

# EFEITO DA ÁREA DE SECÇÃO DO ENXERTO NA CIRURGIA DE RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR – ESTUDO HISTOLÓGICO EM CÃES

## EFFECT OF THE GRAFTING SECTION AREA ON THE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION SURGERY – HISTOLOGICAL STUDY ON DOGS

Ricardo Violante Pereira<sup>1</sup>, Sérgio Swain Müller<sup>2</sup>, Rodrigo Vannini<sup>1</sup>, Sérgio Luiz Felisbino<sup>3</sup>, Emílio Carlos Curcelli<sup>2</sup>, Gilberto José Caçõa Pereira<sup>2</sup>, Paulo Roberto de Almeida Silveiras<sup>2</sup>

### RESUMO

**Objetivo:** Relacionar a área de secção inicial do enxerto com o resultado da cirurgia de reconstrução do LCA. Foram operados oito cães, divididos em dois grupos, de acordo com o tamanho do enxerto: grupo A – 25% e grupo B – 40% da largura do ligamento patelar (LP). **Métodos:** Após oito meses, os cães foram sacrificados para análise macroscópica e histológica dos ligamentos reconstruídos, utilizando-se o joelho contralateral do cão como controle. **Resultados:** Em ambos os grupos, todos os ligamentos reconstruídos apresentaram-se viáveis e hipertrofiados; o enxerto de LP teve sua morfologia alterada, verificada através da medida do crimp e da celularidade, assemelhando-se com a do LCA. **Conclusão:** A área de secção do enxerto não influenciou o resultado histológico da cirurgia de reconstrução do LCA em cães.

**Descritores** – Ligamento Cruzado Anterior; Enxerto; Histologia; Cães

### ABSTRACT

**Objective:** To correlate the initial grafting section area with the outcomes from anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction surgery. Eight dogs underwent operations, divided into two groups according to graft size: Group A, 25% and Group B, 40% of the patellar ligament (PL) width. **Methods:** After eight months, the dogs were sacrificed for macroscopic and histological analysis on the reconstructed ligaments. Each dog's contralateral knee was used as a control. **Results:** In both groups, all the reconstructed ligaments were seen to be viable and hypertrophied. The morphology of the PL grafting had changed, which was observed by measuring the crimp and cellularity, and it resembled that of the ACL. **Conclusion:** The grafting section area did not influence the histological outcomes from ACL reconstruction surgery in dogs.

**Keywords** – Anterior Cruciate Ligament; Grafting; Histology; Dogs

### INTRODUÇÃO

Desde sua adoção, a cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA) tem evoluído, fazendo com que a estabilidade e a função do joelho seja restaurada de maneira mais rápida, eficiente e menos traumática<sup>(1)</sup>.

Isso se deve ao avanço da técnica e instrumental cirúrgico e também ao estudo dos seguintes fatores: tipos e propriedades dos enxertos, posicionamento, tensionamen-

to, métodos de fixação e reabilitação pós-operatória<sup>(2)</sup>. De todas estas variáveis, a que tem recebido menor atenção é a dimensão do enxerto, ou melhor, a área de secção.

Atualmente, o enxerto autólogo é o mais utilizado para reconstrução do LCA, sendo o terço médio do ligamento patelar (LP) e os tendões flexores do joelho como os mais populares<sup>(3)</sup>. Ambos são preparados de tal modo que possuam área de secção semelhante ou

1 – Médico da Disciplina de Ortopedia e Traumatologia do HC da Faculdade de Medicina de Botucatu (UNESP) – Botucatu, SP, Brasil.

2 – Professor Doutor do Departamento de Cirurgia e Ortopedia da Faculdade de Medicina de Botucatu (UNESP) – Botucatu, SP, Brasil.

3 – Professor Doutor do Departamento de Morfologia do Instituto de Biociências de Botucatu (UNESP) – Botucatu, SP, Brasil.

Trabalho realizado no Laboratório de Cirurgia Experimental “Willan Saad Hossne” do Departamento de Cirurgia e Ortopedia da FMB – UNESP, Botucatu, SP.

Correspondência: Faculdade de Medicina de Botucatu – Departamento de Cirurgia e Ortopedia – Distrito de Rubião Jr., s/nº – Anexo Azul – Botucatu – 18618-970 – São Paulo. E-mail: psilveiras@fmb.unesp.br

Trabalho recebido para publicação: 09/08/2011, aceito para publicação: 16/09/2011.

Os autores declaram inexistência de conflito de interesses na realização deste trabalho / The authors declare that there was no conflict of interest in conducting this work

superior ao LCA, pois é comumente aceito que após a implantação intra-articular, ao passar pelo processo de ligamentização, que se caracteriza pela modificação do enxerto através dos quatro estágios (necrose avascular, revascularização, proliferação celular e remodelação), tenham sua carga máxima de ruptura reduzida. Vários estudos experimentais têm demonstrado que a carga máxima na ruptura reduz significativamente logo após a cirurgia, e então vai aumentando gradualmente, com o tempo, até atingir somente 30 a 50% do LCA contralateral após sete a 12 meses de pós-operatório<sup>(4,5)</sup>. Beynon *et al*<sup>(6)</sup> relataram um caso, em humano, que a carga máxima de falha do enxerto de LP após oito meses era de 87% do LCA. Portanto, é preconizado o uso de enxertos de diâmetros iguais ou maiores que o LCA nativo para compensar a perda inevitável da resistência do enxerto após a implantação, visto que em tempo zero, tanto o enxerto de 14mm da porção central do LP como o enxerto quádruplo de semitendíneo (ST) ou duplo ST mais duplo grácil (G), apresentam, respectivamente, 168%, 206% e 238% da resistência do LCA<sup>(7,8)</sup>.

Apesar de ser geralmente aceito que enxertos de maior diâmetro possuem melhor estabilidade pós-operatória, o efeito da dimensão do enxerto no resultado da reconstrução do LCA ainda não está definido. Diversos autores não encontraram correlação entre enxertos de tamanhos diferentes com estabilidade pós-operatória, bem como função por meio de estudos clínicos ou experimentais<sup>(2,9-11)</sup>; mais ainda, resultados melhores foram obtidos com enxertos de dimensões menores, visto que sacrificavam menos tecido doador sã, diminuindo assim a dor e melhorando a função pós-operatória<sup>(12-14)</sup>; ou ainda, diminuía-se o risco de complicações decorrentes da hipertrofia do enxerto durante a fase de ligamentização do mesmo, como limitação da extensão do joelho ou até mesmo lesão do enxerto por impacto na parede ou teto do intercôndilo<sup>(9,15)</sup>.

O presente trabalho tem o objetivo de relacionar o efeito da área de secção inicial do enxerto com o resultado final da cirurgia de reconstrução do LCA, através do estudo histológico dos ligamentos reconstruídos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Após aprovação da Comissão de Ética em Experimentação Animal (Protocolo nº 486), oito cães foram submetidos à cirurgia de reconstrução do LCA com enxertos autólogos do LP, sendo que em quatro deles (grupo I) o tamanho do enxerto utilizado correspondia a um quarto (25%) da largura do LP, e nos outros quatro

cães (grupo II) o enxerto correspondia a dois quintos (40%) da largura do LP.

A área de secção dos enxertos, bem como a área de secção do LCA, foi obtida durante a cirurgia multiplicando-se os valores da largura pela espessura, medidas com paquímetro digital.

Todos os cães eram adultos, sem raça definida, pesando entre 13 e 24kg (média de 17,35kg), possuíam joelhos estáveis, com boa amplitude de movimentos e não apresentavam nenhuma alteração intra-articular observada durante a cirurgia. Foram operados os joelhos direitos, deixando os joelhos esquerdos como controle.

Nos dois grupos os cães foram observados por oito meses, e permaneceram contidos no canil e nenhum exercício específico foi realizado tanto no pré como no pós-operatório. Após este período, os cães foram sacrificados com injeção intravenosa de cloreto de potássio; foi aferida a medida da área de secção e realizado estudos histológicos, com o LCA original, com o LCA reconstruído (LCAr) e com um segmento de LP com as mesmas dimensões do utilizado como enxerto, para comparação.

Como regra, o estudo da variação da área do enxerto entre o momento inicial e final foi calculado da seguinte maneira:  $100 \text{ (área final - área inicial) / área inicial (\%)}$ . A comparação dos resultados entre o maior e o menor diâmetro do enxerto foi realizada usando o teste *t* de Student para amostras independentes com nível de 5% de significância. O estudo foi complementado com o coeficiente de variação em porcentagem para cada um dos enxertos<sup>(16)</sup>.

O teste *t* de Student para amostras independentes foi usado também para área nuclear e do crimp com 5% de significância.

### Técnica cirúrgica

Usando técnica asséptica, após anestesia e garroteamento do membro no terço proximal da coxa, incisão de pele, longitudinal anterior, de aproximadamente cinco centímetros de extensão, foi realizada para abordagem do LP e posterior artrotomia parapatelar medial. Após medida a largura total do LP, foi retirado enxerto da porção medial do mesmo sem bloco ósseo, de acordo com o padrão estabelecido entre os grupos; em seguida, o enxerto foi preparado com pontos tipo Kracov nas extremidades utilizando fio de náilon 2-0.

Na artrotomia, o coxim gorduroso era dividido somente na porção mais proximal e a patela luxada lateralmente. O LCA era completamente removido, sendo que tanto a origem como a inserção foram utilizadas como referência para o posicionamento dos túneis ósseos. O túnel tibial foi realizado passando-se inicialmente um

fio de Kirschner da cortical medial da tíbia proximal, emergindo na inserção tibial do LCA; sobre esse fio-guia, uma broca era utilizada com diâmetro de acordo com o tamanho do enxerto. Através do túnel tibial era confeccionado o túnel femoral, passando inicialmente o fio-guia a partir da origem do LCA no fêmur e, em seguida, sobre este a broca com mesmo diâmetro previamente utilizado na tíbia, terminando em fundo de saco.

A articulação foi lavada com soro fisiológico para remoção de partículas ósseas.

Após a confecção dos túneis, o enxerto era conduzido dentro deles pelos fios de sutura e amarrados em parafusos com arruela fixados nas metáfises tanto do fêmur quanto da tíbia, sob tensão adequada.

A ferida cirúrgica era fechada por planos com fio de náilon 3-0 e ocluída com curativo e enfaixamento compressivo. Não foi utilizada imobilização ou restrição da carga no membro operado.

### Análise macroscópica e histológica

Após a eutanásia, a estabilidade anteroposterior e a amplitude de movimento de ambos os joelhos eram testadas manualmente; em seguida, após inventário da cavidade articular, eram retirados: do joelho operado o LCA reconstruído, e do joelho não operado o LCA e um segmento da porção medial do TP da mesma dimensão da que foi usada como enxerto no outro joelho do mesmo cão.

Os tendões e ligamentos foram fixados em formaldeído a 4% dissolvido em tampão fosfato 0,1M pH 7,2, por 48 horas. Após a fixação, o material foi lavado em água corrente, desidratado em série crescente de etanóis, diafanizado em xilol e incluído em Paraplast Plus. Cortes de 5µm foram produzidos em micrótomo rotativo, coletados em lâminas silanizadas e armazenados até o momento de uso.

Cortes em Paraplast foram corados pela hematoxilina-eosina, para uma análise geral da estrutura dos tendões e ligamentos: pelo picosírius, para a análise das fibras de colágenas; e pelo azul de toluidina 0,025% em pH 4,0, para glicosaminoglicanos. Os cortes serão observados em luz normal e polarizada e fotomicrografados em microscópio Leica DMLB.

## RESULTADOS

Antes de completar oito meses, um dos cães teve de ser sacrificado por motivo de doença, não relacionada com o procedimento cirúrgico, restando assim quatro cães do grupo I e três cães do grupo II. Dos sete cães restantes, todos apresentaram boa evolução, sendo que

a maioria já iniciava apoio com a pata operada no solo dentro da primeira semana de pós-operatório.

### Evolução clínica

Nenhum cão apresentou alteração da marcha ou limitação da amplitude de movimento; porém, todos eles apresentaram algum grau de frouxidão (teste da gaveta anterior positivo) quando comparados ao joelho contralateral, sendo isso mais evidente em três cães do GI e um cão do GII.

### Macroscopia

Apesar da utilização de enxertos de diferentes áreas de secção, observou-se que tanto no GI quanto no GII todos os enxertos utilizados possuíam uma área de secção inferior ao LCA original no momento da cirurgia e que, após o período de oito meses, ocorrera hipertrofia destes enxertos (Tabela 1), apresentando-se viáveis e recobertos por abundante quantidade de tecido sinovial. Nenhuma alteração articular degenerativa foi encontrada.

A partir dos resultados da média e desvio padrão dos grupos, verificou-se que o coeficiente de variância do grupo I (CV = 97,7%) foi três vezes maior que o coeficiente do grupo II (CV = 31,1%), indicando que o segundo tem comportamento mais homogêneo que o primeiro, embora a diferença entre as áreas não tenha se mostrado significativa.

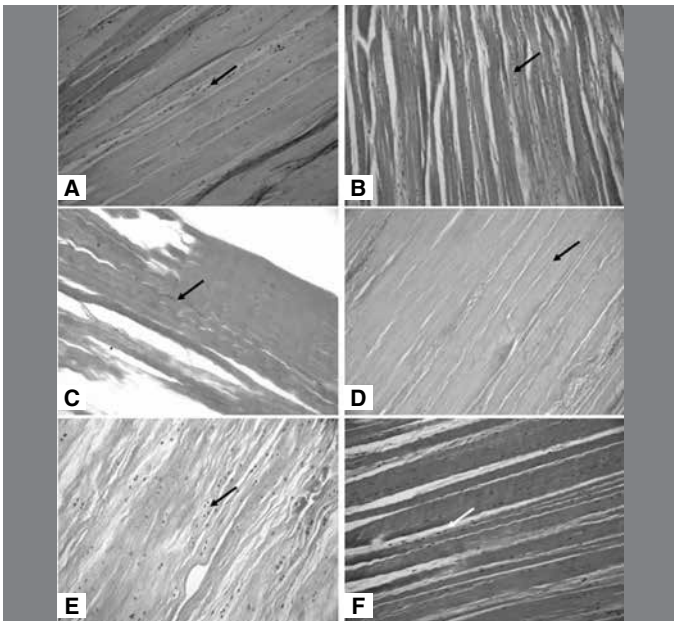
**Tabela 1** – Medidas descritivas da porcentagem de variação das áreas (hipertrofia) em relação aos momentos inicial e final da avaliação.

Unidade de observação	GI (%)	GII (%)	Resultado do teste
1	79,6	157,4	
2	21,7	90,9	
3	175,0	100,0	
4	389,0		
Média ± desvio padrão	165,7 ± 161,8	116,1 ± 36,1	(p > 0,05)
Coefficiente de variação	(97,7%)	(31,1%)	

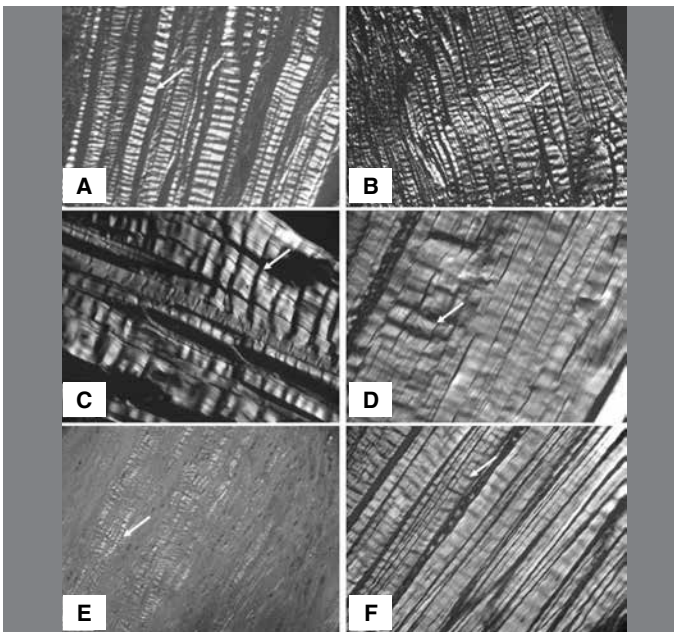
### Microscopia

Observamos que, após oito meses, os enxertos de LP adquiriram características morfológicas semelhantes ao LCA (Figuras 1 e 2).

Quantificamos essa semelhança através da medida do crimp (padrão ondulatório das fibras de colágeno apresentado nos tendões e ligamentos) e da área ocupada por núcleos celulares (celularidade do tecido) nas amostras do enxerto de LP, LCA e LCAr, conforme mostram as Tabelas 2 e 3. Nelas, podemos verificar que nesses dois parâmetros o LP teve suas características modificadas após os oito meses de implantação (LCAr) para um padrão muito próximo ao do LCA.



**Figura 1** – Cortes histológicos dos ligamentos corados com H&E e observados em luz convencional. (A) LCA controle cão grupo I; (B) LCA controle cão grupo II; (C) LP controle cão grupo I; (D) LP controle cão grupo II; (E) LCAr cão grupo I; (F) LCAr cão grupo II. Observar núcleos enfileirados entre as fibras colágenas (setas). Notar maior número de núcleos nos LCAs e LCArs, e que a morfologia do LCAr se aproxima dos LCAs controles, independentemente da espessura do enxerto.



**Figura 2** – Cortes histológicos dos ligamentos corados com picosirius e observados em luz polarizada. (A) LCA controle cão grupo I; (B) LCA controle cão grupo II; (C) LP controle cão grupo I; (D) LP controle cão grupo II; (E) LCAr cão grupo I; (F) LCAr cão grupo II. Observar alternância de áreas claras e escuras ao longo das fibras colágenas, as quais representam as ondulações de crimp dos diferentes materiais. Notar que o tamanho do crimp é maior no LP e que ambos LCAr têm morfologia de crimp semelhante ao LCA controle, independente da espessura utilizada. Aumento 200x.

### Área nuclear e crimp

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados da área nuclear e crimp, respectivamente, nos grupos I e II e nas variáveis estudadas, acompanhadas da análise estatística.

Não se verificou diferença significativa entre os enxertos dos grupos I e II para LCA, LP e LCAr ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 2** – Média e desvio padrão da área nuclear segundo tipo de enxerto (%).

Variável	Enxerto		p valor
	Grupo I	Grupo II	
LCA	2,07 ± 0,18	2,10 ± 0,09	$p > 0,05$
LP	1,10 ± 0,20	1,08 ± 0,15	$p > 0,05$
LCAr	2,10 ± 0,18	2,07 ± 0,19	$p > 0,05$

**Tabela 3** – Média e desvio padrão do comprimento de crimp segundo tipo de enxerto (micrômetro).

Variável	Enxerto		p valor
	Grupo I	Grupo II	
LCA	28,24 ± 2,76	33,47 ± 4,92	$p > 0,05$
LP	72,08 ± 8,91	72,77 ± 13,84	$p > 0,05$
LCAr	33,96 ± 6,42	32,06 ± 5,12	$p > 0,05$

## DISCUSSÃO

Nosso estudo demonstrou que, após o período de oito meses, os enxertos utilizados apresentavam-se hipertrofiados e com características histológicas semelhantes à do LCA, sendo que o grupo II apresentou comportamento mais homogêneo que o grupo I; ou seja, quando utilizamos enxertos de maior diâmetro com dimensões mais próximas ao do LCA nativo, os resultados foram mais constantes. Em ambos os grupos, nenhuma alteração degenerativa intra-articular (característico da insuficiência do LCA em cães) foi encontrada após análise intra-articular dos joelhos operados, sugerindo que mesmo nos casos em que possuíam maior grau de frouxidão ao exame clínico, os LCAr apresentavam-se viáveis. A modificação da morfologia do enxerto de LP, verificada por meio da proliferação celular, da remodelação e reorganização das fibras colágenas para padrão semelhante ao do LCA, é outro fator a favor da funcionalidade dos enxertos nos dois grupos.

Apesar de ser preconizado o uso de enxertos de dimensões semelhantes ou superiores que o LCA original, não foi encontrado na literatura nenhum trabalho histológico, comparando o efeito de enxertos com áreas de secção diferentes na cirurgia de reconstrução do LCA.

Shino *et al*<sup>(17)</sup>, ao compararem o uso de auto e aloenxertos para reconstruir o LCA em cães, usaram enxertos de dimensões diferentes; porém, apesar de verificarem que após 52 semanas o aloenxerto possuía padrão histológico semelhante ao LCA e resistência mecânica de 30% do LCA controle, não fizeram comparações entre a diferença de tamanho inicial do enxerto, visto que não era este o objetivo do trabalho.

Vários outros estudos também demonstram que, após o período de um ano, o enxerto se assemelha ao LCA do ponto de vista histológico, como também sofre algum

grau de hipertrofia<sup>(18,19)</sup>. Alm e Strömberg<sup>(20)</sup> demonstraram que o enxerto do terço central do LP assemelha-se ao padrão histológico e vascular do LCA após quatro a cinco meses de pós-operatório.

Embora vários trabalhos demonstrem a semelhança histológica do enxerto, após o período de ligamentização do mesmo, com o LCA, a correspondência dessas similaridades para com as suas propriedades funcionais permanecem ainda controversas. Diversos estudos experimentais têm demonstrado que as propriedades estruturais dos enxertos são significativamente inferiores às do LCA original<sup>(17,18,21,22)</sup>, porém não se pode afirmar que isso se deva em parte ou totalmente à dimensão inicial do enxerto utilizado. Cummings *et al*<sup>(9)</sup>, após realizarem a reconstrução do LCA em ovelhas com enxertos de diferentes tamanhos e tensões, observaram, após seis meses, que as diferenças iniciais haviam desaparecido, ou seja, não havia diferença na área de secção do enxerto apesar de as medidas iniciais serem diferentes, e não havia diferença na translação anteroposterior, apesar da frouxidão inicial do enxerto. A dimensão inicial do enxerto não teve aparentemente nenhum efeito nas propriedades mecânicas estudadas; além disso, também foi observado que enxertos maiores estavam associados aos piores resultados pós-operatórios (limitação da extensão, aumento do dano à cartilagem articular).

Existem outras características que devem ser levadas em consideração na análise de estudos em animais, tais como: articulações de tamanhos menores (implicando em maior dificuldade técnica), biomecânica diferente do joelho humano e a falta de controle para reabilitação adequada. Tais fatores são significativos, visto que é bem conhecido que as forças aplicadas ao enxerto, durante a fase de ligamentização, desempenham papel importante no resultado final da remodelação<sup>(9,23)</sup>. Em estudos clínicos, em que pode-se entender e controlar melhor estes fatores, não foram encontradas diferenças funcionais entre enxertos de tamanhos diferentes em humanos<sup>(2,10,11)</sup>.

## CONCLUSÃO

A área de secção do enxerto não influenciou o resultado da cirurgia de reconstrução do LCA em cães, ao analisarmos os resultados do ponto de vista histológico; porém, o uso de enxertos de dimensões mais próximas ao LCA nativo apresentaram resultados mais homogêneos. Novas pesquisas serão necessárias para que se entenda o papel da dimensão inicial do enxerto na cirurgia de reconstrução do LCA, e, dessa maneira, chegarmos ao menor tamanho de enxerto possível para uma cirurgia segura e com menor morbidade.

## REFERÊNCIAS

- Bartlett RJ, Clatworthy MG, Nguyen TN. Graft selection in reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br.* 2001;83(5):625-34.
- Yoshiya S, Kurosaka M, Shoda E, Kuroda R, Shimizu K, Yamamoto T, et al. Cross-sectional area of a bone-patellar tendon-bone graft for anterior cruciate ligament reconstruction. *J Knee Surg.* 2003;16(2):75-8.
- Graham SM, Parker RD. Anterior cruciate ligament reconstruction using hamstrings tendon graft. *Clin Orthop Relat Res.* 2002;409:64-75.
- Butler DL, Grood ES, Noyes FR, Olmstead ML, Hohn RB, Arnoczky SP, et al. Mechanical properties of primate vascularized vs. nonvascularized patellar tendon grafts; changes over time. *J Orthop Res.* 1989;7(1):68-79.
- McFarland EG, Morrey BF, An KN, Wood MB. The relationship of vascularity and water content to tensile strength in a patellar tendon replacement of the anterior cruciate in dogs. *Am J Sports Med.* 1986;14(6):436-48.
- Beynon BD, Risberg MA, Tjomsland O, Ekeland A, Fleming BC, Peura GD, et al. Evaluation of knee joint laxity and the structural properties of the anterior cruciate ligament graft in the human. A case report. *Am J Sports Med.* 1997; 25(2):203-6.
- 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(3):344-52.
- Hammer DL, Brown CH Jr, Steiner ME, Hecker AT, Hayes WC. Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament: biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 1999;81(4):549-57.
- Cummings JF, Grood ES, Levy MS, Korvick DL, Wyatt R, Noyes FR. The effects of graft width and graft laxity on the outcome of caprine anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Res.* 2002;20(2):338-45.
- Tanya A, Litchfield R, Kirkley A, Amendola A, Fowler P. Doubled semitendinosus and gracilis grafts compared to doubled semitendinosus grafts alone in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized clinical trial. *Clin Sports Med.* 2000;10:222.
- Laxdal G, Kartus J, Hansson L, Heidvall M, Ejerhed L, Karlsson J. A prospective randomized comparison of bone-patellar tendon-bone and hamstring grafts for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2005;21(1):34-42.
- Tashiro T, Kurosawa H, Kawakami A, Hikita A, Fukui N. Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. *Am J Sports Med.* 2003;31(4):522-9.
- Gobbi A, Domzalski M, Pascual J, Zanazzo M. Hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: is it necessary to sacrifice the gracilis? *Arthroscopy.* 2005;21(3):275-80.
- Hunter RE. The role of graft size and surgical technique on functional outcome following ACL reconstruction. *Arthroscopy.* 1996;12:380.
- Hamada M, Shino K, Horibe S, Mitsuoka T, Toritsuka Y, Nakamura N. Changes in cross-sectional area of hamstring anterior cruciate ligament grafts as a function of time following transplantation. *Arthroscopy.* 2005;21(8):917-22.
- Zar JH. *Biostatistical analysis.* 4th ed. New Jersey: Prentice-Hall; 1999.
- Shino K, Kawasaki T, Hirose H, Gotoh I, Inoue M, Ono K. Replacement of the anterior cruciate ligament by an allogeneic tendon graft. An experimental study in the dog. *J Bone Joint Surg Br.* 1984;66(5):672-81.
- Arnoczky SP, Tarvin GB, Marshall JL. Anterior cruciate ligament replacement using patellar tendon. An evaluation of graft revascularization in the dog. *J Bone Joint Surg Am.* 1982;64(2):217-24.
- Chiroff RT. Experimental replacement of the anterior cruciate ligament. A histological and microradiographic study. *J Bone Joint Surg Am.* 1975;57(8):1124-7.
- Alm A, Strömberg B. Transposed medial third of patellar ligament in reconstruction of the anterior cruciate ligament. A surgical and morphologic study in dogs. *Acta Chir Scand Suppl.* 1974;445:37-49.
- Clancy WG Jr, Narechania RG, Rosenberg TD, Gmeiner JG, Wisnefske DD, Lange TA. Anterior and posterior cruciate ligament reconstruction in rhesus monkeys. *J Bone Joint Surg Am.* 1981;63(8):1270-84.
- O'Donoghue DH, Frank GR, Jeter GL, Johnson W, Zeiders JW, Kenyon R. Repair and reconstruction of the anterior cruciate ligament in dogs. Factors influencing long-term results. *J Bone Joint Surg Am.* 1971;53(4):710-8.
- Grood ES, Walz-Hasselfeld KA, Holden JP, Noyes FR, Levy MS, Butler DL, et al. The correlation between anterior-posterior translation and cross-sectional area of anterior cruciate ligament reconstructions. *J Orthop Res.* 1992;10(6):878-85.