Marquardt B, Steinbeck J. Immobilisation after radiofrequency-induced shrinkage of tendon. A histological study in rabbits. *J Bone Surg Br.* 2004; 86:752-8.