

ANA CLAUDIA BONOME SALATE

**EFEITO DA COLOCAÇÃO DE UM PONTO
SIMPLES EM TENDÃO FLEXOR DE COELHO
EM REGIÃO VASCULARIZADA E
AVASCULARIZADA. ANÁLISE DAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS E
HISTOPATOLÓGICAS.**

Tese apresentada à Faculdade de
Medicina de Botucatu-Unesp para
obtenção do título de Doutor em Bases
Gerais da Cirurgia- Área de
Concentração: Agressão, Reparação,
Regeneração e Transplante de Tecidos
e Órgãos

Orientador: Prof. Dr. SÉRGIO SWAIN MÜLLER
Co-Orientador: Prof. Dr. TRAJANO SARDENBERG

Faculdade de Medicina de Botucatu-Unesp
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

*Ao meu eterno companheiro pelo
amor, paciência e dedicação nos
momentos de ausência e nas
alterações de humor*

*Aos meus pais minha gratidão
pelo incentivo e confiança*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Sérgio Swain Müller pela orientação e colaboração na execução deste trabalho

Ao Prof. Dr. Trajano Sardenberg pela orientação, paciência e amizade.

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto Padovani pela análise estatística dos resultados obtidos

À Sra. Maria Cecília Salgado Mercadante, Bióloga do Laboratório de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimentação da Faculdade de Medicina de Botucatu-Unesp pelo grande auxílio durante a coleta dos dados.

Ao Sr. Luis Carlos Bardella, Técnico do Laboratório e Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimentação da Faculdade de Medicina de Botucatu-Unesp pelo auxílio durante o procedimento experimental e análises biomecânicas.

À Prof^a Dr^a Kunie Iabuki Rabello Coelho pelo auxílio nas análises histopatológicas.

Ao Sr. Paulo Roberto Cardoso, Técnico do Laboratório de Pesquisa do Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina de Botucatu pelo auxílio na montagem e coloração das lâminas da histologia.

Ao Sr. Carlos Luís Miguel, Técnico de Informática do Departamento de Cirurgia e Ortopedia da Faculdade de Medicina de Botucatu- Unesp pela colaboração na formatação deste trabalho

“Na vida, não vale tanto o que temos nem tanto importa o que somos. Vale aquilo que realizamos com aquilo que possuímos e, acima de tudo, importa o que fazemos de nós”

Francisco Cândido Xavier

Resumo

Nas últimas três décadas muitas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de compreender o processo cicatrização dos tendões flexores e ainda hoje, a reabilitação envolve processos complexos e não compreendidos totalmente. As incertezas em colocar a sutura central na face dorsal vascularizada ou na face palmar avascularizada, persistem ainda na prática clínica e nos experimentos das técnicas de reparo dos tendões flexores dos dedos da mão na região da bainha digital. O objetivo deste estudo foi analisar as propriedades mecânicas e histopatológicas da colocação de um ponto de sutura simples no tendão flexor profundo dos dedos do pé de coelhos, verificando os efeitos na interface sutura-tendão e comparar a colocação deste ponto na região do tendão fibroso, vascularizada e na região do tendão fibrocartilaginoso avascular. Foram estudados 88 coelhos machos divididos em dois grupos de acordo com o local de colocação do ponto de sutura e em mais três subgrupos de acordo com o tempo de seguimento pós-operatório de sete, 14 e 21 dias. O procedimento cirúrgico consistiu na colocação de um único ponto na região de tendão fibroso (Grupo TF) e na região de tecido fibrocartilaginoso (Grupo TFC) no tendão flexor profundo dos dedos do pé do coelho. Em ambos os grupos, os tendões estavam íntegros, sem lesão e os animais permaneceram livres de imobilização. As propriedades mecânicas estudadas foram carga máxima, tensão na carga máxima, módulo de elasticidade, energia na carga máxima e energia por área. Três tendões de cada grupo foram submetidos à análise histológica descritiva por meio de microscopia óptica com ênfase no progresso das etapas da cicatrização tendinosa. A análise das propriedades mecânicas demonstrou comportamento semelhante em ambos os grupos, com aumento dos valores de acordo com os tempos de sete, 14 e 21 dias na maioria das variáveis. Os grupos controle apresentaram semelhança em relação aos grupos operados com exceção do tempo de 21 dias em que o grupo de TFC apresentou valores superiores ao controle. A histopatologia demonstrou processo de cicatrização semelhante, havendo diferença somente em relação ao tempo de pós-operatório. Em conclusão, não houve diferença entre a colocação da sutura central na região de tendão fibroso vascularizado ou fibrocartilaginoso avascular em relação aos aspectos biomecânicos e histopatológicos no tendão flexor profundo dos dedos do pé do coelho.

Palavras-chave: Biomecânica; Coelho; Histologia; Sutura; Tendão Flexor; Vascularização

Abstract

In the last three decades many studies have been undertaken with the aim of understanding the process of flexor tendon healing and even now, the rehabilitation involves a complex and not fully understood process. The doubts concerning placing the core suture in the vascularized dorsal region than of the palmar avascularized region remain in clinical practice and in the experimental techniques in the repair of flexor tendons of the finger in the digital sheath. The aim of this study was to evaluate the mechanical and histopathologic properties of placing a single suture on the deep flexor tendon in rabbit toes, examining the effects on suture-tendon interface and compare the placement of this point at normal vascularized tendon as well as at the avascular fibrocartilagenous tendon. Eighty-eight male rabbits were studied and divided into two groups according to the local of the point of suture and in three subgroups according to the time of postoperative segment of seven, fourteen and twenty-one days. The surgical procedure was inserting a single point in the region of fibrous tendon (TF Group) and the region of fibrocartilagenous tissue (TFC Group) in deep flexor tendon in rabbit toes. In both groups, the tendons were intact without injury and the animals were allowed free movement. The mechanical properties were maximum load, stress at maximum load, elasticity modulus (Young modulus), energy at maximum load and energy per area. Three tendons from each group were subjected to descriptive histological analysis by an optical microscopy emphasizing the process of tendon healing stages. The analysis of mechanical properties showed similar trend in both groups, with increasing values in accordance with the periods of seven, fourteen and twenty-one days in most of the variables. The control group showed relative similarity than operated group except in TFC twenty one days group that operated group were upper than control. Histopathological studies showed similar healing process in TF and TFC groups varying only in relation to the post-operative period. In conclusion, there were no difference between the placement of the suture in normal vascularized tendon and fibrocartilagenous avascularized region in deep flexor tendon of rabbits concerning biomechanical and histopathological aspects.

Key Words: Biomechanics; Rabbit; Flexor Tendon; Histology; Suture; Vascularization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Tendões	13
2.1.1 Arquitetura interna dos tendões	13
2.2 Tendões flexores da mão	14
2.2.1 Vascularização dos tendões flexores	16
2.3 Biomecânica	18
2.3.1 Histórico.....	18
2.3.2 Biomecânica dos tendões	19
2.3 Processo de reparação	22
2.3.1 Fase inflamatória	22
2.3.2 Fase proliferativa	23
2.3.3 Fase de remodelação	24
2.3.4 Cicatrização intrínseca e extrínseca dos tendões.....	24
2.4 Tratamento cirúrgico dos tendões flexores	26
3 OBJETIVO	30
4 MATERIAL E MÉTODO	32
4.1 Animais de experimentação	32
4.2 Grupos experimentais	32
4.3 Atributos estudados	33
4.3.1 Propriedades mecânicas	33
4.3.2 Análise histopatológica	33
4.4 Modelo experimental	33
4.5 Técnicas utilizadas	35
4.5.1 Inspeção e pesagem.....	35
4.5.2 Anestesia e assepsia	35
4.5.3 Posicionamento do animal.....	35
4.5.4 Técnica cirúrgica	35
4.5.5 Sacrifício	37
4.5 Preparação das amostras	37
4.5.1 Ensaio mecânico	37
4.5.2 Histopatologia.....	37
4.6 Técnica do ensaio mecânico	37
4.7 Técnica de análise histopatológica	38
4.8 Análise estatística	39
5 RESULTADO	41
5.1 Propriedades mecânicas	41
5.2 Análise histopatológica	52
5.2.1 Subgrupos Tendão Fibroso (TF) e Fibrocartilagem (TFC) sete dias após o procedimento cirúrgico.....	53
5.2.2 Subgrupos Tendão Fibroso (TF) e Fibrocartilagem (TFC) 14 dias após o procedimento cirúrgico	56
5.2.3 Subgrupos Tendão Fibroso (TF) e Fibrocartilagem (TFC) 21 dias após o procedimento cirúrgico	58
6 DISCUSSÃO	62
6.1 Animal de experimentação	62

6.2 Procedimentos e momentos experimentais.....	63
6.3 Método do ensaio mecânico	64
6.4 Método do estudo histopatológico.....	66
6.5 Estudo das propriedades mecânicas.....	67
6.6 Estudo histopatológico	72
6.7 Considerações finais.....	75
7 CONCLUSÃO.....	77
8 REFERÊNCIAS.....	79

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Até a década de 1970, as informações para melhorar o desempenho em relação ao reparo dos tendões flexores eram baseadas quase inteiramente em experiências individuais e clínicas e muitas vezes com pouco auxílio científico. Nas últimas três décadas, houve uma enorme quantidade de pesquisas destinadas em melhorar o conhecimento da estrutura dos tendões, cinesiologia, características biomecânicas, características das várias técnicas de sutura e os efeitos da movimentação pós-operatória na força e reparo destes tendões (Strickland, 2005). No entanto, McDowell et al. (2002) consideram que o processo de reparo tendíneo é complexo e não compreendido totalmente. Os resultados inconsistentes apresentados neste processo continuam estimulando muitas pesquisas biológicas e biomecânicas.

De acordo com Wong et al. (2006), vários métodos têm sido desenvolvidos para unir os cotos tendíneos e nas últimas décadas houve uma tendência em aumentar a complexidade do reparo com ênfase em melhorar a força e minimizar a formação de aberturas no local. Os autores consideram que a reação celular desta grande variedade de técnicas ainda não está clara.

Permitir a função digital satisfatória após a lesão e o reparo do tendão flexor, segundo Strickland (2000) e Beredjikian (2003) tem sido uma das maiores dificuldades na cirurgia ortopédica. Isso ocorre devido à anatomia particular dos tendões flexores profundos dos dedos dentro da bainha digital e no sistema de polias, o que exige que os tendões não só devem ser reparados com coaptação apropriada para promover a cicatrização, mas também que este reparo seja forte o suficiente para permitir alguma forma de mobilização com a finalidade de reduzir a formação de aderências na bainha (Soejima et al., 1995).

Além disso, as incertezas entre colocar a sutura central na face dorsal do tendão, prejudicando eventualmente a nutrição sangüínea intrínseca ou colocar a sutura central na face palmar para preservar a irrigação, porém com menor resistência, persiste ainda na prática clínica e nos experimentos das técnicas de reparo e cicatrização dos tendões flexores dos dedos da mão na região da bainha digital (Sardenberg, 2006).

Aoki et al. (1995), Soejima et al. (1995) e Cao et al. (2002) sugerem que o posicionamento dorsal do ponto central apresenta vantagem mecânica quando comparado com o posicionamento palmar. Por outro lado, Stein et al. (1998a) e Sardenberg (2006) não demonstraram diferenças na resistência máxima à tração em sutura colocada na região palmar ou dorsal de tendões flexores.

Nos últimos 30 anos, as pesquisas têm sido direcionadas para o desenvolvimento de técnicas de suturas fortes, sendo que não há consenso em relação à escolha do material de sutura ideal. Outro aspecto importante é a relação entre a reação tecidual ao material de sutura e as propriedades mecânicas do tendão durante o processo de cicatrização (Lawrence & Davis, 2005).

McDowell et al. (2002) verificaram que a sutura em tendões flexores normais sem lesão pode provocar modificações na interface sutura-tendão, o que poderia comprometer o resultado do reparo tendíneo. Wong et al. (2006), afirmam que os conhecimentos do processo da reação tecidual do tendão ao material de sutura ainda não estão bem estabelecidos.

Assim, o presente estudo justifica-se pela necessidade de maiores conhecimentos em relação aos processos biológicos e propriedades mecânicas dos tendões flexores relacionados às alterações que podem ser provocadas na interface sutura-tendão e, especificamente, pelas incertezas em relação ao que pode ocorrer ao tendão com a colocação do ponto de sutura na face palmar para preservar a irrigação ou na face dorsal para obter maior resistência da sutura.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tendões

Hipócrates e outros médicos da antiguidade não reconheciam os tendões como estruturas distintas. Os tendões eram descritos como estruturas esbranquiçadas localizadas na terminação do músculo e confundida com os nervos. Galeno afirmou que os tendões eram formados por ligamentos e nervos e que não deveriam ser suturados, pois poderia causar dores, convulsões, perda de consciência e morte. As afirmações de Galeno tiveram um impacto negativo nos avanços médicos por mais de 1500 anos (Carlstedt, 1987; Manske, 2005).

Ibn Sina, conhecido no ocidente como Avicena, médico e filósofo árabe, realizou a primeira cirurgia reparadora do tendão, contrariando as orientações de Galeno, e foi seguido por muitos cirurgiões europeus do século XIV ao século XVI (Manske, 2005).

Em 1543, Andreas Versalius de Bruxelas, publicou seu livro *De Humani Corporis Fabrica* em sete volumes e fez a distinção definitiva entre tendão e nervo (Manske, 2005).

John Hunter, em 1767 realizou o primeiro estudo experimental da cicatrização dos tendões, verificando as modificações morfológicas associadas ao reparo em tendão calcâneo e, no século XX, começaram as pesquisas em relação ao reparo dos tendões flexores na bainha digital, prevalecendo até os dias atuais (Carlstedt, 1987; Manske, 2005).

2.1.1 Arquitetura interna dos tendões

Os tendões constituem a unidade do sistema musculoesquelético que transmite a força do músculo ao osso (Józsa & Kannus, 1997; Khan et al., 1999; Lin et al., 2004; James et al., 2008).

Tendões normais são brancos, brilhantes e possuem uma textura fibroelástica, mostrando grande resistência à cargas mecânicas (Józsa & Kannus, 1997; Khan et al., 1999). São formados por tecido conjuntivo denso modelado, com feixes densos e paralelos de colágeno separados por discreta quantidade de substância fundamental amorfa. As células são classificadas como fibrócitos com núcleos alongados e paralelos às fibras de colágeno e o citoplasma delgado com poucos prolongamentos que envolvem as fibras colágenas (Junqueira & Carneiro, 2006; James et al., 2008).

A rede de fibras colágenas é alinhada paralelamente ao eixo longitudinal e circundada por bainha constituída por componentes de matriz extracelular que contém, além do colágeno e da elastina, proteínas, água, glicosaminoglicanos, glicoproteínas e íons. Este

líquido atua como lubrificante, reduzindo o atrito, e facilitando o deslizamento das fibrilas no interior da bainha em resposta às cargas mecânicas impostas ao tecido (Junqueira & Carneiro, 2006; James et al., 2008).

O colágeno é sintetizado pelos fibroblastos e constitui a base estrutural da unidade musculotendínea. As fibras colágenas do tendão possuem disposição resultante do processo de maturação, sendo usualmente organizadas em fascículos de fibras, contendo unidades menores denominadas fibrilas (Vogel, 2003; James et al., 2008).

Józsa & Kannus (1997) afirmam que as estruturas peritendíneas podem ser divididas em cinco categorias: 1) a bainha fibrosa, que é o canal pelo qual os tendões deslizam durante o movimento; 2) as polias, que são reforços anatômicos abaixo das bainhas situadas em locais de curvas no curso dos tendões; 3) as bainhas sinoviais que são os túneis de acesso para os tendões nas superfícies ósseas, podendo causar atrito; 4) estrutura de tecido conjuntivo frouxo, denominada paratendão, que permite o livre movimento com as estruturas adjacentes, como nos tendões calcâneo e patelar; 5) a bursa tendínea, que está em locais anatômicos em que a proeminência óssea pode provocar a compressão e desgaste do tendão.

A arquitetura do tendão permite o suporte de grandes tensões para transmitir a força gerada durante a contração muscular ao osso para a realização dos movimentos (James et al., 2008).

2.2 Tendões flexores da mão

A Federação Internacional das Sociedades de Cirurgia da Mão estabeleceu a divisão dos tendões flexores da mão em cinco zonas (Figura 1) sendo a zona I da parte distal à interfalangeana proximal (IFP); a zona II da primeira polia anular até a IFP; a zona III da parte distal do túnel cárpico até a primeira polia anular; a zona IV o túnel cárpico e a zona V proximal ao túnel cárpico (Sobania & Santos, 2000).

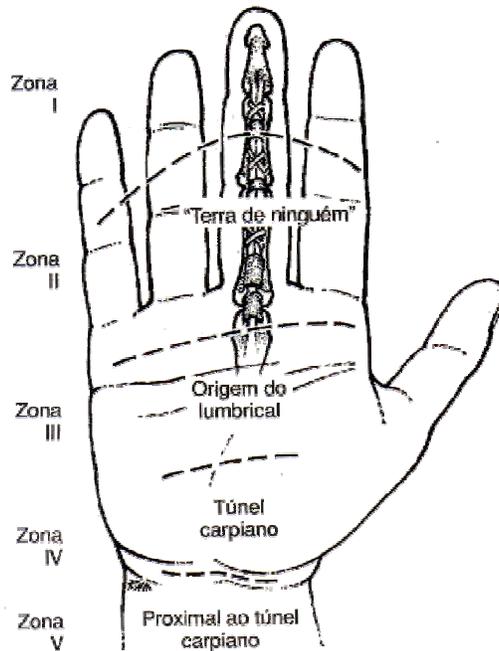


Figura 1- Divisão da mão em zonas de acordo com a Federação Internacional de Sociedades de Cirurgia de Mão. Adaptado de Wright, 1997

Bunnell, em 1934, atribuiu o termo *no man's land* (terra de ninguém) para descrever a região dos tendões flexores dos dedos da mão na bainha digital (Zona II) e afirmou que não se deveria suturar o tendão neste local em virtude da possibilidade de formação de aderências aos tecidos vizinhos, o que poderia prejudicar o resultado funcional. A opção seria o enxerto sem sutura na região da bainha digital (Newmeyer & Manske, 2004; Manske, 2005).

A estabilização e o direcionamento dos tendões flexores durante seu curso são garantidos pelas bainhas fibrosas, as quais contêm polias cruciformes e anulares. A partir da cabeça do metacarpiano, estas bainhas formam um verdadeiro túnel osteofibroso por onde o tendão pode deslizar durante o movimento. Além disso, esta bainha participa da lubrificação do tendão, contribuindo para o deslizamento (Novak, 2005).

De acordo com Ochiai et al. (1979) há cinco polias anulares e quatro cruciformes conforme mostrado na Figura 2 e a “terra de ninguém” de Bunnell consiste na porção entre a primeira e a quarta polia anular. A aponeurose palmar (Figura 2 - PA), com as fibras fasciculares e paratendinosas ao longo de aproximadamente 9,3 cm no nível do colo metacarpiano, acrescenta eficiência biomecânica ao sistema de polias (Strickland, 2000; Strickland, 2005).

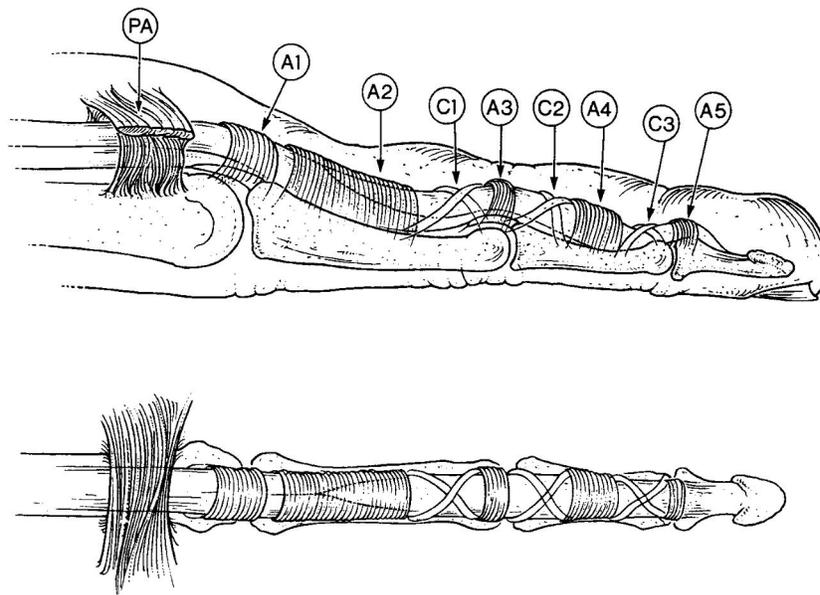


Figura 2- Vista lateral (acima) e palmar (abaixo) dos componentes da bainha flexora dos dedos. Polias anulares (A1, A2, A3, A4, A5), polias cruciformes (C1, C2, C3) e aponeurose palmar (PA). Adaptado de Strickland, 2005

2.2.1 Vascularização dos tendões flexores

No início do século XX, os tendões eram considerados estruturas completamente avasculares. Porém, em 1916, Mayer constatou um padrão bem organizado intra e peritendíneo de vasos sanguíneos, demonstrando que o tendão recebe seu suprimento sanguíneo de três lugares: dos músculos adjacentes, do periósteo e da junção osteotendínea e, especialmente, dos vasos do paratendão, mesotendão e bainha sinovial. Constatou também áreas avasculares na porção intrasinovial do tendão flexor digital profundo (Harrison et al., 2003a).

Peacock (1959) mostrou que as três fontes de suprimento sanguíneo descritas por Mayer contribuíam em diferentes proporções, hipotetizando que o sistema de vínculos era o mais importante e, o suprimento proveniente da junção osteotendínea e musculotendínea era relativamente menor, nutrindo apenas a região proximal e o terço distal do tendão.

A zona II, a região da bainha digital é onde ocorre, segundo Lundborg & Myrhage (1977), Lundborg et al. (1977), Ochiai et al. (1979) e Lundborg et al. (1980), a irrigação dos tendões flexores dos dedos da mão, sendo predominantemente dorsal.

Harrison et al. (2003a) também afirmaram que, na região da polia anular A2, os vasos sanguíneos são localizados na porção central e dorsal do tendão. Consideram que o

tendão é bem vascularizado proximal a esta polia, porém entre A2 e A4, há área com baixa vascularização.

A Figura 3A mostra o sistema de vínculos na região do canal osteofibroso (Zona II) que recebe irrigação de ramos das artérias digitais, como descrito por Lundborg & Myrhage (1977), Lundborg et al. (1977), Ochiai et al. (1979) e Lundborg et al. (1980).

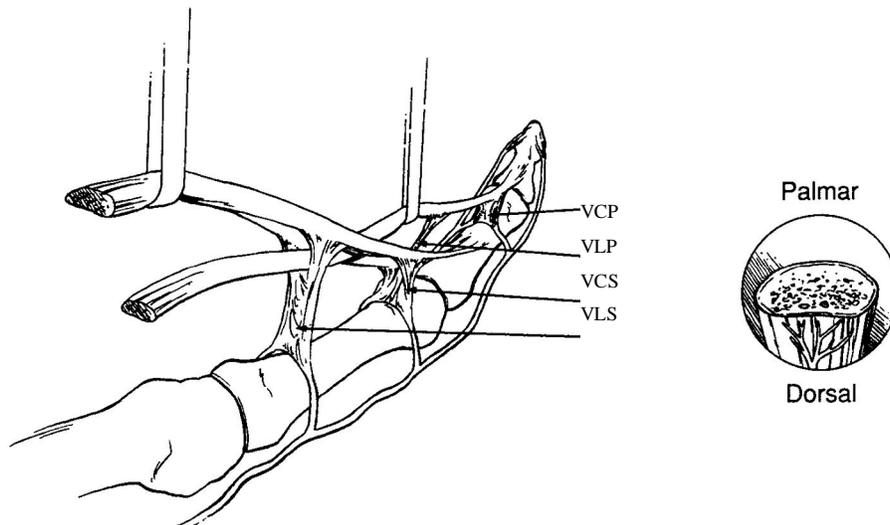


Figura 3- A. Suprimento sangüíneo dos tendões flexores na bainha digital. VCP = Víncula curta do flexor profundo; VCS = Víncula curta do flexor superficial; VLP = Víncula longa do flexor profundo; VLS = Víncula longa do flexor superficial. B. Região dorsal rica em vasos sangüíneos e Região palmar avascularizada. Adaptado de Strickland, 2005

Manske et al. (1978) e Manske & Lesker (1984) concluíram que a principal fonte de nutrição dos tendões flexores na zona II é o líquido sinovial e não o sangue proveniente do sistema de vínculos.

Steinberg (1997), Sobania & Santos (2000) e Harrison et al. (2003b) relatam que há dois potenciais distintos de nutrição dos tendões dos dedos da mão: diretamente da vascularização tendínea e indiretamente, por meio do líquido sinovial. Estes autores consideram ambos os sistemas presentes e importantes.

O líquido sinovial proporciona uma alternativa nutricional nas regiões em que os tendões apresentam características avasculares, como ocorre na face palmar nas zonas I e II dos dedos da mão (Figura 3B) (Sobania & Santos, 2000; Strickland, 2000; Strickland, 2005).

A região do tendão próxima à inserção óssea e as regiões submetidas às forças de compressão e tensão, em razão da presença de polias, proporcionam a flexibilidade para a bainha digital e o acesso às ramificações das artérias digitais (Steinberg, 1997). De acordo

com Sardenberg (2006) essa região exibe características de tecido tendinoso normal (conjuntivo denso modelado) e de tecido fibrocartilaginoso em locais próximos, com região de transição entre esses tecidos.

O tecido fibrocartilaginoso, também chamado de cartilagem fibrosa ou fibrocartilagem, tem características intermediárias entre a cartilagem hialina e os tendões e está sempre associado ao conjuntivo denso sendo que, muitas vezes, os limites são imprecisos entre os dois tecidos (Benjamim & Evans, 1990; Vogel, 2003; Junqueira & Carneiro, 2006).

Os estudos de Lundborg & Myrhage (1977), Lundborg et al. (1977), Lundborg & Rank (1978) e Lundborg et al. (1980) indicam a presença de região de tecido fibrocartilaginoso na face palmar dos tendões flexores na zona II, especificamente sob as polias anulares A2 e A4, no nível da articulação interfalangeana proximal. Essa região do tendão, localizada na face palmar, está submetida a regime de forças compressivas durante a flexão dos dedos.

Lundborg & Myrhage (1977), Lundborg et al. (1977) e Harrison et al. (2003a) consideram que a diferença na vascularização na região palmar e dorsal ocorre em função das diferentes cargas mecânicas impostas e que, devido à força compressiva que a região palmar é submetida, a nutrição do tecido neste local por meio de vascularização é absolutamente inviável.

2.3 Biomecânica

2.3.1 Histórico

Aristóteles, considerado o “pai da cinesiologia” em 384-322 a.C., escreveu o livro “Os Movimentos dos animais”, descrevendo as ações dos músculos e considerando os corpos como sistemas mecânicos (Martin, 1999).

Anos depois (131-201 d.C.), Galeno, escreveu o livro “Sobre a função das partes”, relatando as partes do corpo humano e esta obra permaneceu como referência durante 1400 anos sem que houvesse qualquer progresso em relação à biomecânica (Martin, 1999).

No século XV, Leonardo da Vinci iniciou pesquisas em relação à estrutura do corpo humano primeiramente em relação aos componentes vetoriais de força, coeficientes de fricção, aceleração e outros parâmetros mecânicos. Estudando a anatomia humana no contexto mecânico, analisou a força dos músculos agindo na origem e inserção e a função articular. Entretanto, os dados não foram publicados durante séculos e tiveram pouco impacto científico na época (Martin, 1999).

A hegemonia de Galeno finalmente foi modificada em 1543, quando Versalius publicou seu livro “A estrutura do corpo humano” (*De Humani Corporis Fabrica*). Galileu também teve grande contribuição na biomecânica, incorporando tempo, espaço e velocidade no estudo do movimento humano (Martin, 1999).

René Descartes (1598-1650) escreveu o *Traité de l'homme* (1662), importante livro médico considerado como o primeiro texto de fisiologia, em que o homem é apresentado como máquina física com alma imaterial (Martin, 1999).

Giovanni Borelli (1608-1679) procurou aplicar à Medicina o modelo físico-matemático de Galileu e, junto com Marcello Malpighi um dos melhores microscopistas da época e pai da embriologia, e Descartes, tornaram-se figuras chave na iatrofísica, ao afirmarem o papel fundamental da mecânica nos estudos funcionais do corpo humano (Martin, 1999).

O famoso livro “*De motu animalium*” de Giovanni Alfonso Borelli é a primeira obra que abrange a biomecânica, na época conhecida como física aplicada à medicina. Foi publicado em duas partes sendo que na primeira, em 1680, Borelli considerou as funções do aparelho locomotor do homem e de quadrúpedes, pássaros, peixes e outros animais do ponto de vista mecânico. Calculou a força que os músculos desenvolveriam e transmitiriam pelas articulações durante atividades como carregar cargas, andar, correr, pular, nadar, voar, entre outras. Foi provavelmente o primeiro a determinar experimentalmente o centro de gravidade humano e os estudos se limitaram mais no conhecimento dos movimentos do que nas cargas impostas. A segunda parte do livro é relacionada à mecânica dos fluidos, relativa à circulação sanguínea e experimentos sobre fisiologia respiratória (Maquet, 1992).

Wolff, em 1892, sugeriu que qualquer mudança na forma do osso, na direção ou magnitude da carga nele aplicada, resultaria em remodelação das trabéculas ao longo do novo vetor de carga. Em 1895, Roux afirmou que o tecido conectivo indiferenciado transforma-se em osso, cartilagem ou tecido fibroso, dependendo da combinação das forças de compressão e tração a que estão submetidos. Mais tarde, em 1940, Pauwels mostrou que a diferenciação do tecido conjuntivo surge de modificações em tamanho e volume e que o aparelho locomotor do homem é construído, na realidade, com mínimo material para máxima resistência ao estresse (Maquet, 1992).

2.3.2 Biomecânica dos tendões

Os tendões reagem frente às forças de compressão e de tensão de maneira análoga à Lei de Wolff para o tecido ósseo. Há significativa associação entre as forças de compressão

e o tecido fibrocartilagenoso e forças de tensão e tecido conjuntivo denso modelado típico dos tendões (Maquet, 1992; Nessler et al., 1992).

A localização anatômica do tendão ao longo de seu trajeto guarda relação com a função e com o regime de forças mecânicas a que está submetido. Esses três fatores, quais sejam, localização anatômica, função e regime mecânico são interdependentes e determinam a arquitetura e a composição bioquímica do tendão. Além disso, estas regiões apresentam ainda diferenças morfológicas e bioquímicas relacionadas não somente ao suprimento sanguíneo como também à organização das células, tamanho e orientação das fibras colágenas e concentração de glicosaminoglicanos (Sardenberg, 2006).

As propriedades mecânicas dos tendões são principalmente dependentes da arquitetura e das propriedades das fibras colágenas e da proporção de elastina. O arranjo paralelo das fibras de colágeno permite a eficiência para a função de transmitir forças com a mínima deformação ou perda de energia (Carlstedt, 1987; Kirkendall & Garret, 1997).

O diagrama de carga-deformação ou tensão-alongamento é método clássico de caracterização e comportamento mecânico do tendão. A curva típica do tecido tendíneo é demonstrada na Figura 4. A primeira região corresponde à acomodação, na qual pequenas cargas produzem deformação e as fibras do tecido não estão carregadas na totalidade. A região dois é a fase elástica na qual força maior é exigida e as fibras de colágeno perdem o aspecto ondulado e tornam-se paralelas, sendo que após a retirada da força, o tecido retorna ao estado normal. A terceira fase é a plástica em que pode haver modificações irreversíveis ao tecido, ou seja, falhas progressivas. Com a realização de carga máxima, que reflete a tensão final do tecido, ocorre rapidamente falha completa e a habilidade de sustentação de carga do tendão fica substancialmente reduzida, indicada na Figura 4 como fase quatro (Nordin et al., 2003; Hamill & Knutzen, 2008; James et al., 2008).

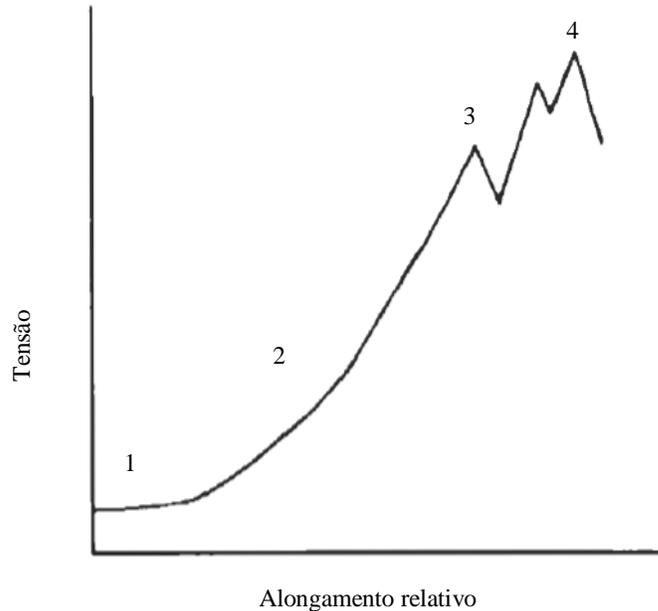


Figura 4- Curva de Tensão-alongamento relativo para tendão testado até a falha em tensão. 1- Acomodação. 2-Fase elástica. 3- Fase plástica. 4- Limite de ruptura do tecido. Adaptado de Carlstedt, 1987

O tendão é submetido ao estresse constante quando o músculo se contrai e a força com que isso ocorre depende da área de secção transversal. Quanto maior a área de secção transversal do músculo, mais alta a magnitude da força produzida pela contração. Da mesma forma, quanto maior a área de secção transversal do tendão, maiores as cargas que poderá agüentar. A resistência final da tensão dos tendões é limitada sob o ponto de vista funcional, pois sob condições fisiológicas normais, estas estruturas estão submetidas à magnitude de força de apenas 1/3 da carga necessária para que ocorra o rompimento do tecido (Nordin et al., 2003).

Assim, os tendões não se rompem em condições normais. Fatores como envelhecimento, gravidez, mobilização e imobilização, diabetes, uso de esteróides, entre outros, podem afetar diretamente as propriedades biomecânicas dos tendões, predispondo-os às lesões (Józsa & Kannus; 1997; Kirkendall & Garret, 1997; Nordin et al., 2003).

As polias A2 e A4 são as mais importantes para o movimento normal dos tendões flexores da mão. Qualquer alteração em uma destas regiões poderá diminuir o movimento e levar às contraturas em flexão nas articulações interfalangeanas (Lundborg&Myrhage, 1977; Strickland, 2000; Strickland 2005).

2.3 Processo de reparação

O processo de reparo tendíneo é iniciado no momento em que o tendão é submetido à lesão e pode ser dividido em três fases distintas e sobrepostas que são diferenciadas por uma cascata de eventos celulares e bioquímicos com o objetivo de promover o restabelecimento das fibras tendíneas e o mecanismo de deslizamento com as estruturas adjacentes (Lin et al., 2004; Strickland, 2005; James et al., 2008).

As três fases sequenciais são denominadas inflamatória, proliferativa ou fibroblástica e de remodelação. A fase inflamatória inicia-se imediatamente após a lesão. A fase proliferativa ou fibroblástica inicia-se aproximadamente no quinto dia após a lesão e a remodelação inicia-se aproximadamente com quatro a oito semanas, caracterizando-se, principalmente pelo realinhamento do colágeno ao longo da linha de força do tecido (Beredjikian, 2003).

2.3.1 Fase inflamatória

A lesão provoca ruptura dos vasos sangüíneos, com conseqüente extravasamento de sangue, plasma e fluidos teciduais para a área lesada (Gigante et al., 1996; Józsa & Kannus, 1997; James et al., 2008). Assim, o estágio inicial da inflamação é caracterizado por alterações vasoativas que promovem a exsudação de fagócitos do sangue para as margens da lesão. A infiltração celular ocorre nas primeiras 24 horas e continua por poucos dias (Pereira, 1994).

Fatores quimiotáxicos e vasoativos, como a norepinefrina e serotonina, são secretados imediatamente após a lesão, promovendo a vasoconstrição dentro dos primeiros cinco a dez minutos. Simultaneamente, as plaquetas reúnem-se ao redor do epitélio dos vasos lesados e ao colágeno exposto, liberando fosfolipídeos que estimulam o mecanismo de coagulação. Fibrinas e fibronectinas formam ligações transversas com o colágeno, o que resulta em uma tênue estrutura que estanca a hemorragia local e funciona como resistência a forças de tensão durante a fase inicial do reparo (Józsa & Kannus, 1997).

A vasodilatação, seguida da vasoconstrição transiente, provoca aumento na pressão hidrostática e no fluxo sangüíneo. Com isso, a permeabilidade vascular aumenta em resposta às reações químicas promovidas pela histamina, que é liberada pelas plaquetas, mastócitos e leucócitos granulares; e pela bradicinina que, além dessa função, estimula a liberação de prostaglandinas nas fases mais tardias da inflamação (Józsa & Kannus, 1997).

Durante uma a duas semanas após a lesão, há uma extensa infiltração por leucócitos polimorfonucleares, macrófagos e fibroblastos, que permanecem no tecido de

granulação. Na maior parte da fase de reparo, os macrófagos estão presentes, atuando na secreção de fatores de crescimento e fibronectina, que promovem a quimiotaxia dos fibroblastos, fixação e migração dessas células no local da lesão, estimulando a proliferação (Lin et al., 2004).

As células inflamatórias atuam principalmente na remoção de tecido necrótico e microorganismos localizados na área lesada. Quando o objetivo é alcançado por volta do quinto ao sétimo dia pós-lesão, inicia-se, então, a fase proliferativa (Józsa & Kannus, 1997).

2.3.2 Fase proliferativa

Segundo Pereira (1994), Józsa & Kannus (1997) e James et al.(2008) a fase proliferativa inicia-se com a chegada de fibroblastos, miofibroblastos e células endoteliais na área lesada. A migração e a proliferação dessas células são estimuladas por fatores de crescimento liberados pelas plaquetas e macrófagos teciduais.

O suprimento vascular do tendão é significativamente reduzido após a ruptura. A ativação angiogênica das células endoteliais possui grande papel na promoção e regulação de eventos importantes durante o processo de reparo (Zhang et al., 2003). Assim, a formação de novos vasos é necessária para a composição do tecido de granulação e o restabelecimento da integridade vascular, restaurando o suprimento de oxigênio e nutrientes para o novo tecido, melhorando a alta demanda metabólica local e permitindo a continuação do crescimento celular e síntese, divisão e migração de células ao local de lesão (Petersen et al., 2003).

Durante a fase de proliferação, alguns fibroblastos adquirem características ultraestruturais, funcionais e químicas que os distinguem dos fibroblastos teciduais ativos, sendo chamados miofibroblastos. Embora os miofibroblastos possuam a morfologia do fibroblasto, contêm grande quantidade de microfilamentos de actina e miosina no interior (Junqueira & Carneiro, 2006).

A combinação de novos capilares, fibroblastos, miofibroblastos e matriz extracelular formada por colágeno e outros componentes não colagenosos, dão origem ao tecido conjuntivo ricamente vascularizado que preenche a área lesada (Józsa & Kannus, 1997).

Esse tecido conjuntivo frouxo rico em capilares sanguíneos e contendo leucócitos e matriz extracelular formada por fibras de colágeno finas (predominantemente colágeno tipo III), ácido hialurônico e moderada quantidade de proteoglicanas, recebe o nome de tecido de granulação (Pereira, 1994).

2.3.3 Fase de remodelação

A fase de remodelação é caracterizada pela diminuição na quantidade de células, diminuição na síntese de matriz e no colágeno tipo III. A cicatriz contém fibras colágenas bem organizadas e o tecido gradualmente muda de predominantemente celular, para fibroso com grande quantidade de fibras colágenas. Há aumento gradual de força própria da cicatriz e aumento da estabilidade das ligações moleculares (Józsa & Kannus, 1997; James et al., 2008).

O aumento da resistência do tecido lesado decorre do remodelamento do colágeno, principalmente do colágeno tipo I, e do aumento das ligações cruzadas entre as moléculas. A maturação e o realinhamento linear são normalmente vistos por volta do 5º ao 6º mês após a lesão (Pereira, 1994; Józsa & Kannus, 1997; Lin et al., 2004; James et al., 2008).

2.3.4 Cicatrização intrínseca e extrínseca dos tendões

De acordo com Beredjiklian (2003), Lin et al. (2004) e James et al. (2008), dois mecanismos de cicatrização dos tendões têm sido propostos: extrínseco e intrínseco, porém há muito debate na literatura em relação às evidências experimentais para provar ou desaprovar cada mecanismo.

Potenza (1962) realizou estudo experimental da cicatrização do tendão flexor profundo dos dedos da pata de 35 cães na bainha digital em tempos variando entre um e 128 dias. Os animais permaneceram imobilizados até o momento do sacrifício. Concluiu que os tecidos da bainha digital promoveram cicatrização ativa do tendão; a nutrição dos fibroblastos presentes na cicatriz é originária das aderências entre a cicatriz tendinosa e a bainha e estas aderências parecem não interferir na função do tendão cicatrizado. Após 28 dias de seguimento pós-operatório a cicatriz ainda é imatura para a movimentação articular ativa, tornando-se suficiente com 38 dias.

Sobania & Santos (2000) consideram que as conclusões de Potenza (1962) tornaram evidente, nessa época, que as aderências tendinosas na bainha digital seriam fundamentais para a cicatrização dos tendões e que, portanto, haveria a necessidade de imobilização articular após a sutura da lesão durante tempo mínimo de três semanas.

Lundborg & Rank (1978) relataram que os tendões flexores poderiam iniciar o processo de reparo intrínseco na região da bainha digital. Esses autores retiraram, cortaram e suturaram o tendão flexor dos dedos do coelho e o colocaram no interior do joelho do mesmo animal. As análises morfológicas indicaram que houve processo de cicatrização confirmando o potencial intrínseco desses tendões.

Estes resultados foram novamente observados por Lundborg et al. (1985) após colocarem os tendões cortados e imediatamente suturados de oito coelhos em um tubo de silicone fechado e implantarem o tubo subcutaneamente na coluna dos animais durante seis semanas. Os resultados revelaram síntese de colágeno e proliferação celular na região superficial e profunda do tendão, indicando o potencial intrínseco de reparo.

Manske et al. (1984) realizaram estudo *in vitro* em 22 tendões de coelhos em tempos de observação de três, cinco e sete semanas e também observaram potencial intrínseco de reparo, sendo os mecanismos ocorrendo a partir da diferenciação das células e produção de colágeno no epitendão.

Assim, no processo de reparo extrínseco, considera-se que o tendão não possui capacidade para cicatrizar por si próprio e requer a formação de aderências, infiltração de células inflamatórias e fibroblastos e suprimento sanguíneo externo, requerendo a rede vascular bem estabelecida para que o tecido cicatrize adequadamente. Já no mecanismo intrínseco, o tendão é reparado pela proliferação de células do epitendão e do endotendão, com suprimento vascular intratendíneo e sem necessidade de formação de aderências (Manske et al., 1984; Lundborg et al., 1985; Józsa & Kannus, 1997; Sardenberg, 2006; James et al., 2008).

De acordo com Manske & Lesker (1984) e Lundborg et al. (1985), quando a microcirculação intratendínea e o fluido sinovial são preservados pela combinação de técnicas de suturas adequadas e reconstrução da bainha sinovial, os próprios tenócitos, por meio de expressões gênicas, promovem a cicatrização intrínseca. Porém, quando a nutrição tendínea é prejudicada por técnicas de suturas inadequadas ou ressecção da bainha sinovial, mecanismos extrínsecos promovem a cicatrização do tecido tendíneo.

James et al. (2008) relatam que o mecanismo extrínseco é ativado precocemente, sendo responsável pela formação de aderência inicial, matriz com grande quantidade de células e fibras colágenas desorganizadas e grande quantidade de líquidos no local. Em contraste, o mecanismo intrínseco seria responsável pela reorganização das fibras colágenas e da continuidade das fibrilas na fase de remodelamento.

Apesar da divergência de opiniões e lacunas no conhecimento da cicatrização tendinosa, principalmente relativas ao papel e origem das diversas células que participam do processo de reparação, acredita-se que há a participação de ambos os mecanismos, isto é, o extrínseco e o intrínseco e, o domínio de um ou outro seria determinado pelas condições locais, relacionadas, principalmente, à nutrição tecidual e à movimentação da região suturada durante a cicatrização (Lin et al., 2004; Sardenberg, 2006).

2.4 Tratamento cirúrgico dos tendões flexores

Diferentemente da lesão do tendão calcâneo que, em determinadas situações, possibilita o tratamento conservador, a lesão completa dos tendões flexores dos dedos da mão exige o reparo cirúrgico para a recuperação funcional. Portanto, o reparo cirúrgico obtido por meio da colocação de pontos no tendão, possibilitando a manutenção de cotos tendinosos lesados opostos um ao outro é condição fundamental para o processo de cicatrização tendinosa e recuperação funcional (Beredjikian, 2003; Mass, 2004).

A maioria das pesquisas relacionadas ao reparo tendíneo tem como foco principal os aspectos mecânicos, como por exemplo, a técnica de sutura ideal e protocolos de reabilitação pós-operatórios com movimentação precoce (Beredjikian, 2003).

Sobania & Santos (2000) e Strickland (2005) listaram as características da sutura ideal para o reparo do tendão flexor. São elas: facilidade de realização; nó firme; superfície de sutura lisa; manter a integridade das bainhas e polias; material do fio não deve ser irritante; mínimo potencial de formação de espaço no local de sutura; técnica atraumática; resistência suficiente para permitir a movimentação precoce; mínima interferência na vascularização.

Silva et al. (2009) consideram que a resistência do tendão durante o reparo depende de vários componentes: tensão do músculo, rigidez articular, resistência do tecidos moles edemaciados, carga externa e do deslizamento no sistema de polias e bainha sinovial.

A colocação do ponto de sutura na região dorsal do tendão flexor dos dedos, segundo alguns autores, tem sido desencorajada, pois poderia interferir no suprimento sangüíneo (Soejima et al., 1995; Boyer, 2005). Por este motivo, a colocação do ponto central na região palmar do tendão flexor da zona II, é orientação clássica na história do tratamento das lesões dos tendões flexores (Komanduri et al., 1996).

No entanto, Aoki et al. (1995) e Soejima et al. (1995) afirmaram que existem outras fontes de nutrição do tecido já relatadas por Lundborg et al. (1977), Ochiai et al. (1979) e Manske & Lesker (1984), não tendo, portanto, importância o local da sutura na nutrição do tecido, pois o tendão ainda teria capacidade de cicatrização mesmo com o comprometimento vascular.

De acordo com Boyer (2005) não há afirmação definitiva de que o local de colocação do ponto de sutura nos tendões flexores promoverá aumento da resistência no reparo.

Estudando a resistência imediata da sutura de tendões Aoki et al. (1995), Soejima et al. (1995) e Komanduri et al. (1996) encontraram vantagem significativa em relação à resistência quando o ponto é colocado na região dorsal quando comparado à colocação na

região palmar. Stein et al. (1998a) não encontraram diferenças significativas na resistência máxima à tração entre a localização do ponto de sutura em tendões de cadáveres.

Nessler et al. (1992) realizaram estudo experimental em cães seccionando parcialmente o tendão flexor dos dedos da mão em região de tecido normal tendinoso (dorsal) e região de tecido fibrocartilaginoso (palmar) e os resultados indicaram que a região de tecido fibrocartilaginoso avascular apresentou, precocemente, cicatriz com maior resistência que a região do tecido tendinoso normal.

Sardenberg (2006) também realizou estudo comparando as propriedades mecânicas e as características histopatológicas do processo de cicatrização do tendão flexor em região de tecido tendíneo em face dorsal e palmar em coelhos e concluiu que não houve grandes diferenças entre os grupos estudados.

No experimento de Wong et al. (2006) em tendão flexor de coelhos e ratos sem lesão foram observadas modificações celulares significativas após a colocação de único e simples ponto de sutura, sendo estas modificações persistentes por até duas semanas.

McDowell et al. (2002) investigaram os efeitos biomecânicos e enzimáticos da sutura em tendões intactos e encontraram zona acelular de 0,5 mm formada ao redor do reparo pela técnica Kessler e Savage. Em seguida, houve influxo de células, correspondendo a um aumento na atividade da colagenase local. Os testes biomecânicos destes tendões mostraram diminuição progressiva na resistência e elasticidade de acordo com o aumento desta atividade da colagenase.

Momose et al. (2000) realizaram estudo *in vitro* em cães, verificando o efeito da sutura no deslizamento do tendão íntegro, sem que houvesse efeito da cicatrização do tecido decorrente da ruptura. Os autores consideraram que o náilon proporciona menor atrito que o poliéster e que a sutura deve ser pequena para minimizar a resistência ao deslizamento do tecido no interior das polias durante o processo de reparo.

De acordo com Beredjiklian (2003) a imobilização pós-operatória pode assegurar a integridade do reparo tendíneo, mas também pode levar à contratura articular. Inversamente, a movimentação precoce pode prevenir a formação de aderências e contraturas, mas também colocar o local em risco de ruptura.

Os sucessos dos protocolos de reabilitação que empregam o reparo tendinoso associados à movimentação precoce encorajam os cirurgiões a estabelecerem técnicas de maior resistência mecânica. Por outro lado, a reabilitação pós-operatória com movimentação precoce aumenta o risco de ruptura da sutura na cicatrização. Desta forma, o principal desafio para os pesquisadores é permitir a cicatrização do tendão, evitando a formação de aderências e

de nova ruptura (Momose et al. 2000; Boyer et al., 2001a; Boyer, 2003; Lin et al. 2004; Zhao et al. 2007; Silva et al. 2009).

No início dos anos 80, Gelberman et al. (1980), Gelberman et al. (1981), Gelberman et al. (1982) e Gelberman et al. (1983) desenvolveram modelo experimental em cães para estudar os variados aspectos do reparo dos tendões flexores na Zona II, principalmente a movimentação precoce no pós-operatório. Os estudos mostraram melhores resultados funcionais, mecânicos e histológicos em tendões tratados com movimentação passiva precoce sendo caracterizados por proliferação celular e migração das células ao local de reparo e produção de colágeno precocemente quando comparadas aos tendões imobilizados. Além disso, a movimentação limitou a formação de aderências no local de reparo.

Kusano et al. (1999) desenvolveram modelo experimental tendões flexores de coelhos com diferentes técnicas de sutura e movimentação ativa pós operatória e consideraram que os exercícios de flexão ativa podem ser realizados no pós-operatório. Choueka et al. (2000) afirmam que a movimentação ativa requer técnica de sutura forte e a força necessária para estes protocolos pós-operatórios dos tendões ainda não está bem definida.

Lawrence & Davis (2005) afirmam que a reabilitação ativa precoce durante o reparo tendíneo é benéfica para prevenir aderências, estimular a cicatrização e aumentar a eficácia clínica, porém de acordo com Boyer et al. (2005) a magnitude da carga aplicada não está claramente controlada e os efeitos do aumento da excursão do tendão não estão bem avaliados em modelos clínicos.

OBJETIVO

3 OBJETIVO

O objetivo do presente estudo* foi analisar as propriedades mecânicas e as características histopatológicas do efeito da colocação de um ponto de sutura simples no tendão flexor profundo dos dedos do pé de coelho, comparando a colocação deste ponto na região do tendão fibroso vascularizado à região do tendão fibrocartilaginoso avascular.

* Na elaboração deste trabalho foram observadas as seguintes condições:

- 1-Volpato ESN, Silva RC, Pizzani L. Manual de apresentação de trabalho científico: tese, dissertação, monografia. Botucatu: Divisão Técnica de Biblioteca e Documentação, UNESP, campus de Botucatu, 2009. Available from: www.biblioteca.btu.unesp.br
- 2- Os termos anatômicos veterinários estão em conformidade com: Schaller O. Nomenclatura Anatômica Veterinária Ilustrada. São Paulo: Manole, 1999.
- 3- Projeto aprovado pela Comissão de Ética em Experimentação Animal da Faculdade de Medicina de Botucatu-UNESP em 19 de abril de 2007 (Protocolo nº593).
- 4- Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimental “William Saad Hossne” do Departamento de Cirurgia e Ortopedia da Faculdade de Medicina de Botucatu- UNESP

MATERIAL E MÉTODO

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 Animais de experimentação

Foram utilizados 88 coelhos machos da raça Norfolk com massa corporal variando entre 2000 g e 3000 g, idade aproximada de 90 dias, provenientes do Biotério Central do campus de Botucatu- Unesp.

Os animais foram mantidos em jaulas metálicas, medindo 49 cm de altura, 50 cm de largura e 52 cm de profundidade, com dois animais em cada jaula, alimentados com ração e água potável.

4.2 Grupos experimentais

Os animais foram divididos em dois grupos experimentais de acordo com a localização do ponto efetuado: Grupo Tendão Fibroso-TF = ponto na região de tecido tendinoso fibroso vascularizado e Grupo Fibrocartilagem-TFC = ponto na região de tecido tendinoso fibrocartilaginoso avascular. Cada grupo foi dividido em três subgrupos de acordo com o tempo de seguimento pós-operatório, sendo de sete, 14 e 21 dias para as avaliações das propriedades mecânicas e histopatológicas

As Tabelas 1 e 2 apresentam a composição dos subgrupos experimentais e o delineamento.

Tabela 1- Grupo Tendão Fibroso (TF): subgrupos, tempo de seguimento pós-operatório, número de animais e atributos estudados

Subgrupo	Seguimento (dias)	Número de animais (n=45)	
		Propriedades mecânicas	Histopatologia
TF ₇	7	12	3
TF ₁₄	14	12	3
TF ₂₁	21	12	3

O número do subgrupo indica o tempo de seguimento em dias.

Tabela 2- Grupo Fibrocartilagem (TFC): subgrupos, tempo de seguimento pós-operatório, número de animais e atributos estudados

Subgrupo	Seguimento (dias)	Número de animais (n=43)	
		Propriedades mecânicas	Histopatologia
TFC ₇	7	12	3
TFC ₁₄	14	11	3
TFC ₂₁	21	11	3

O número do subgrupo indica o tempo de seguimento em dias.

4.3 Atributos estudados

4.3.1 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas estudadas foram: Carga Máxima (N), Tensão na Carga Máxima (MPa), Módulo de Elasticidade (MPa), Energia na Carga Máxima ($N \cdot 10^{-3} m$) e Energia/Área ($N \cdot 10^{-3} m$).

4.3.2 Análise histopatológica

Os aspectos histopatológicos foram estudados por meio de microscopia óptica em secções teciduais incluídas em parafina, cortadas em micrótomo usual na espessura de 4 μ m e submetidas às colorações de Hematoxilina-eosina (HE) e tricrômico de Masson.

4.4 Modelo experimental

Utilizou-se o tendão do músculo flexor profundo dos dedos do pé do coelho. Esse músculo origina-se na face medial da diáfise proximal da tíbia e insere-se nas falanges terminais dos 2º, 3º, 4º e 5º dedos. A ação principal é a flexão dos dedos do pé. O tendão curva-se na região da articulação do tarso, estabelecendo contato com as superfícies do talo e do calcâneo e dirige-se para a face plantar do pé, dividindo-se em quatro tendões terminais. Na região da articulação do tarso, no local em contato com o talo e o calcâneo, o tendão possui abaulamento em forma de nódulo elíptico, no qual se observa a região com epitendão e vasos sangüíneos, denominada neste estudo de tendão fibroso (TF) na região dorsal do tendão e, região esbranquiçada, brilhante sem vasos sangüíneos, denominada neste estudo de tendão fibrocartilagenoso (TFC) na região ventral (Merrillees & Flint, 1980) (Figuras 5 e 6).

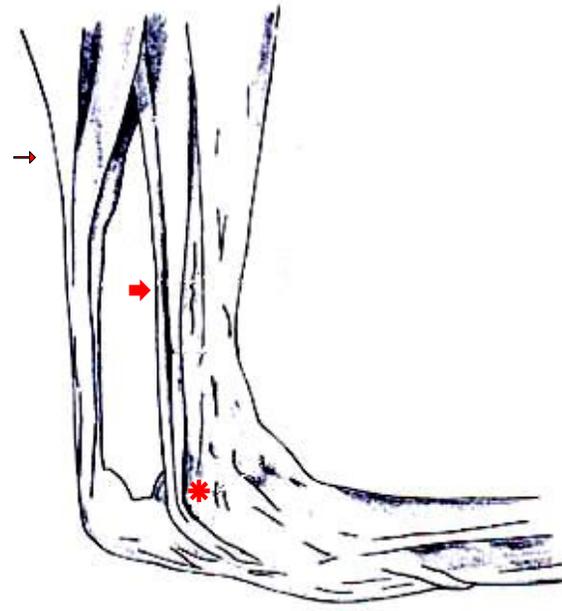


Figura 5- Aspecto medial do tarso do coelho, mostrando o tendão flexor profundo dos dedos do pé (→), região de compressão (*) e tendão calcâneo (→)

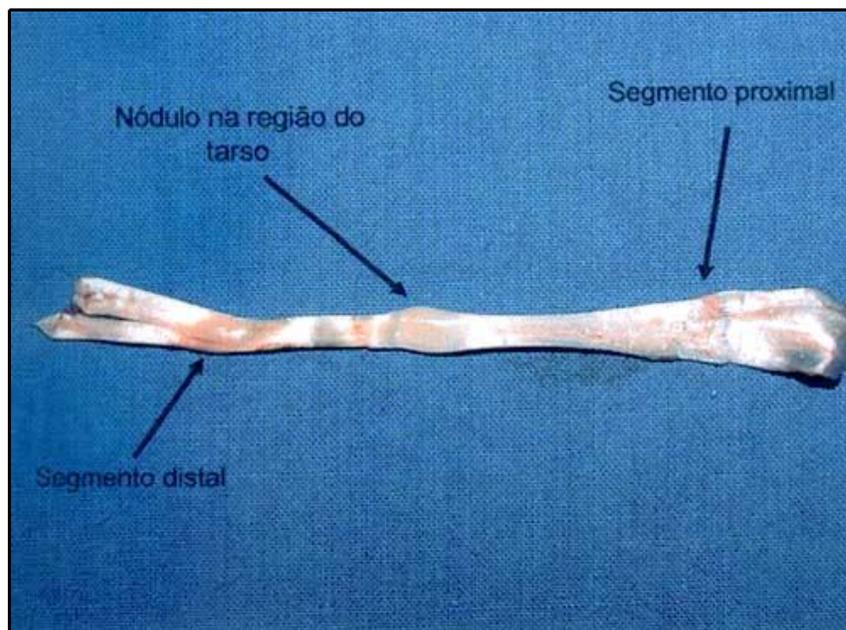


Figura 6- Tendão flexor profundo dos dedos do pé de coelho

4.5 Técnicas utilizadas

4.5.1 Inspeção e pesagem

Os coelhos foram examinados clinicamente e aceitos os que estavam sadios. Foram pesados em balança digital e a dosagem do anestésico calculada de acordo com o peso do animal.

4.5.2 Anestesia e assepsia

Os animais foram anestesiados com solução de Quetamina a 30 mg/Kg e Xilasina a 10 mg/Kg.

O membro pélvico direito de cada animal foi inicialmente lavado com água e sabão e realizado tricotomia da perna, região do tarso e pé. A antisepsia foi feita com álcool iodado a 5% e delimitação com campos estéreis.

Todo o procedimento foi realizado com paramentação e instrumental cirúrgico esterilizados.

4.5.3 Posicionamento do animal

O animal foi posicionado em decúbito dorsal em goteira de Claude Bernard, com membro pélvico direito em abdução e rotação externa.

4.5.4 Técnica cirúrgica

Grupo Tendão Fibroso (TF):

Foi feita a incisão da pele de aproximadamente 3,0 cm na região medial do tarso e identificação do tendão flexor profundo dos dedos do pé. Após a identificação, foi feito um único ponto na região do tendão fibroso (Figura 7), utilizando-se fio monofilamentar de náilon 4.0* no nódulo do tendão flexor profundo dos dedos de acordo com o modelo de Wong et al. (2006). A sutura da pele foi feita com pontos contínuos utilizando-se fio monofilamentar de náilon 4.0.

* Med Suture Nylon® 4.0, agulha triangular 2,0 cm

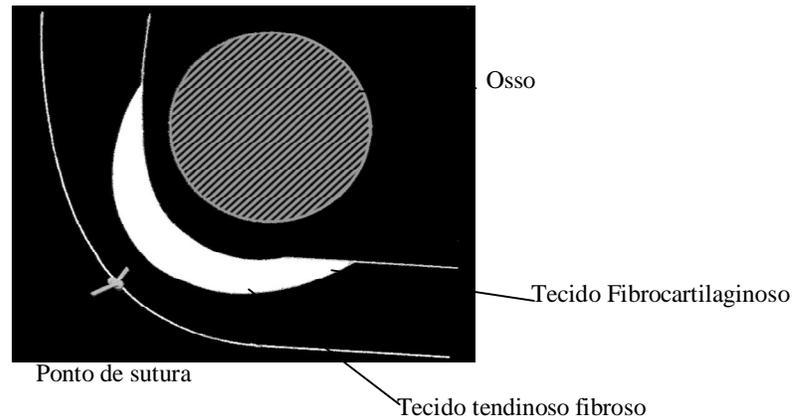


Figura 7- Ilustração representativa do tendão flexor profundo dos dedos do pé do coelho, no tarso, mostrando a região de tecido fibrocartilaginoso (face côncava submetida a forças de compressão) e a região de tecido tendinoso fibroso (face convexa submetida a forças de tensão) e demonstração do ponto de sutura realizado na região vascularizada (Grupo TF); a seta indica o ponto de sutura

Grupo Fibrocartilagem (TFC):

Nesse grupo, o ponto foi feito na região do tendão fibrocartilaginoso (Figura 8) e as demais etapas foram iguais ao grupo Tendão Fibroso.

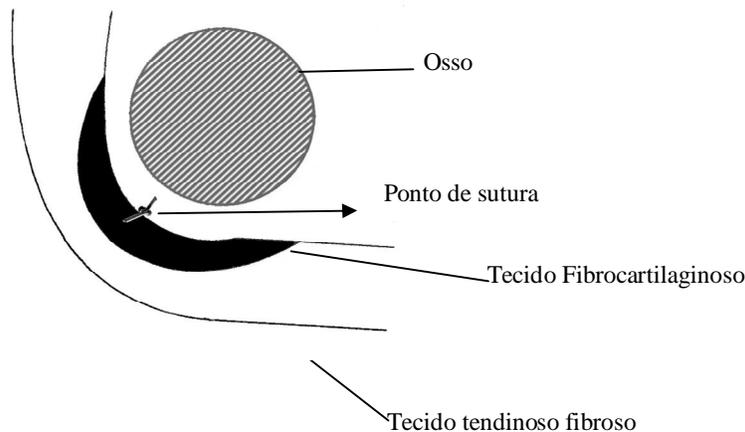


Figura 8- Ilustração representativa do tendão flexor profundo dos dedos do pé do coelho, no tarso, mostrando a região de tecido fibrocartilaginoso (face côncava submetida a forças de compressão) e a região de tecido tendinoso fibroso (face convexa submetida a forças de tensão) e demonstração do ponto de sutura realizado na região avascularizada (Grupo TFC); a seta indica o ponto de sutura

Após o procedimento cirúrgico, os animais não foram imobilizados e permaneceram livres para movimentos e descarga de peso.

O tendão flexor profundo contralateral de cada animal foi utilizado como controle padrão.

4.4.5 Sacrifício

Os animais foram sacrificados com dose letal de Quetamina (70 mg/Kg), via intravenosa.

4.5 Preparação das amostras

4.5.1 Ensaio mecânico

Os membros pélvicos direito e esquerdo de cada animal foram desarticulados no joelho, identificados, acondicionados em sacos plásticos e armazenados em congelador de uso doméstico à - 20°C. No dia do ensaio mecânico, as peças foram descongeladas à temperatura ambiente e, com o instrumental de microcirurgia, foram dissecados e retirados os tendões para a realização do ensaio mecânico.

Os tendões foram mantidos em compressas umedecidas com solução salina a 0,9% durante a dissecação e ensaios mecânicos.

4.5.2 Histopatologia

Os membros pélvicos de cada animal foram dissecados com o instrumental de microcirurgia, obtendo-se os tendões, que foram seccionados transversalmente, permanecendo segmento de aproximadamente quatro centímetros, com o local do ponto de sutura ao centro. Em seguida o material foi fixado em solução de formalina a 10% e posteriormente incluídos em blocos de parafina. Após este procedimento, foram obtidas secções de 4µm no sentido longitudinal e as lâminas foram coradas com hematoxilina-eosina e tricrômico de Masson.

4.6 Técnica do ensaio mecânico

As extremidades dos tendões eram fixadas em garras metálicas sinusoidais, de alumínio, comprimidas entre si por parafusos com distância de 20 mm, com a região de sutura, nos tendões operados, na parte central e com a região do nódulo, nos tendões não operados, também posicionados na região central. As garras foram montadas axialmente na

máquina universal de ensaio mecânico* com célula de carga de 1000 N e velocidade de aplicação de carga de 30 mm/min (Figura 9).

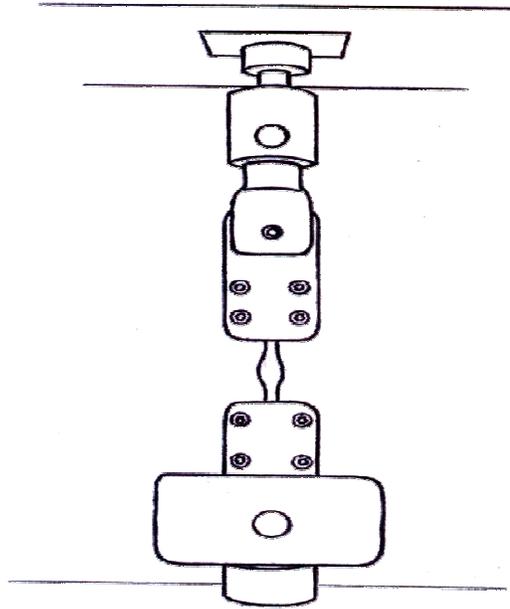


Figura 9- Corpo de Prova fixado nas garras e montado para o ensaio mecânico

A área de secção do tendão foi obtida pela aplicação da fórmula que integrou os valores dos diâmetros maior e menor do formato elíptico da região do nóculo do tendão contralateral não operado utilizado como controle ($A = \pi \times \text{altura} \times \text{largura}/4$), sendo este valor utilizado como referência para o cálculo das propriedades mecânicas materiais do tendão operado e do tendão não operado.

Após o ensaio, o programa da máquina, acoplada ao computador, forneceu os valores de Carga Máxima, Tensão na Carga Máxima, Módulo de Elasticidade, Energia na Carga Máxima e Energia por Área, além do diagrama de carga-deformação.

4.7 Técnica de análise histopatológica

As lâminas coradas com HE e tricrômico de Masson foram analisadas por meio de microscópio óptico, utilizando-se metodologia descritiva qualitativa e sem conhecimento dos grupos e momentos experimentais.

* EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda. Modelo DL 10000 (Curitiba-PR)

4.8 Análise estatística

O estudo estatístico das variáveis das propriedades mecânicas, segundo o local de sutura (grupos TF e TFC), momentos experimentais (sete, 14 e 21 dias) e lado (controle contralateral e operado) foi realizado pela técnica da análise de variância para o modelo de três fatores, complementada com o teste de Tukey no nível de significância de 5% (Zar, 1999).

RESULTADO

5 RESULTADO

5.1 Propriedades mecânicas

As tabelas 3, 5, 7, 9, 11 apresentam as médias e desvio padrão das propriedades mecânicas estudadas em ambos os grupos (TF e TFC), lado operado e controle, nos tempos experimentais acompanhados pelas letras de comparação (análise estatística). As letras minúsculas indicam a comparação do lado, fixado o tempo e a região da sutura; as letras maiúsculas indicam a comparação do local de sutura, fixado o tempo e o lado e as letras gregas indicam a comparação do tempo, fixado o tempo e o local de sutura.

As tabelas 4, 6, 8, 10, 12 apresentam as hipóteses estatísticas testadas e comentários para efeito do local de sutura (TF/TFC), tempos experimentais (sete, 14 e 21 dias) e lado operado e controle.

As Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 ilustram os resultados obtidos para cada propriedade mecânica.

Tabela 3- Medidas descritivas (média e desvio padrão) da Carga Máxima (N), segundo tempo (sete, 14 e 21 dias), local da sutura (Tendão Fibroso –TF e Fibrocartilagem - TFC) e lado (operado e controle)

SUTURA	LADO	TEMPO (dias)		
		7	14	21
TF	Operado	119,6 ± 23,6 aA α	208,6 ± 43,3 aA β	206,6 ± 40,0 aA β
TF	Controle	144,2 ± 29,4 aA α	198,3 ± 30,6 aB β	200,8 ± 47,3 aA β
TFC	Operado	140,2 ± 37,8 aA α	191,1 ± 40,5 bA β	225,8 ± 47,3 bA β
TFC	Controle	134,6 ± 43,3 aA α	154,5 ± 63,7 aA α	192,7 ± 31,7 aA β

Letras iguais: semelhança

Letras diferentes: diferença significativa

Tabela 4 – Hipóteses testadas: efeito do local de sutura, efeito do tempo, efeito do lado e comentários para os valores de carga máxima

Hipótese testada			Comentário
Efeito do lado, fixado o tempo e região	7	TF	Controle \cong Operado
		TFC	Controle \cong Operado
	14	TF	Controle \cong Operado
		TFC	Controle < Operado
	21	TF	Controle \cong Operado
		TFC	Controle < Operado
Efeito da região, fixado o lado e tempo	7	Operado	TF \cong TFC
	14	Operado	TF \cong TFC
	21	Operado	TF \cong TFC
Efeito do tempo, fixado lado e região	TF	Operado	7 < (14 \cong 21)
		Controle	7 < (14 \cong 21)
	TFC	Operado	7 < (14 \cong 21)
		Controle	(7 \cong 14) < 21

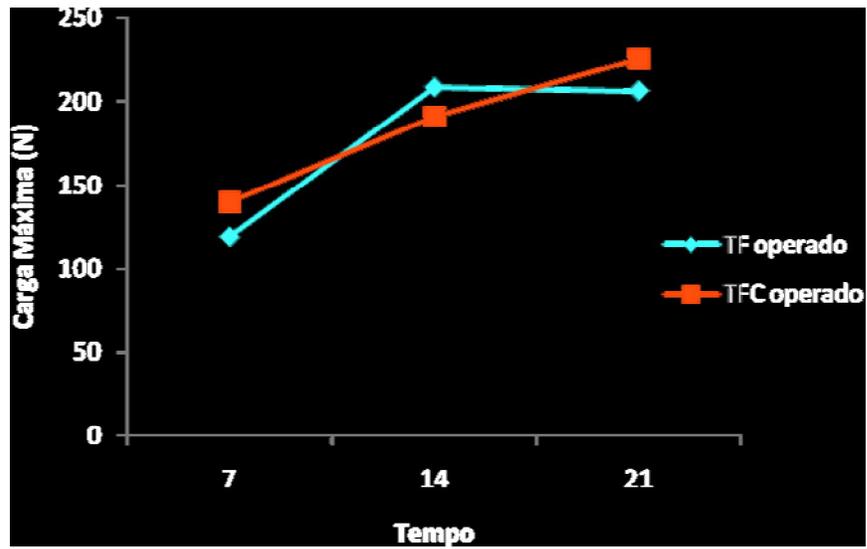


Figura 10- Médias da Carga Máxima (N) dos grupos TF e TFC nos tempos de sete, quatorze e 21 dias

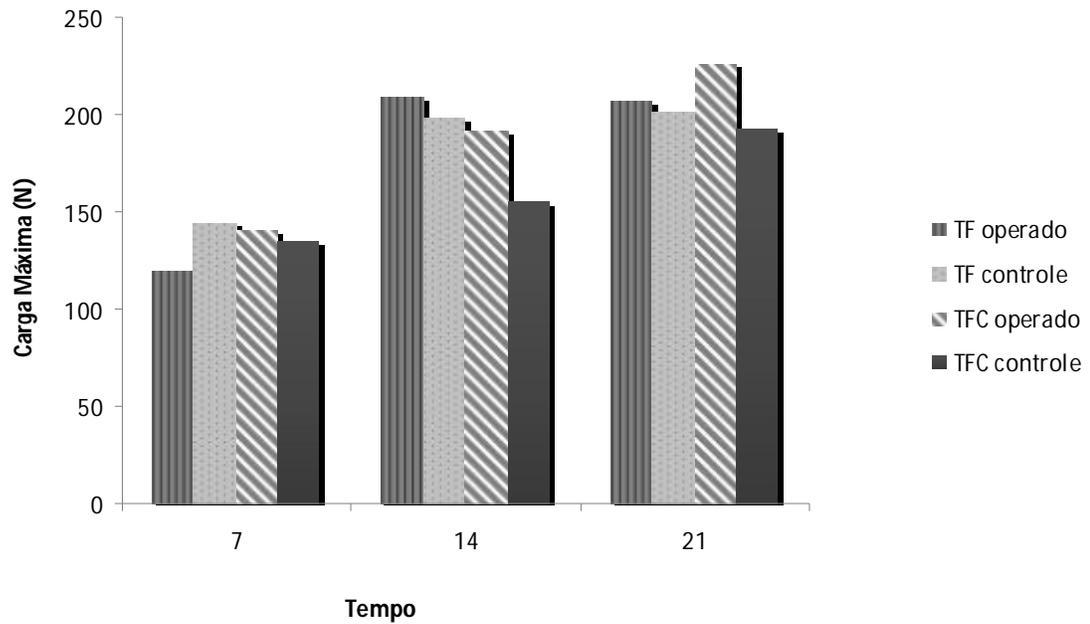


Figura 11- Médias da Carga Máxima (N) do lado operado e controle dos grupos TF e TFC nos tempos de sete, quatorze e 21 dias

Tabela 5- Medidas descritivas (média e desvio padrão) da Tensão na Carga Máxima (MPa), segundo tempo (sete, quatorze e 21 dias), local da sutura (Tendão Fibroso –TF e Fibrocartilagem - TFC) e lado (operado e controle)

SUTURA	LADO	TEMPO (dias)		
		7	14	21
TF	Operado	14,7 ± 2,9 aA α	25,6 ± 5,3 aA β	25,3 ± 4,9 aA β
TF	Controle	17,7 ± 3,6 aA α	24,4 ± 3,8 aA β	24,6 ± 3,5 aA β
TFC	Operado	17,2 ± 4,6 aA α	23,4 ± 5,0 aA β	27,7 ± 5,8 bA β
TFC	Controle	16,5 ± 5,3 aA α	20,7 ± 5,5 aA $\alpha\beta$	23,6 ± 3,9 aA β

Letras iguais: semelhança

Letras diferentes: diferença significativa

Tabela 6 – Hipóteses testadas: efeito do local de sutura, efeito do tempo, efeito do lado e comentários para os valores de Tensão na Carga Máxima

Hipótese testada			Comentário
Efeito do lado, fixado o tempo e região	7	TF	Controle \cong Operado
		TFC	Controle \cong Operado
	14	TF	Controle \cong Operado
		TFC	Controle \cong Operado
	21	TF	Controle \cong Operado
		TFC	Controle < Operado
Efeito da região, fixado o lado e tempo	7	Operado	TF \cong TFC
	14	Operado	TF \cong TFC
	21	Operado	TF \cong TFC
Efeito do tempo, fixado lado e região	TF	Operado	7 < (14 \cong 21)
		Controle	7 < (14 \cong 21)
	TFC	Operado	7 < (14 \cong 21)
		Controle	14 \cong (7 < 21) \cong 14

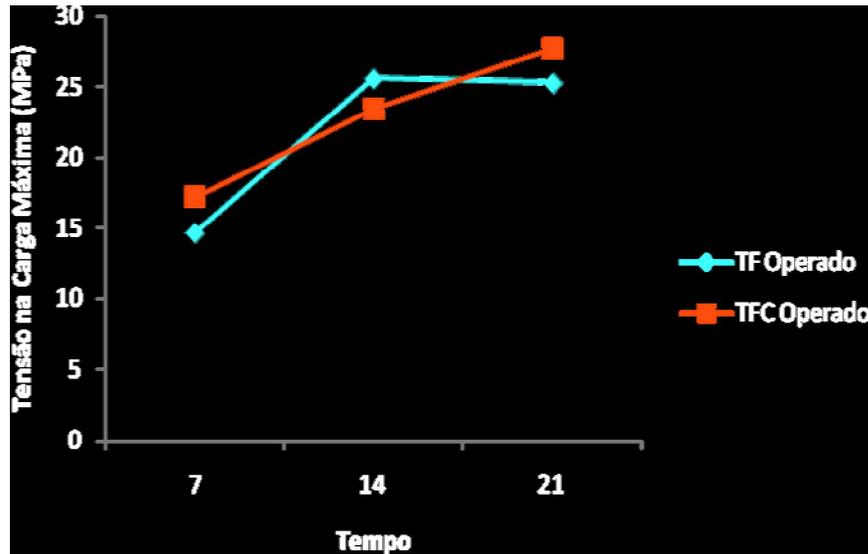


Figura 12- Médias da Tensão na Carga Máxima (MPa) dos grupos TF e TFC nos tempos de sete, 14 e 21 dias

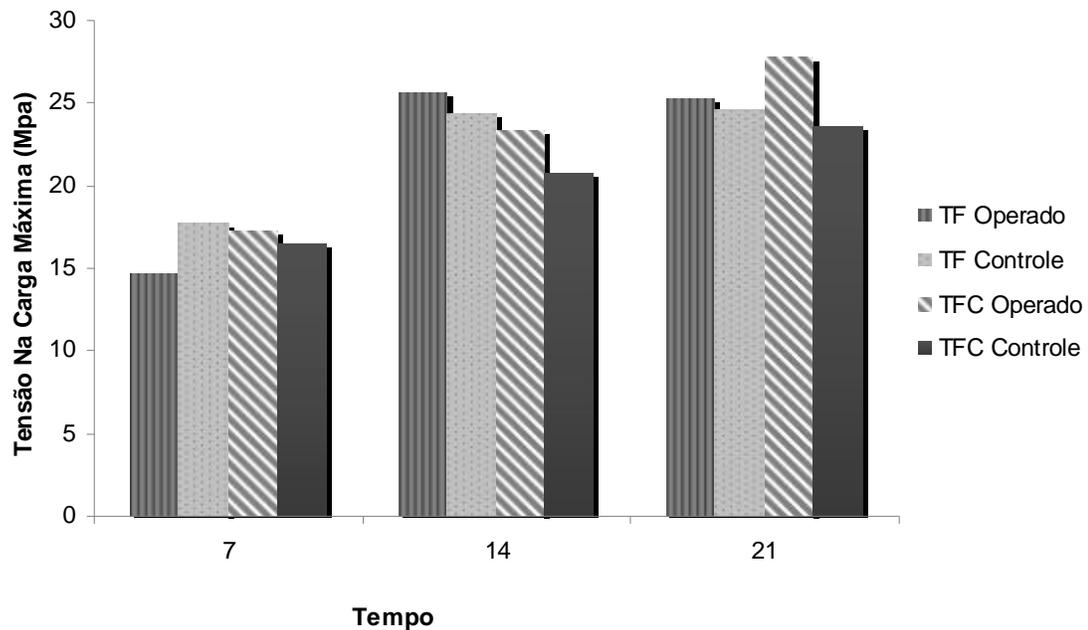


Figura 13- Médias da Tensão na Carga Máxima (N) do lado operado e controle dos grupos TF e TFC nos tempos de sete, 14 e 21 dias

Tabela 7- Medidas descritivas (média e desvio padrão) do Módulo de Elasticidade (MPa), segundo tempo (sete, 14 e 21 dias), local da sutura (Tendão Fibroso–TF e Fibrocartilagem - TFC) e lado (operado e controle)

SUTURA	LADO	TEMPO (dias)		
		7	14	21
TF	Operado	92,8 ± 15,2 aAα	79,8 ± 20,8 aAα	84,6 ± 22,4 aAα
TF	Controle	104,2 ± 25,7 aAα	91,0 ± 17,8 aAα	85,1 ± 14,2 aAα
TFC	Operado	121,0 ± 33,9 aBβ	90,2 ± 25,0 aAα	84,9 ± 23,5 aAα
TFC	Controle	109,1 ± 30,3 aAα	85,5 ± 37,6 aAα	88,4 ± 19,9 aAα

Letras iguais: semelhança
Letras diferentes: diferença significativa

Tabela 8 – Hipóteses testadas: efeito do local de sutura, efeito do tempo, efeito do lado e comentários para os valores do Módulo de Elasticidade

Hipótese testada			Comentário
Efeito do lado, fixado o tempo e região	7	TF	Controle ≅ Operado
	14	TFC	Controle ≅ Operado
		TF	Controle ≅ Operado
		TFC	Controle ≅ Operado
		TF	Controle ≅ Operado
21	TFC	Controle ≅ Operado	
Efeito da região, fixado o lado e tempo	7	Operado	TF < TFC
	14	Operado	TF ≅ TFC
	21	Operado	TF ≅ TFC
Efeito do tempo, fixado lado e região	TF	Operado	7 ≅ 14 ≅ 21
		Controle	7 ≅ 14 ≅ 21
	TFC	Operado	7 > (14 ≅ 21)
		Controle	7 ≅ 14 ≅ 21

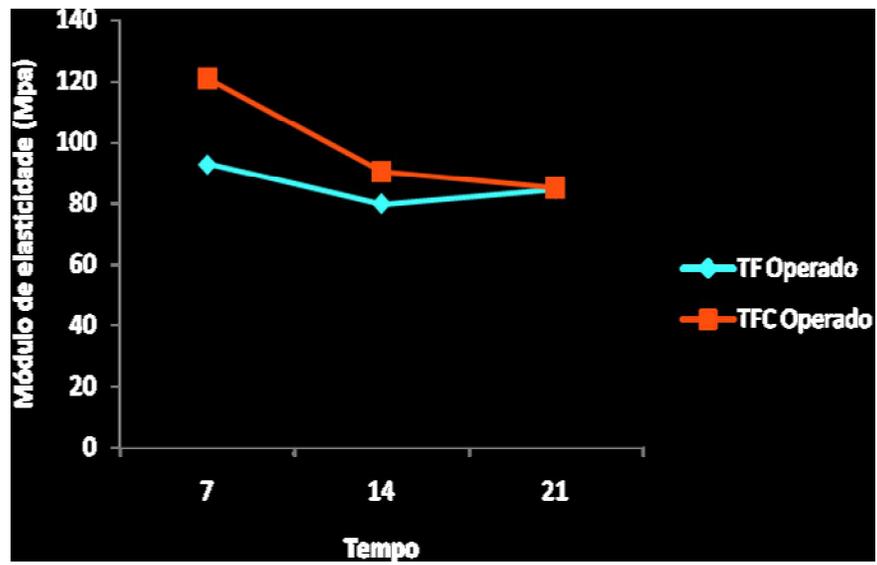


Figura 14- Médias do Módulo de Elasticidade (MPa) dos grupos TF e TFC nos tempos de sete, 14 e 21 dias

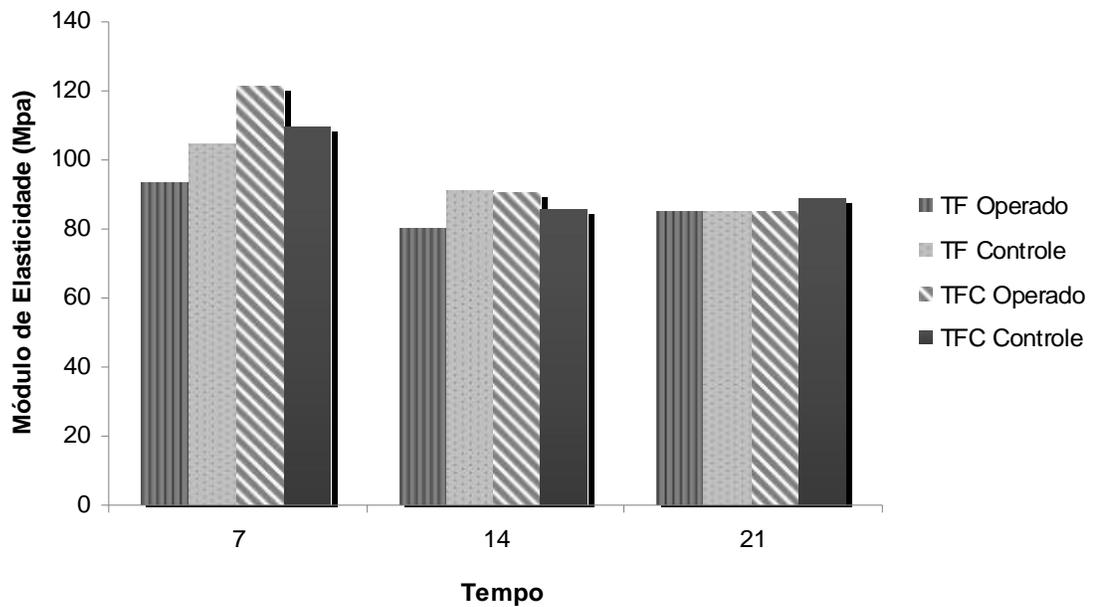


Figura 15- Médias do Módulo de Elasticidade (MPa) do lado operado e controle dos grupos TF e TFC nos tempos de sete, 14 e 21 dias

Tabela 9- Medidas descritivas (média e desvio padrão) da Energia na Carga Máxima ($N \cdot 10^{-3}$ m), segundo tempo (sete, 14 e 21 dias), local da sutura (Tendão Fibroso -TF e Fibrocartilagem - TFC) e lado (operado e controle)

SUTURA	LADO	TEMPO (dias)		
		7	14	21
TF	Operado	212,3 ± 55,3 aA α	466,2 ± 143,2 aA β	444,5 ± 138,0 aA β
TF	Controle	290,2 ± 99,5 aA α	392,8 ± 110,2 aA $\alpha\beta$	440,2 ± 88,4 aA β
TFC	Operado	228,2 ± 97,2 aA α	439,9 ± 160,2 aA β	558,1 ± 161,1 bB γ
TFC	Controle	221,1 ± 110,4 aA α	384,9 ± 132,1 aA β	399,0 ± 90,6 aA β

Letras iguais: semelhança

Letras diferentes: diferença significativa

Tabela 10 – Hipóteses testadas: efeito do local de sutura, efeito do tempo, efeito do lado e comentários para os valores da Energia da Carga Máxima

Hipótese testada			Comentário
Efeito do lado, fixado o tempo e região	7	TF	Controle \cong Operado
		TFC	Controle \cong Operado
	14	TF	Controle \cong Operado
		TFC	Controle \cong Operado
	21	TF	Controle \cong Operado
		TFC	Controle < Operado
Efeito da região, fixado o lado e tempo	7	Operado	TF \cong TFC
	14	Operado	TF \cong TFC
	21	Operado	TF < TFC
Efeito do tempo, fixado lado e região	TF	Operado	7 < (14 \cong 21)
		Controle	14 \cong (7 < 21) \cong 14
	TFC	Operado	7 < 14 < 21)
		Controle	7 < (14 \cong 21)

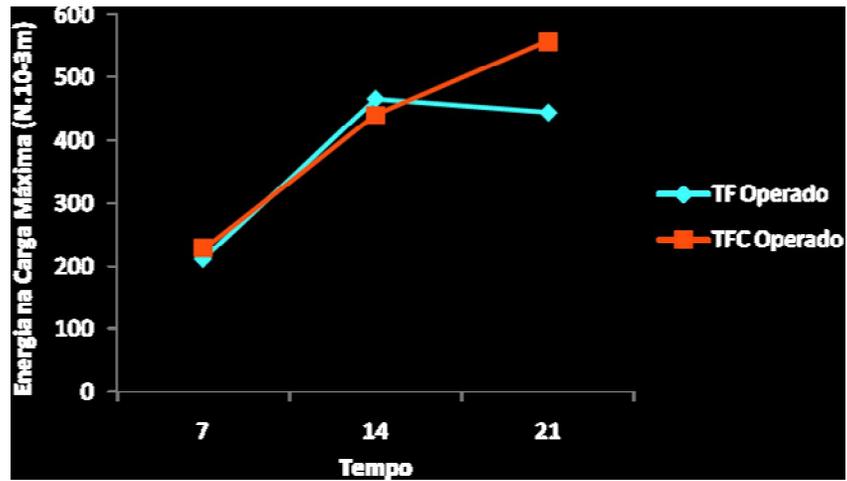


Figura 16- Médias da Energia na Carga Máxima ($N.10^{-3}m$) dos grupos TF e TFC nos tempos de sete, 14 e 21 dias

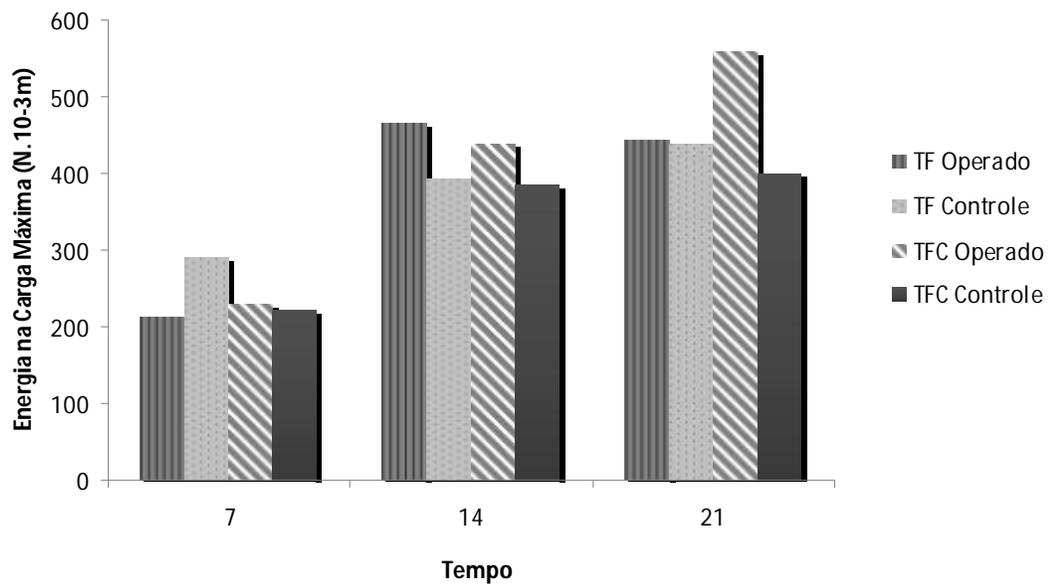


Figura 17- Médias da Energia na Carga Máxima ($N.10^{-3} m$) do lado operado e controle dos grupos TF e TFC nos tempos de sete, 14 e 21 dias

Tabela 11- Medidas descritivas (média e desvio padrão) da Energia/Área (N.mm/mm²), segundo tempo (sete, 14 e 21 dias), local da sutura (Tendão Fibroso – TF e Fibrocartilagem - TFC) e lado (operado e controle)

SUTURA	LADO	TEMPO (dias)		
		7	14	21
TF	Operado	26,0 ± 6,8 aAα	57,1 ± 17,5 aAβ	54,5 ± 16,9 aAβ
TF	Controle	35,6 ± 12,2 aAα	48,1 ± 13,5 aAαβ	53,9 ± 10,8 aAβ
TFC	Operado	28,0 ± 11,9 aAα	53,9 ± 19,7 aAβ	68,4 ± 16,2 bBγ
TFC	Controle	27,1 ± 19,6 aAα	47,2 ± 13,5 aAβ	48,9 ± 11,1 aAβ

Letras iguais: semelhança
Letras diferentes: diferença significativa

Tabela 12 – Hipóteses testadas: efeito do local de sutura, efeito do tempo, efeito do lado e comentários para os valores da Energia /Área

Hipótese testada			Comentário
Efeito do lado, fixado o tempo e região	7	TF	Controle ≅ Operado
		TFC	Controle ≅ Operado
	14	TF	Controle ≅ Operado
		TFC	Controle ≅ Operado
	21	TF	Controle ≅ Operado
		TFC	Controle < Operado
Efeito da região, fixado o lado e tempo	7	Operado	TF ≅ TFC
	14	Operado	TF ≅ TFC
	21	Operado	TF < TFC
Efeito do tempo, fixado lado e região	TF	Operado	7 < (14 ≅ 21)
		Controle	14 ≅ (7 < 21) ≅ 14
	TFC	Operado	7 < 14 < 21)
		Controle	7 < (14 ≅ 21)

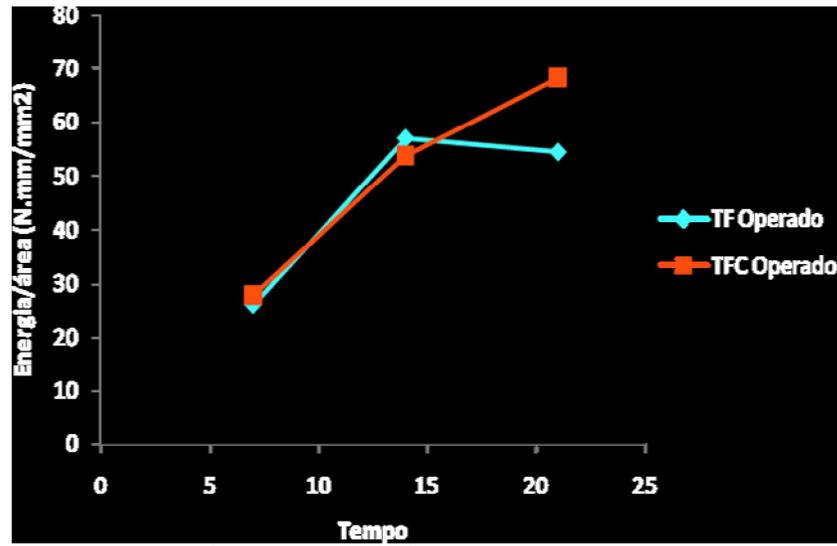


Figura 18- Médias da Energia/Área (N.mm/mm²) dos grupos TF e TFC nos tempos de sete, 14 e 21 dias

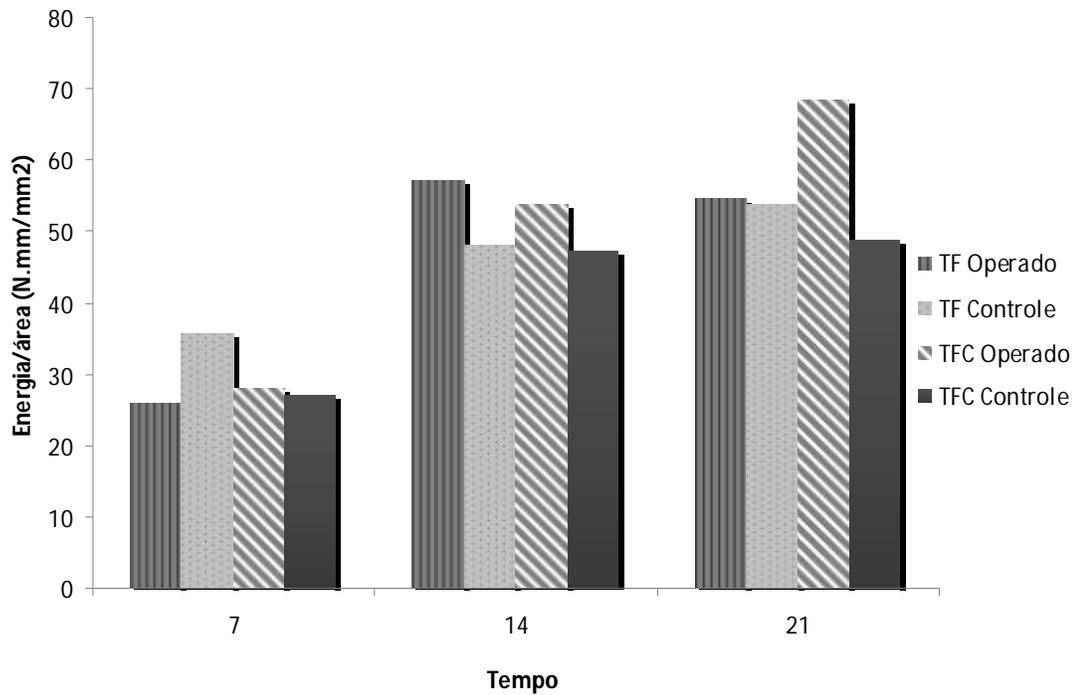


Figura 19- Médias da Energia/Área (N.mm/mm²) do lado operado e controle dos grupos TF e TFC nos tempos de sete, 14 e 21 dias

5.2 Análise histopatológica

A análise realizada demonstrou que a reação tecidual à sutura nos tendões ocorreu de modo semelhante em ambos os grupos experimentais, isto é, no grupo de Tendão Fibroso (TF) e no grupo Fibrocartilagem (TFC), havendo diferenças somente em relação ao tempo pós-operatório de sete, 14 e 21 dias.

As Figuras 20 e 21 demonstram os aspectos histológicos dos tendões normais íntegros não operados. Nota-se a característica das fibras com disposição paralela e colágeno denso na área de tendão fibroso e na área externa de fibrocartilagem, disposição irregular das fibras colágenas.

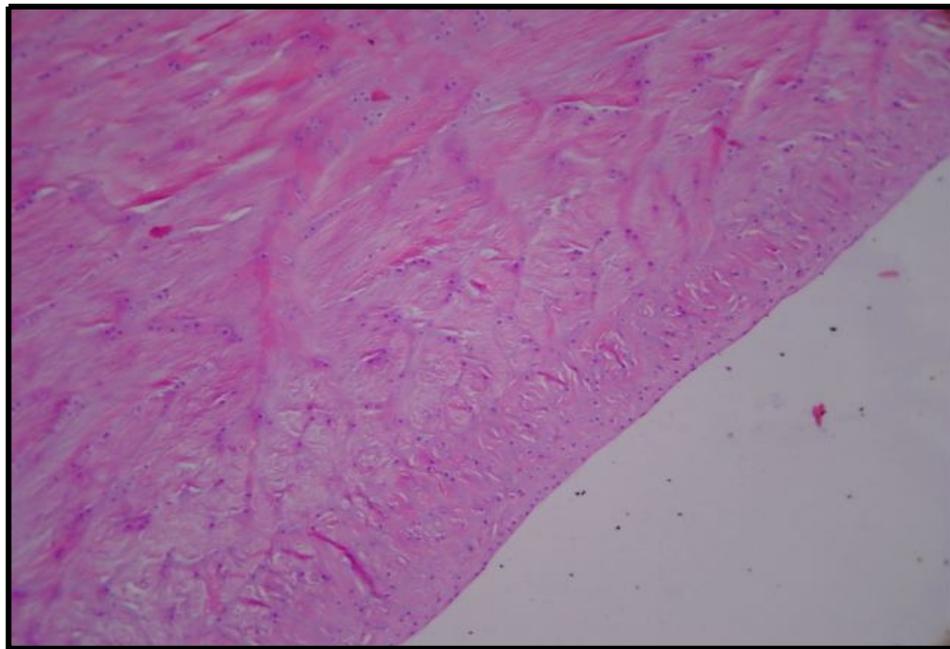


Figura 20- Fotomicrografia do tendão não operado, mostrando fibras colágenas em disposição paralela na região de tendão fibroso e padrão irregular no tecido fibrocartilaginoso (HE- Aumento original 100x)

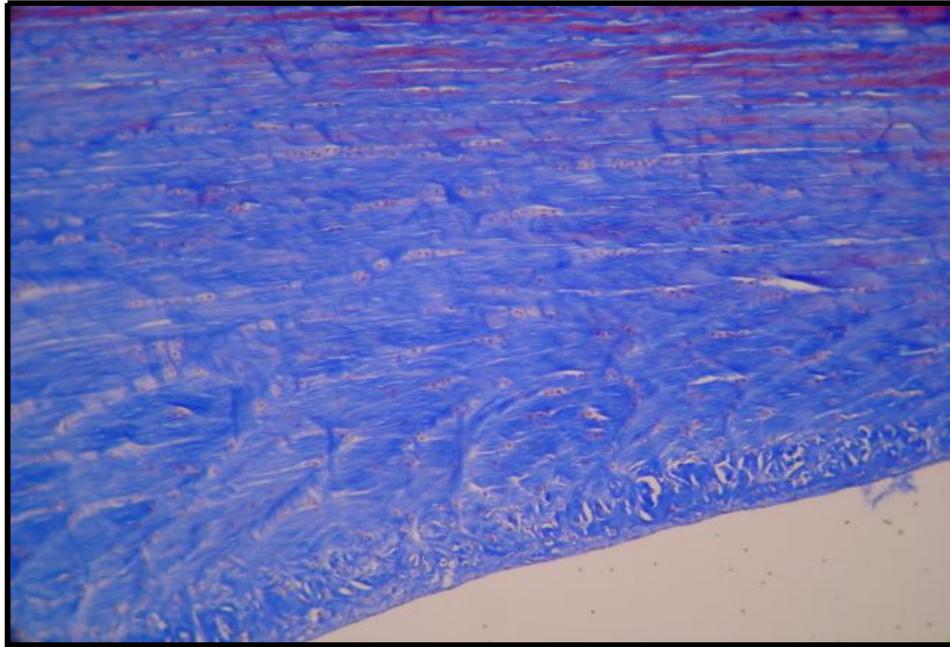


Figura 21- Fotomicrografia do tendão não operado mostrando o mesmo aspecto da Figura 20 (tricroômico de Masson - Aumento original 100x)

5.2.1 Subgrupos Tendão Fibroso (TF) e Fibrocartilagem (TFC) sete dias após o procedimento cirúrgico

Com sete dias após o procedimento de colocação do ponto de sutura, foi observado infiltrado linfocitário no grupo TF, focos irregulares de depósito de fibrina, proliferação fibroblástica e tecido de granulação recente. A região periférica apresenta grande quantidade de fibroblastos e, na região central do tendão são observadas células inflamatórias (em menor quantidade) (Figura 22). Na região de fibrocartilagem destes subgrupos houve reatividade e presença de vasos sanguíneos (Figura 23). Verificou-se também deposição irregular de fibras colágenas ainda imaturas coradas discretamente pelo tricroômico de Masson, e grande quantidade de vasos sanguíneos também na região periférica, demonstrado na Figura 24.

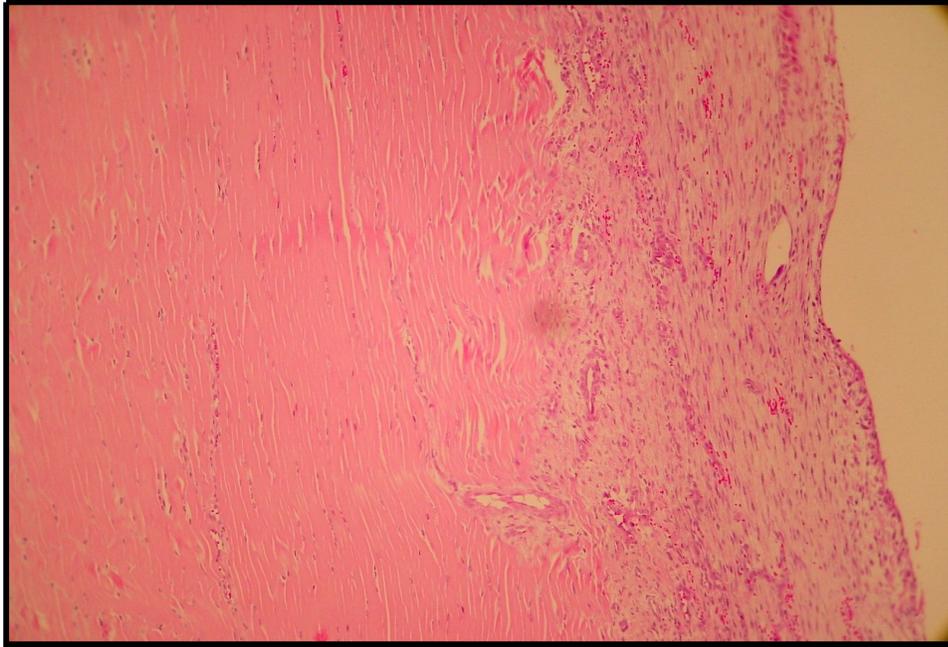


Figura 22- Fotomicrografia do grupo TF₇. Intensa proliferação celular periférica e deposição de fibrina (HE- Aumento original 100x)

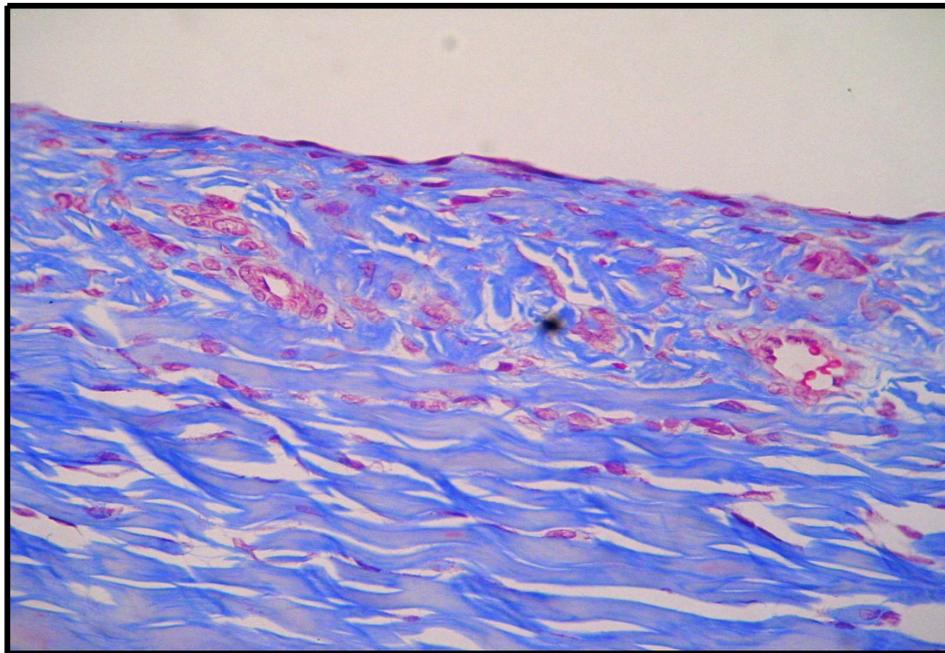


Figura 23- Fotomicrografia da região fibrocartilaginosa do grupo TF₇, mostrando reatividade com proliferação celular (tricroômico de Masson – Aumento original 100x)

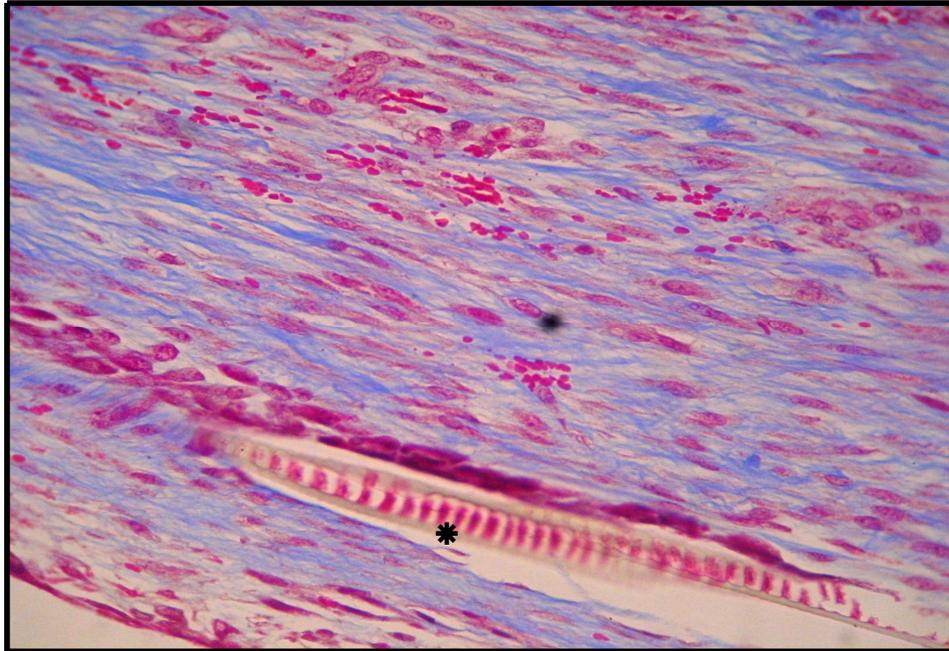


Figura 24- Fotomicrografia do grupo TF₇ mostrando discreto depósito de colágeno imaturo, vasos sanguíneos e fio de sutura (*) (tricrômico de Masson – Aumento original 200x)

Nos animais do grupo TFC deste tempo de seguimento foi também observado proliferação celular (Figura 25) e reatividade na superfície externa da região vascularizada de tendão fibroso com depósito de fibrina e proliferação fibroblástica (Figura 26).

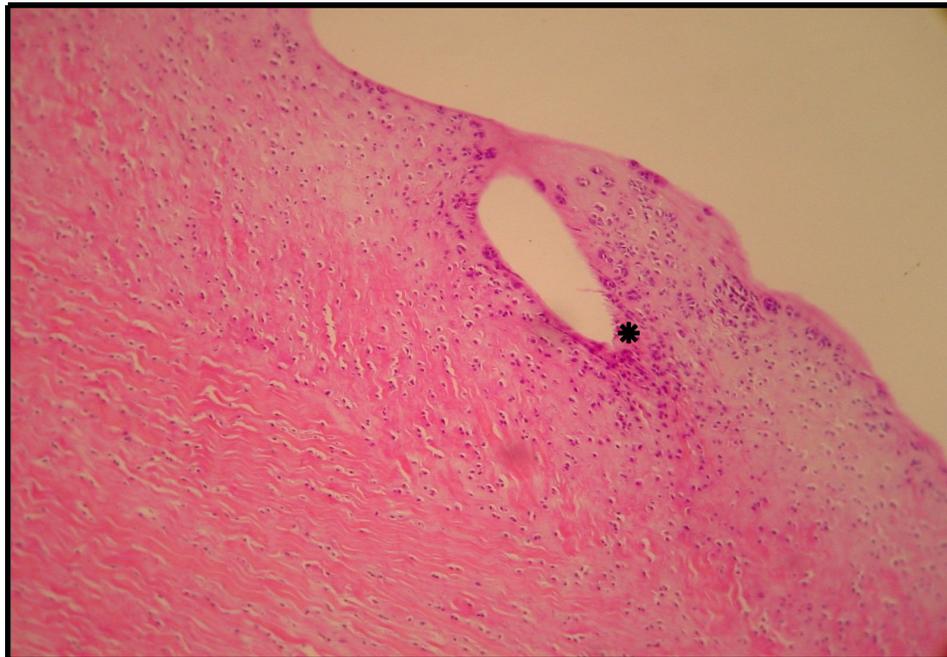


Figura 25- Fotomicrografia do grupo TFC₇ mostrando intensa proliferação celular, principalmente ao redor do local do ponto de sutura (*) (HE – Aumento original 100X)

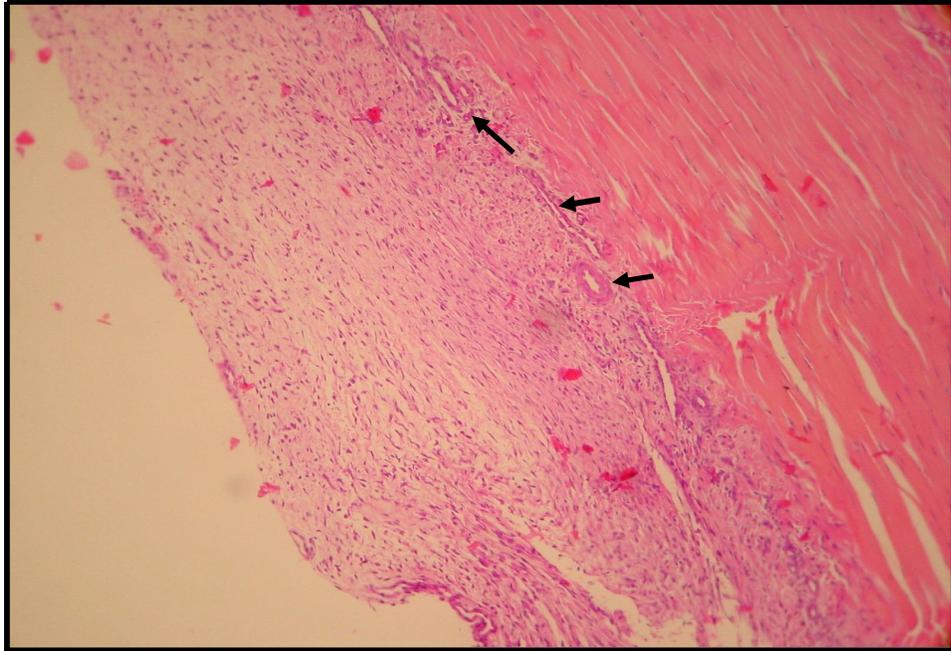


Figura 26- Fotomicrografia da região de tendão fibroso vascularizado do grupo de TFC₇ mostrando grande quantidade de proliferação celular e vasos sanguíneos (→). (HE- Aumento original-100x)

5.2.2 Subgrupos Tendão Fibroso (TF) e Fibrocartilagem (TFC) 14 dias após o procedimento cirúrgico

Nos animais destes subgrupos, os tendões apresentaram tecido de granulação abundante na superfície (Figura 26). No grupo de TFC foi observada a presença de vasos sanguíneos próximos à superfície fibrocartilaginosa avascularizada (Figura 27). A deposição de fibras colágenas foi mais intensa do que no grupo de sete dias, porém estas ainda apresentavam-se imaturas (Figura 28).

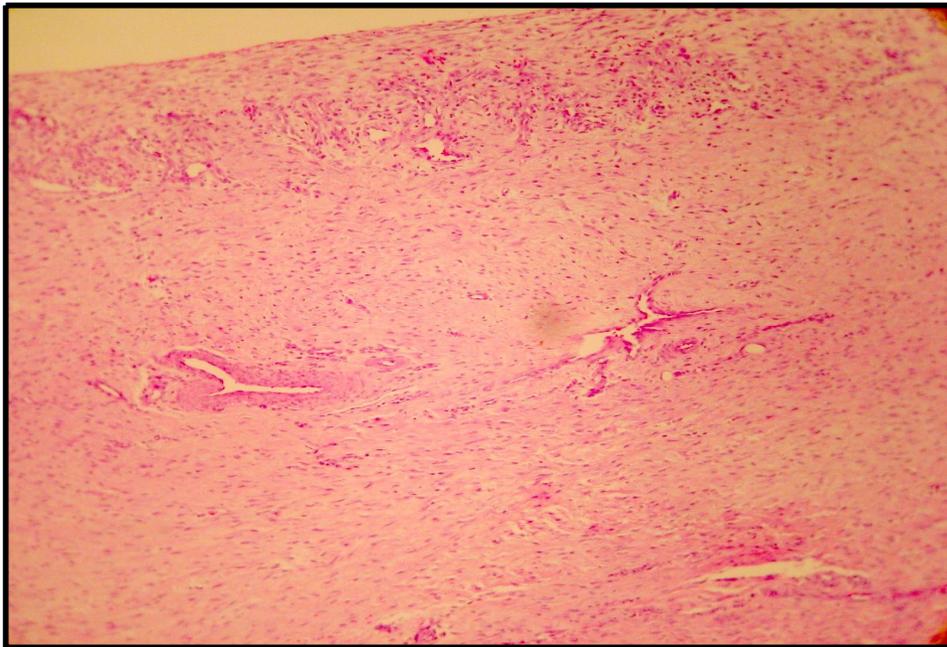


Figura 26- Fotomicrografia da região superficial do grupo TF₁₄ mostrando proliferação celular e vasos sanguíneos (HE – Aumento original -100x)

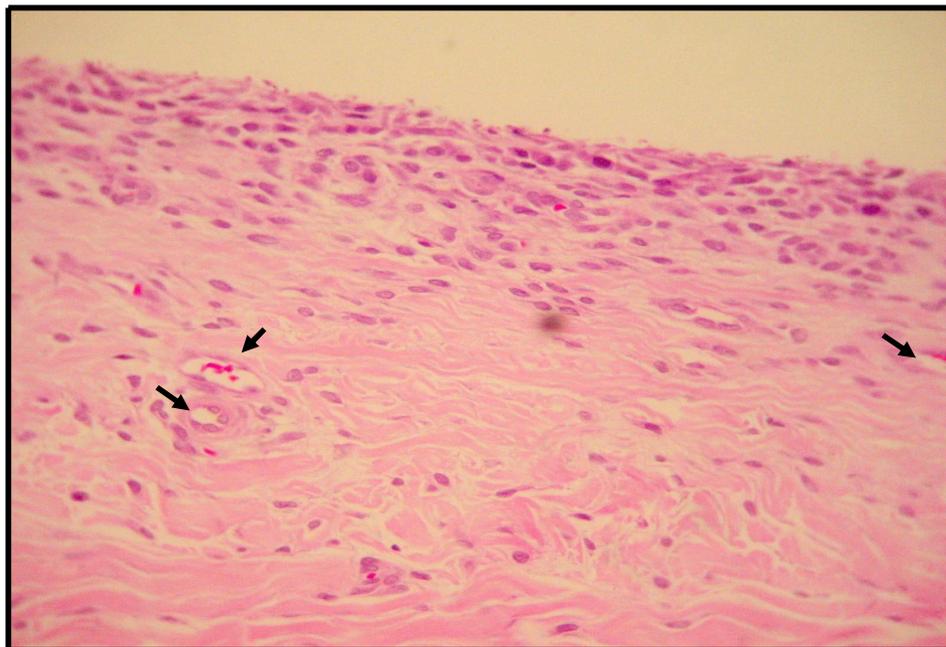


Figura 27- Fotomicrografia da região de fibrocartilagem do grupo TFC₁₄ mostrando proliferação celular e vasos sanguíneos (→) (HE – Aumento original – 200x)

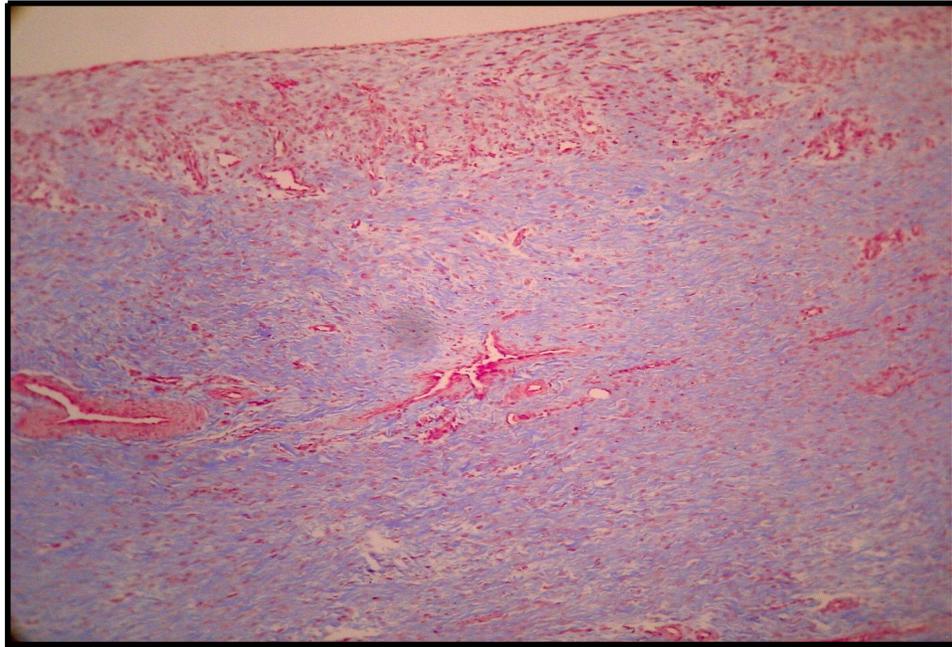


Figura 28- Fotomicrografia da região de tendão fibroso do grupo TF₁₄ com deposição de colágeno imaturo e grande quantidade de vasos sanguíneos (tricroômico de Masson – Aumento original -100x)

5.2.3 Subgrupos Tendão Fibroso (TF) e Fibrocartilagem (TFC) 21 dias após o procedimento cirúrgico

Após 21 dias, foi observada maior deposição de colágeno, pela coloração do tricroômico de Masson (Figura 29), proliferação celular também na região central do tendão e ausência de depósito de fibrina (Figura 30). O lado oposto à colocação do ponto de sutura em ambos os grupos apresentou reatividade discreta (Figura 31).

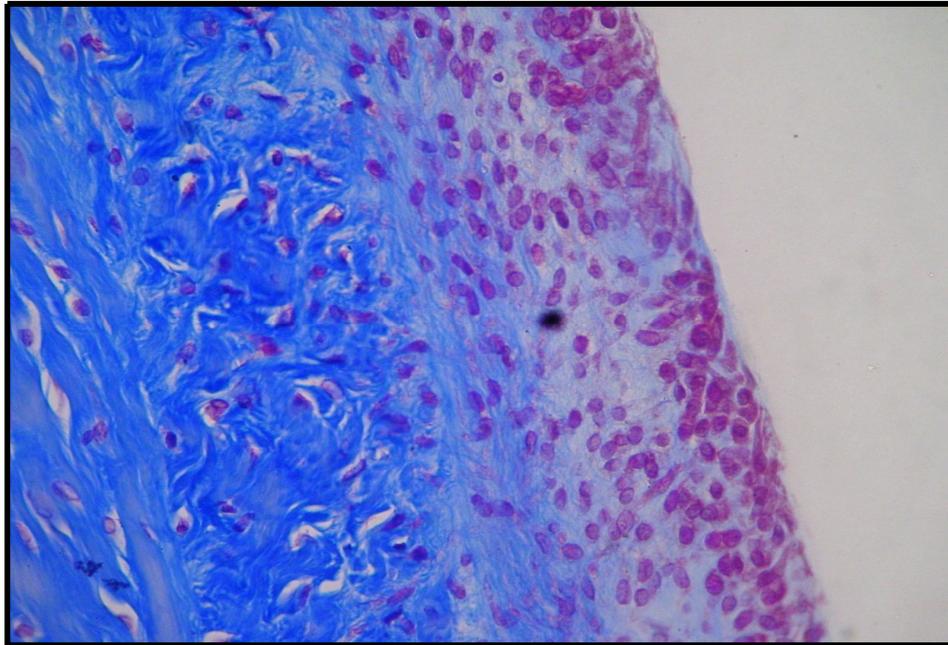


Figura 29- Fotomicrografia da região fibrocartilaginosa do grupo TFC₂₁ mostrando grande quantidade de células, porém com tecido de granulação com maior deposição de colágeno (tricroômico de Masson – Aumento original - 200x)

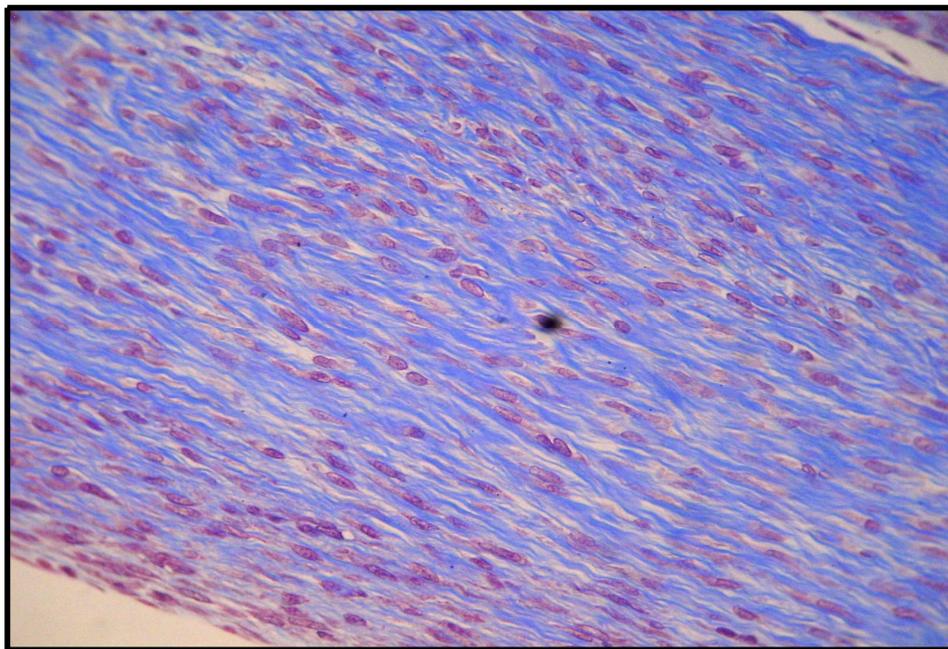


Figura 30- Fotomicrografia da região vascularizada do grupo TF₂₁ com deposição de colágeno intensa (tricroômico de Masson – Aumento original - 200x)

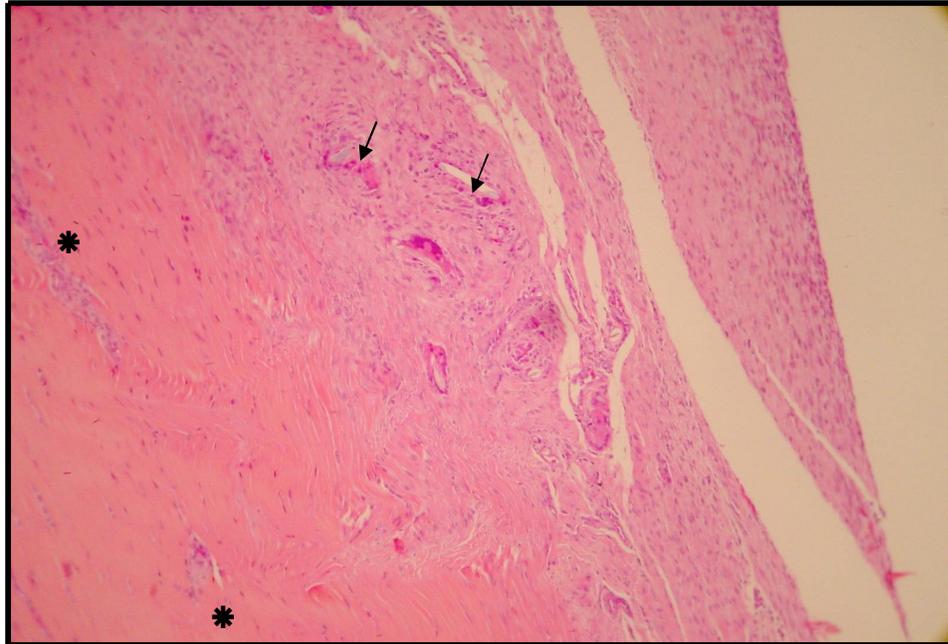


Figura 31- Fotomicrografia da região vascularizada do grupo TF₂₁ mostrando ainda proliferação celular na região externa e no centro do tendão (*) e ponto de sutura (→) (HE – Aumento original - 100x)

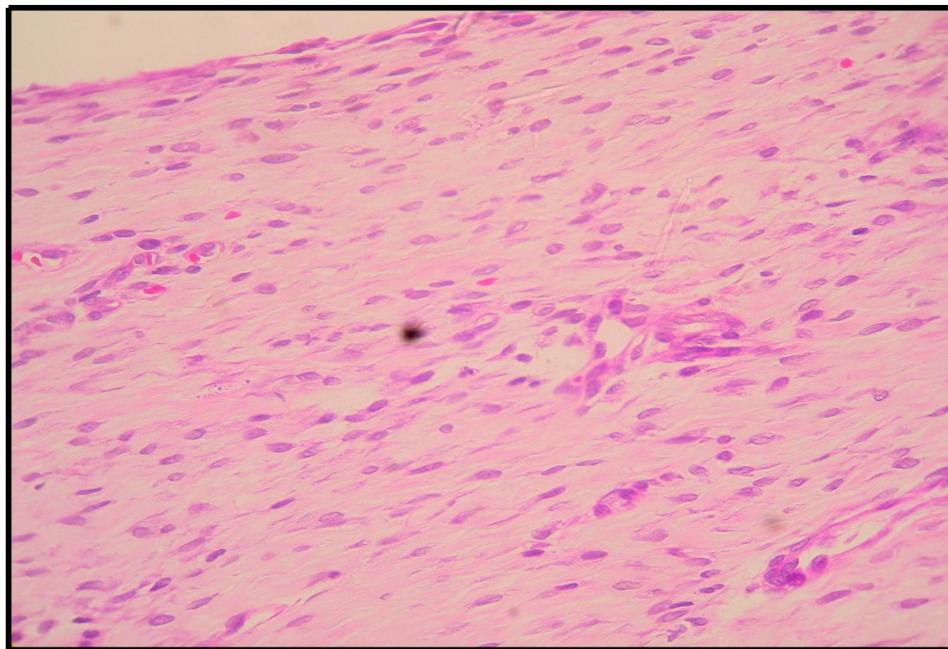


Figura 32- Fotomicrografia da região vascularizada de tendão fibroso do grupo TFC₂₁, mostrando vasos sanguíneos e células inflamatórias em menor quantidade em relação aos subgrupos de sete e 14 dias (HE- Aumento original – 200x)

DISCUSSÃO

6 DISCUSSÃO

6.1 Animal de experimentação

O coelho, animal escolhido neste estudo, é muito utilizado na prática experimental sendo criado em biotério para fins exclusivos de experimentação. Aspectos relacionados à facilidade de obtenção, manejo e boa disponibilidade como relatado por Lin et al. (2004) justificaram a escolha deste animal de experimentação no presente estudo.

Nos estudos dirigidos exclusivamente para as avaliações imediatas dos aspectos biomecânicos e histológicos da sutura a preferência tem sido pelo uso dos tendões flexores dos dedos da mão de cadáveres humanos (Ochiai et al., 1979; Soejima et al., 1995; Komanduri et al., 1996; Stein et al., 1998a; Harrison et al., 2003a; Hausmann et al., 2009).

No entanto, as exigências da sociedade moderna para os padrões apropriados de ética restringem rigorosamente a utilização de modelos humanos para a realização de alguns tipos de pesquisas, como as relacionadas à cicatrização tendinosa que necessitam de observações após determinado período de tempo. Como consequência diversas espécies de animais de experimentação são utilizadas. As vantagens, neste caso é o baixo custo, menores problemas éticos, pequena variação e boa disponibilidade da quantidade a ser estudada (Lin et al. 2004; Salate, 2004; Hausmann et al., 2009).

As espécies de animais utilizadas em estudos relacionados ao processo de cicatrização de tendões são, principalmente, cães (Peacock, 1959; Potenza, 1962; Gelberman et al., 1980; Gelberman et al., 1981; Gelberman et al., 1983; Manske et al., 1984; Nessler et al., 1992; Aoki et al., 1997; Dinopoulos et al. 2000; Boyer, 2003; Zhao et al., 2007), coelhos (Lundborg & Rank, 1978; Akali et al., 1999; Sardenberg, 2006; Wong et al. 2006), ratos (Oshiro et al. 2003; Salate, 2004; Wong et al. 2006) e galinhas (Manske & Lesker, 1984; Hatano et al. 2000; McDowell et al., 2002).

O tendão do músculo flexor profundo dos dedos do pé do coelho, utilizado neste estudo, possui nódulo na região do tarso, que pode ser localizado macroscopicamente, permitindo identificar as zonas de tendão fibroso que possui vascularização, e a zona de tendão fibrocartilaginosa, que é avascular, tornando possível a colocação do ponto de sutura em uma dessas regiões específicas no tendão.

O tendão flexor profundo dos dedos do pé de coelho é um tecido conjuntivo submetido à tensão contínua e simultânea de forças de compressão e tensão durante a função normal. Este tendão, assim como os outros tendões, é submetido às forças de tensão quando alonga, mas diferente dos demais, é submetido às forças de compressão na área em contato

com a estrutura óssea. Nesta região, a metade anterior do tendão possui células e organização de matriz semelhante à fibrocartilagem. Na região periférica destes tendões há uma transição de áreas com morfologia celular e extracelular de zonas de transmissão de tensão ou forças de compressão e estas mudanças são acompanhadas de modificações no tipo e quantidade de glicosaminoglicanas. Na área de tensão, há pouca quantidade sendo predominante o sulfato de dermatan, enquanto que na área de compressão, há aumento considerável nos glicosaminoglicanos, especialmente o sulfato de condroitina. O arranjo morfológico e a composição bioquímica da região do nódulo apresentam semelhanças com a região do tendão flexor profundo dos dedos da mão de humanos no nível da articulação interfalângica proximal (Lundborg & Myrhaage, 1977; Lundborg et al., 1977; Gillard et al., 1979; Merrillees & Flint, 1980; Mills & Daniel, 1993; Malaviya et al., 2000; Sardenberg 2006).

Merrillees & Flint (1980) relatam que esse tendão, com a variação regional nos componentes da matriz é muito adequado para o estudo detalhado das alterações morfológicas e posterior correlação com as variáveis mecânicas.

6.2 Procedimentos e momentos experimentais

As pesquisas relacionadas aos tendões flexores normalmente preocupam-se com a resistência do procedimento cirúrgico, o efeito das diferentes técnicas de sutura nas propriedades mecânicas e as diferentes formas de tratamento pós-operatório para proporcionar a recuperação tecidual requerida. No entanto, mínima atenção tem sido dada às alterações biológicas e mecânicas do tecido tendinoso que não estejam diretamente relacionadas ao processo natural de cicatrização após a ruptura e reparo do tendão.

No presente estudo foi feito um único e simples ponto de sutura no tendão flexor profundo íntegro dos dedos do pé de coelho, sendo os resultados relacionados com a resposta do tecido ao procedimento cirúrgico de colocação deste ponto e a reação ao material. Wong et al. (2006) relatam que um simples ponto de sutura é apropriado para os experimentos em coelhos e ratos devido ao tamanho destes animais.

McDowell et al. (2002) realizaram experimento para verificar as modificações na interface sutura-tendão com a técnica Kessler e Savage e encontraram alterações mecânicas e biológicas entre os grupos submetidos à cirurgia e os grupos controle, porém não houve alteração entre as técnicas de sutura utilizadas.

Uma boa combinação de variáveis para o reparo tendíneo é baseada tanto na força como na elasticidade considerando tanto a técnica como o material de sutura. O náilon, utilizado neste estudo, é empregado na maioria dos casos das suturas em tendões flexores.

Outros materiais possuem baixa reação inflamatória no tecido e menor elasticidade, mas ainda assim o monofilamento de náilon é amplamente usado (Singer et al., 1998; Hausmann et al. 2009).

Os momentos de experimentação delineados foram de sete, 14 e 21 dias de pós-operatório. A necessidade de se estabelecerem vários momentos experimentais no estudo está relacionada às fases de cicatrização, denominadas de inflamatória, que se inicia imediatamente após a lesão, proliferativa ou fibroblástica, iniciando aproximadamente no quinto dia após a lesão e remodelação, que se inicia na seqüência desta, podendo durar meses, com objetivo de maturação e alinhamento do colágeno (Beredjiklian, 2003; James et al., 2008).

A maioria das pesquisas experimentais relacionadas à cicatrização de tendões apresenta correspondência com as três fases descritas ou com uma delas. Potenza (1962) realizou estudo com tempos variando de um a 128 dias; Lundborg & Rank (1978), três dias, uma, três e seis semanas; Gelberman et al. (1980) e Gelberman et al. (1981), três a 12 semanas; Gelberman et al. (1983) dez dias, três e seis semanas; Nessler et al. (1992) três e seis semanas; Aoki et al. (1997) cinco, dez e 21 dias; Kusano et al. (1999) uma e três semanas; McDowell et al. (2002) um a 28 dias; Oshiro et al. (2003) três, sete 14, 21, 28 dias, sete e doze semanas; Salate (2004) três dias, uma e duas semanas; Sardenberg (2006) duas, três e seis semanas; Wong et al. (2006) 24, 48 e 72 horas; Zhao et al. (2007) um, três, cinco e sete dias e três e seis semanas.

Na presente investigação, os tempos de sete, 14 e 21 dias são representativos das fases de cicatrização, particularmente a proliferativa e de remodelação, relacionadas à síntese, maturação e alinhamento do colágeno.

6.3 Método do ensaio mecânico

O ensaio de tração geralmente é realizado em máquina universal, como foi feito neste estudo. Estes equipamentos foram desenvolvidos para ensaios de tração ou compressão (Hamill & Knutzen, 2008). Acoplado à máquina há um computador com programa que fornece os dados e os gráficos dos resultados a partir de parâmetros e unidades previamente escolhidas.

Rossi et al. (2007) consideram que a utilização da máquina de ensaios mecânicos para análise de resistência à tração em cirurgia experimental é apropriada uma vez que fornece resultados precisos e rápidos. No entanto, a utilização de equipamentos para testar materiais isotrópicos, em testes de tendões, material viscoelástico, inclui a aceitação de

algumas limitações do método. Não é conhecida a existência de máquina de ensaio mecânico desenvolvida exclusivamente para os testes de materiais biológicos viscoelásticos. Desta forma, são normalmente utilizados os equipamentos de engenharia para estudo do comportamento mecânico em tendões e ligamentos.

O método de estudo do comportamento mecânico dos tendões baseia-se na deformação à tração, aplicada axialmente, com velocidade constante até a ruptura, obtendo-se a curva carga-deformação característica do corpo de prova testado (Nordin et al., 2003).

As características da curva carga-deformação e as propriedades mecânicas são relacionadas à velocidade de aplicação de carga. Portanto, a comparação dos resultados das propriedades mecânicas dos tendões deve ser considerada para determinada velocidade. Na literatura, há várias velocidades utilizadas em ensaios com tendões reparados, sendo as faixas entre 20 mm/min e 50 mm/min as mais citadas. Assim, a velocidade utilizada neste estudo foi de 30 mm/min, podendo ser considerada média em relação às mais frequentes em ensaios de tendões. Soejima et al. (1995), Vinikainen et al. (2004) e Lawrence & Davis (2005) utilizaram 20 mm/min; Aoki et al. (1997), Cao et al. (2002) e McDowell et al. (2002) utilizaram 25 mm/min; Müller et al. (2004) e Sardenberg (2006) utilizaram 30 mm/min; Stein et al. (1998a) e Choueka et al. (2000) utilizaram 40 mm/min.

As propriedades mecânicas analisadas neste estudo foram:

- Carga Máxima: maior carga suportada pelo corpo de prova tracionado até a ruptura;
- Tensão na Carga Máxima: carga máxima / área de secção;
- Módulo de Elasticidade: alongamento específico em um ponto qualquer da fase elástica do diagrama tensão-alongamento específico;
- Energia na Carga Máxima: energia consumida até a ruptura;
- Energia por área: energia consumida até a ruptura/área.

As unidades padronizadas estão de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI) sendo a força Newton (N), área ($10^{-3}m^2$), energia ($N/10^{-3}m$), módulo de elasticidade Mega Pascal (MPa), e tensão Mega Pascal (MPa) (Cozaiciuc et al. 2000).

A área de secção, essencial para o cálculo de Tensão na Carga Máxima, Módulo de Elasticidade e Energia por Área, foi obtida por meio de mensurações da região do nódulo do tendão contralateral controle aplicando-se a fórmula da área da elipse ($A = \pi \times \text{altura} \times \text{largura} / 4$) (Nessler et al., 1992; Boyer et al., 2001 b). Seria ideal a utilização da área de secção do próprio corpo de prova a ser testado mecanicamente, porém a colocação dos pontos de sutura e o processo de cicatrização induzem a formação de irregularidades morfológicas no

local de mensuração. Além disso, a dissecação anatômica para retirada do tendão também pode interferir na forma e volume do local da cicatriz. O aspecto irregular do local a ser mensurado pode, portanto, trazer dificuldades técnicas para obtenção da área de secção, exigindo equipamentos complexos e não disponíveis. Outro fator a ser considerado é que, no ensaio de tração, a própria deformação progressiva do tendão causa diminuição da área de secção, sendo necessário utilizar, para o cálculo de tensão, a área de secção inicial.

O tipo de sistema utilizado para fixar o tendão, durante o ensaio de tração, também pode influenciar os resultados. A variedade das características dos tendões testados em diversos experimentos relativos às dimensões, à presença de outros arranjos associados, como junção músculo-tendínea e osteo-tendínea, implica no desenvolvimento de garras apropriadas para situações específicas. Na literatura, há referências ao uso de vários tipos de garras. No presente estudo foram utilizadas garras moldadas em alumínio, compostas por dois blocos com desenho sinusoidal e superfície lisa que, quando pressionadas, não se encaixam totalmente. A fixação entre as faces foi realizada com parafusos travados com porcas a fim de não permitir o escape até a carga muito superior à suportada pela cicatriz.

6.4 Método do estudo histopatológico

O estudo histopatológico foi realizado por meio de microscopia óptica de secções de tecidos coradas com hematoxilina-eosina (HE) e tricrômico de Masson e análise descritiva das imagens.

A microscopia óptica é amplamente utilizada em estudos experimentais sobre cicatrização tendinosa (Potenza, 1962; Lundborg & Rank, 1978; Manske & Lesker, 1984; Khan et al. 2000; McDowell et al. 2002; Oshiro et al. 2003; Salate, 2004; Sardenberg, 2006).

A análise das lâminas foi inicialmente realizada com a coloração de HE, técnica padrão para estudos histológicos. Posteriormente, foi utilizado o tricrômico de Masson que apresenta especificidade para tecido conjuntivo.

Os achados histopatológicos na presente investigação foram descritos qualitativamente objetivando caracterizar as semelhanças e diferenças dos aspectos morfológicos observados nos grupos experimentais de acordo com os tempos de observação de sete, 14 e 21 dias de pós-operatório.

Assim como no presente estudo, vários autores realizaram análises histopatológicas descritivas em experimentos com tendões flexores. Merrilees & Flint (1980) verificaram as características do tendão flexor profundo dos dedos do pé de coelhos com HE e tricrômico de Masson; Nessler et al. (1992) utilizaram a coloração com tricrômico de Masson

e HE para análise dos tendões flexores de cães; McDowell et al. (2002) e Oshiro et al. (2003) realizaram coloração com HE e analisaram o tecido em microscopia ótica; Sardenberg (2006) analisou os tendões flexores de coelhos com HE, tricrômico de Masson e picrossírius red.

6.5 Estudo das propriedades mecânicas

Os ensaios mecânicos foram realizados com tendões isolados, isto é, sem inserções ósseas ou junções músculo-tendíneas. Desse modo, o estudo é limitado às características do local da colocação do ponto de sutura.

A colocação da sutura central na face dorsal ou palmar do tendão flexor dos dedos da mão é tema de vários estudos experimentais de análise mecânica. A questão principal é que a face dorsal é vascularizada e, teoricamente, a sutura colocada neste local poderia prejudicar a cicatrização. Há, na literatura uma grande variedade de pesquisas com diferentes metodologias e o predomínio é a colocação da sutura na face dorsal do tendão propiciando melhor desempenho mecânico. No entanto, as variáveis estudadas incluem a cicatrização dos tendões flexores de acordo com as diferentes técnicas de sutura, materiais utilizados e tipos de testes realizados. O quadro 1 apresenta o resumo de alguns estudos relacionados à colocação da sutura em face dorsal ou palmar. A presente investigação excluiu as características metodológicas do processo de reparo da ruptura completa do tendão e dos variados tipos e materiais de sutura para verificar se existem diferenças no desempenho mecânico entre a sutura em face dorsal correspondente ao tendão fibroso normal (Grupo TF) e palmar correspondente ao tendão fibrocartilaginoso (Grupo TFC). Os termos relacionados à cicatrização dos tendões referem-se à reação do tecido ao ponto de sutura, já que foi realizado no tendão íntegro.

Quadro 1 - Estudos Mecânicos comparando o ponto central de sutura em região dorsal ou palmar

Autores	Tendão	Ensaio mecânico	Sutura	Fio	Parâmetros mecânicos	Melhor desempenho mecânico
Aoki et al., 1995	Flexor dos dedos da mão de cães	Dedo: teste curvilíneo	Savage e retalho em tendão	Poliéster e Dacron	Trabalho de flexão	Dorsal (vascularizada)
Soejima et al. 1995	Flexor dos dedos da mão de cadáver humano	Tendão isolado; teste longitudinal	Kessler	Náilon e prolene	Carga Máxima e Tensão	Dorsal (vascularizada)
Komanduri et al., 1996	Flexor dos dedos da mão de cadáver humano	Mão; teste curvilíneo	Kessler e Bunnell	Náilon	Carga Máxima	Dorsal (vascularizada)
Stein et al. , 1998a	Flexor dos dedos da mão de cadáver humano	Tendão isolado; teste longitudinal	Kessler, Stricland, Robertson e Beker	Poliéster e Náilon	Carga Máxima e Carga para 2 mm de espaço	Dorsal (vascularizada) ≙ palmar (avascular)
Stein et al. , 1998b	Flexor dos dedos da mão de cadáver humano	Mão; teste curvilíneo	Kessler, Stricland, Robertson e Becker	Poliéster e Náilon	Carga Máxima	Kessler e Robertson: Dorsal (vascularizada) Stricland e Becker: Dorsal ≙ palmar (avascular)
Cao et al., 2002	Flexor dos dedos da mão do porco	Tendão isolado; teste curvilíneo	Kessler (palmar) e Tang (dorsal)	Náilon	Carga Máxima e Carga para 2 mm de espaço	Dorsal (vascularizada)
Xie et al. , 2002	Flexor dos dedos da mão de cadáver humano	Tendão isolado; teste curvilíneo	Savage (misto), Tang (dorsal) e Lim (palmar)	Náilon	Carga Máxima e Carga para 2 mm de espaço	Dorsal (vascularizada)
Sardenberg, 2006	Flexor dos dedos do pé de coelhos	Tendão isolado; teste longitudinal	Kessler	Náilon	Carga máxima, tensão e módulo de elasticidade	Dorsal (vascularizada) ≙ palmar (avascular)

Os estudos de Soejima et al. (1995), Stein et al. (1998a) e Sardenberg (2006), como na presente investigação, variaram somente o local da sutura (dorsal ou palmar) e utilizaram o ensaio mecânico linear com o tendão isolado.

Na literatura consultada não foram encontrados experimentos que variassem a colocação do ponto de sutura na região vascularizada ou avascularizada para verificação dos efeitos na interface sutura-tendão. Momose et al. (2000), McDowell et al. (2002) e Wong et al. (2006) realizaram experimentos em tendões íntegros, porém não investigaram os efeitos da localização do ponto, o que dificulta a comparação apurada com os dados da presente investigação.

Os dados do presente estudo nos tempos experimentais de sete, 14 e 21 dias, mostraram semelhanças em relação ao tendão operado e o controle não operado, exceto no grupo de TFC em que o controle apresentou resultado inferior. No entanto, houve efeito temporal, considerando que na maioria das variáveis estudadas, os tendões analisados após sete dias do procedimento cirúrgico mostraram valores inferiores aos demais tempos tanto no grupo operado como no grupo controle.

No estudo experimental de Mason & Allen (1941), os autores encontraram que a força de tração dos tendões exibe três fases paralelas com as fases do reparo tendíneo: a fase inicial que vai até cinco dias com diminuição da força como resultado do edema; a segunda fase de fibroplasia com aumento da força até 16 dias, atingindo um platô até a última fase de maturação e organização e diferenciação que inicia entre 19 e 21 dias. Os autores consideram que a força continua a aumentar com o tempo.

A colocação do ponto de sutura em região vascularizada (Grupo TF) ou avascularizada (Grupo TFC) poderia promover alguma alteração na cicatrização do tecido, considerando que possuem diferentes características. No presente estudo, houve diferença entre os grupos avaliados no Módulo de Elasticidade, Energia na Carga Máxima e Energia por Área, sendo que os valores do grupo de TFC foram superiores ao de TF apenas após sete dias no Módulo de Elasticidade e 21 dias nas variáveis de Carga Máxima e Energia por Área.

Quando comparados os valores de Tensão na Carga Máxima e Carga Máxima dos animais operados com os animais controle aos 21 dias, o grupo controle de TFC mostrou valores significativamente inferiores ao operado TFC e diminuição na Carga Máxima também aos 14 dias.

Apesar de o modelo de ensaio mecânico ser uma técnica rápida e precisa, está sujeita a algumas limitações. De acordo com Carlstedt (1987) alguns fatores podem afetar o desempenho mecânico dos tecidos. O material deve ser mantido em meio úmido previamente

ao ensaio. No entanto, quando o espécime é umedecido excessivamente, a rigidez aumenta. Outro fator a ser considerado é o escorregamento do tecido nas garras ou alguma lesão causada na superfície do tecido (Carlstedt, 1987; Silveira, 2001). No entanto, caso houvesse algum efeito de escorregamento do tecido nas garras, o mesmo estaria presente em toda a amostra o que não impediria a comparação entre os grupos analisados.

A mecânica define o Módulo de Elasticidade como a medida da rigidez do material, isto é, quanto maior for o módulo, menor será a deformação resultante da aplicação de uma tensão e, portanto, mais rígido será o material (Cozaciuc et al., 2000). De acordo com Viidik (1980) o Módulo de Elasticidade na biomecânica não é idêntico ao Módulo de Elasticidade definido em engenharia e, conclusões a respeito da elasticidade de materiais biológicos devem ser entendidas lembrando-se que estes materiais possuem características viscoelásticas não lineares que incluem certo grau de plasticidade.

Müller (1998) afirma que o arranjo tecidual morfológico não paralelo está relacionado à maior deformação necessária para a ruptura e conseqüente menor Módulo de Elasticidade. Esta pode ser considerada a propriedade mecânica que melhor expressa à especificidade dos materiais. De acordo com o presente estudo no sétimo dia pós-operatório, o grupo TF apresentou menor Módulo de Elasticidade em relação ao grupo TFC, porém nos demais tempos, estes valores foram semelhantes. Ambos os grupos não mostraram diferença significativa em relação ao controle contralateral.

Já os valores de Carga Máxima nos tendões têm pouco interesse sob o ponto de vista funcional, pois em condições fisiológicas *in vivo*, são submetidos à tensão de aproximadamente 1/3 da carga máxima (Carlstedt, 1987). Entretanto, esta pode ser considerada uma variável importante na elucidação das propriedades estruturais do tecido.

Estudos experimentais consideram que a força máxima de tração dos tendões flexores no local de reparo diminui entre o quarto e o décimo dia (Mason & Allen, 1941; Pruitt et al., 1996; Wada et al. 2001). Outros autores (Aoki et al., 1997; Kusano et al., 1999; Zhao et al. 2004) não encontraram diminuição na carga máxima na primeira semana de reparo em tendões flexores de coelhos e Kusano et al. (1999) relataram que o material de sutura poderia ter causado inflamação e fraqueza do tecido nesta fase.

Em relação ao tempo de seguimento pós-operatório, observou-se no presente estudo que, após sete dias os valores de Carga Máxima e Tensão na Carga Máxima foram inferiores aos valores obtidos aos 14 e 21 dias tanto no grupo TF como no grupo TFC operado, indicando um aumento acentuado inicial (entre o primeiro e segundo tempo

avaliado) e estabilização ou aumento lento em seguida (entre o segundo e terceiro tempo avaliado).

McDowell et al. (2002), ao realizarem estudo com os tendões íntegros com as técnicas de Kessler e Savage, encontraram que a resistência à tração diminuiu com o tempo e que a causa pode ser a reação ao material de sutura, o efeito mecânico do aperto da sutura ou ambos. No entanto, no presente estudo não houve grandes diferenças entre o grupo controle e o grupo operado, não sendo, portanto, considerado que o material de sutura ou o ponto realizado pudesse interferir na mecânica destes tendões neste caso.

Na Energia na Carga Máxima, o grupo TFC apresentou aumento estatisticamente significativo após 21 dias em relação ao grupo TF e houve evolução significativa deste grupo entre tempos experimentais de sete, 14 dias e 21 dias. O grupo de TF apresentou aumento entre sete e 14 dias e estabilizou em seguida e, os grupos controle mostraram aumento gradual, porém considerado significativo apenas entre sete e 21 dias. Conforme já citado anteriormente, houve uma evolução temporal tanto do grupo operado como controle na maioria das variáveis estudadas.

Já no estudo de Sardenberg (2006) houve aumento lento não significativo ou estabilização nas duas semanas iniciais dos grupos de sutura em região vascularizada e avascularizada em relação à Tensão na Carga Máxima e Energia na Carga Máxima, seguido de aumento acentuado em seis semanas, porém os animais ficaram imobilizados durante as três primeiras semanas, o que pode ter influenciado estes resultados.

A Energia por Área pode ser caracterizada como a capacidade do corpo de prova de absorver impactos. Nos materiais viscoelásticos, como os tendões, está relacionada à quantidade de material e ao arranjo das fibras colágenas. Os resultados deste estudo mostram que houve diferença significativa entre o grupo de TFC e TF após 21 dias podendo sugerir que neste tempo o grupo TFC apresentou maior capacidade de absorção de impacto.

Sardenberg (2006) também encontrou maior valor na Energia por Área no grupo de fibrocartilagem com três semanas de pós-operatório. No entanto, ao avaliar os grupos após seis semanas, não encontrou diferença significativa.

O estudo de Nessler et al. (1992) relativo à cicatrização dos tendões flexores da pata de cães em região de tendão normal e tendão fibrocartilaginoso indicou desempenho morfológico e mecânico superior da cicatrização de fibrocartilagem nos tempos de três e seis semanas. O modelo experimental destes autores foi de lesão parcial, sem material de sutura. Além disso, realizaram movimentação ativa imediata no pós-operatório o que pode indicar predomínio de mecanismos intrínsecos de cicatrização tendinosa e a fibrocartilagem, com seu

arranjo irregular do colágeno apresentou cicatriz mais precoce que o tendão fibroso, que exige mais tempo para o alinhamento das fibras de colágeno. No presente estudo, como nos dados de Nessler et al. (1992), as alterações relacionadas ao local de colocação da sutura ocorreram aos 21 dias, na Energia na Carga Máxima e Energia por Área, sendo os valores do grupo de fibrocartilagem superiores. No entanto, estas alterações ocorreram apenas nestas variáveis.

De acordo com a literatura, várias pesquisas têm sido realizadas para determinar o processo de reparo ideal para os tendões flexores e atualmente os efeitos da movimentação passiva ou ativa pós-operatória têm sido considerada fundamental na reabilitação mais rápida deste tendão. Entretanto a grande quantidade de variáveis estudadas dificulta o estabelecimento do melhor protocolo para o reparo desta estrutura.

A análise mecânica da interface sutura-tendão do modelo do presente estudo permite considerar que um único ponto de sutura não promoveu grandes alterações mecânicas no tendão íntegro dos coelhos nas três fases analisadas. As diferenças encontradas entre os grupos avaliados são discretas e pontuais e não descaracteriza o padrão observado nas demais propriedades mecânicas e nos tempos avaliados.

6.6 Estudo histopatológico

A análise dos resultados histopatológicos demonstrou que a reação tecidual da colocação do ponto de sutura no tendão íntegro não apresenta relação com o local na região vascularizada no grupo de Tendão Fibroso e na região avascular, no grupo de Fibrocartilagem. Dessa maneira, pode-se supor que a colocação de um ponto de sutura na região vascularizada que, em tese, poderia prejudicar a irrigação sanguínea intrínseca do tendão, não produziu efeitos específicos nos tendões flexores de coelhos.

Aoki et al. (1995), baseados em seus experimentos e no relato de Manske & Lesker (1984), afirmam que, do ponto de vista da nutrição tecidual, o local de sutura do tendão não teria relevância no processo cicatricial, já que há nutrição via líquido sinovial. Assim, os resultados do presente estudo podem sugerir que não é necessário evitar a colocação do ponto de sutura na região vascularizada do tendão para preservar a irrigação sanguínea, pois o ponto colocado em região avascular permitiu a cicatrização do tecido da mesma maneira que o ponto colocado em região de tecido vascularizado, não sendo observado nenhum prejuízo que pudesse retardar o processo de reparo tendíneo.

Merrilees & Flint (1980) afirmam que existem diferenças significativas na organização da matriz, tamanho das células, diâmetro das fibrilas de colágeno entre as regiões dos tendões que possuem uma zona de tensão e outra de compressão, como ocorre nos

tendões flexores dos dedos. No presente estudo, estas diferenças foram observadas considerando que na região de fibrocartilagem há disposição irregular das fibras colágenas enquanto que na região de tendão fibroso normal, o tecido é organizado com fibras de disposição paralela.

De acordo com a literatura, McDowell et al. (2002) e Wong et al. (2006) foram os únicos a pesquisarem a reação tecidual ao material de sutura em tendões íntegros. Muitos fatores têm sido estudados com o objetivo de proporcionar um reparo tecidual forte nos tendões flexores. Os investigadores enfatizam as diferentes técnicas de sutura, enquanto outros pesquisam a variedade de materiais e as diferentes técnicas para reparo do epitendão. Há uma grande dificuldade em comparar estes estudos ou chegar a conclusões precisas já que envolvem diferentes modelos de tendões (cadáveres, cães, coelhos, galinhas e porcos), experimentos *in vivo* e *in vitro*, diferentes tamanhos de suturas e técnicas para testá-las. No entanto, não foi encontrado nenhum estudo em relação à localização do ponto de sutura em tendões intactos para verificar os efeitos na interface sutura-tendão.

Em algumas espécies do presente estudo o material de sutura não foi totalmente removido durante o procedimento de preparação das lâminas e nas espécies em que este foi excluído, foi possível a identificação do local da sutura devido às alterações locais que foram semelhantes em ambos os grupos. Observou-se, no entanto, alterações em relação ao tempo pós-operatório, sendo estas alterações de acordo com as fases da cicatrização dos tendões.

A proliferação fibroblástica aparente após sete dias da colocação do ponto está de acordo com os resultados de McDowell et al. (2002) que encontraram grande quantidade de células na superfície do tendão após seis dias e com os estudos de Oshiro et al. (2003) que verificaram que após ruptura e sutura do tecido o local estava totalmente coberto por fibroblastos e vasos sanguíneos após sete dias.

Oshiro et al. (2003) relatam também que, aos 21 dias, foram observadas novas fibras de colágeno, também semelhante aos resultados descritos no presente estudo. Estes autores observaram também, após 14 dias, grande quantidade de células gigantes, que aumentou até os 28 dias, diminuindo em seguida e consideraram que estes fatores são importantes no processo de reparo, incluindo a degradação de colágeno pré-existente, síntese e remodelação das novas fibras. No entanto, consideraram que o processo de reparo ocorreu com células provenientes dos fibroblastos pré-existentes do endotendão, ou seja, de maneira intrínseca.

McDowell et al. (2002) verificaram que após 21 dias houve proliferação de células multinucleares no epitendão e no endotendão adjacente ao local da sutura e

consideram que esta pode ter sido causada pela resposta ao corpo estranho, ou seja, ao material, bem como à lesão do tecido e os efeitos do ponto.

No presente estudo, foi observada reatividade celular na superfície do tendão, tanto na região fibrocartilaginosa quanto na região de tendão fibroso normal, independente do local de colocação do ponto de sutura, indicando que a reação celular ocorreu em todo tendão. Observou-se também proliferação de células, em menor quantidade, na porção central do tendão, sendo possível considerar que houve participação tanto dos mecanismos intrínsecos e extrínsecos de cicatrização.

De acordo com Harrison et al. (2003b), Lin et al., (2004) e Sardenberg, (2006) a maioria das pesquisas sugerem que, em condições clínicas, os tendões flexores cicatrizam por meio da combinação dos mecanismos intrínsecos e extrínsecos, não havendo exclusividade de um ou outro e sim predominância de acordo com condições relacionadas à nutrição tecidual e movimentação durante a cicatrização.

Em relação à reação do tendão à sutura, Wong et al. (2006) verificaram área acelular no tendão flexor profundo de ratos e coelhos ao redor do ponto de sutura, sendo que a característica histológica foi semelhante após cinco, sete e 14 dias. Consideram que esta ausência de células ocorreu devido ao trauma imposto ao tecido pela sutura, sendo que o tamanho ou a quantidade de fio de sutura relaciona-se ao grau de trauma presente no tecido.

Já McDowell et al. (2002) encontraram área acelular de 0,5 mm após três dias do procedimento, porém após seis dias houve um influxo de células, correspondendo ao aumento da atividade da colagenase com diminuição progressiva da resistência e elasticidade.

No presente estudo não foi encontrada nenhuma área acelular próxima à colocação do ponto de sutura e sim proliferação de fibroblastos, conforme já citado anteriormente. Além disso, houve aumento na deposição de colágeno de acordo com o tempo sendo que os grupos de sete dias mostravam diminuição em relação aos de 14 e 21 dias conforme observado nas lâminas coradas pelo tricrômico de Masson.

O modelo experimental da presente investigação permitiu a livre movimentação dos animais no período pós-operatório. Embora não tenha sido produzida ruptura do tecido e conseqüente processo de reparo, houve lesão no local de colocação do ponto de sutura, porém com processo natural de cicatrização. Não foi observada nenhuma reação distinta a este processo nos tempos de sete, 14 e 21 dias. A semelhança dos resultados com os estudos de Oshiro et al. (2003) em que houve laceração do tendão, pode confirmar este achado.

6.7 Considerações finais

A análise dos resultados biomecânicos e histopatológicos da presente investigação permitiu concluir que a colocação do ponto de sutura em região vascularizada ou avascular do tendão proporciona a mesma influência no tecido. Assim, a agressão ao suprimento sanguíneo do tendão pela colocação do ponto de sutura na região vascularizada e avascularizada, não prejudica a cicatrização do tendão.

Apesar de haver influência do material de sutura na interface sutura-tendão, esta não provocou grandes alterações nas propriedades mecânicas do tendão, podendo ser considerado que as pequenas modificações estejam possivelmente relacionadas às alterações teciduais decorrentes do processo de ruptura das fibras tendíneas, levando a uma interrupção do padrão organizado do tecido.

Na presente investigação foi realizado um único ponto de sutura na região vascularizada e avascularizada. No entanto, na prática cirúrgica um ponto único e simples não é suficiente para promover o reparo tecidual adequado após a ruptura completa do tendão, sendo utilizadas técnicas cada vez mais fortes e resistentes. Assim, pode ser considerado que dentre as variáveis estudadas, não devem ser descartadas as técnicas de sutura mais utilizadas na prática clínica, apontando a necessidade de desenvolvimento de estudos experimentais que analisem a interface sutura-tendão nos diversos modelos de sutura.

É conhecido que a transposição dos resultados de experimentos em animais para a prática clínica em seres humanos deve ser criteriosa e com cuidados permanentes. No entanto, a grande quantidade de pesquisas e a homogeneidade do trabalho experimental permite fornecer maiores informações a respeito do grande desafio do tratamento dos tendões flexores dos dedos da mão.

CONCLUSÃO

7 CONCLUSÃO

Nas condições desta investigação e no coelho, a colocação de um ponto de sutura simples em região de tendão fibroso vascularizada ou na região de tendão fibrocartilaginoso avascular não provou diferenças em relação aos aspectos mecânicos e histopatológicos do processo de cicatrização tendinosa do tendão flexor profundo dos dedos do pé.

REFERÊNCIAS

8 REFERÊNCIAS*

Akali A, Khan U, Khaw PT, McGrouther AD. Decrease in adhesion formation by a single application of 5-fluorouracil after flexor tendon injury. *Plast Reconstr Surg.* 1999; 103: 151-8.

Aoki M, Manske PR, Pruitt DL, Kubota H, Larson BJ. Work of flexion after flexor tendon repair according to the placement of sutures. *Clin Orthop.* 1995; 320: 205-10.

Aoki M, Kubota H, Pruitt DL, Manske PR. Biomechanical and histologic characteristics of canine flexor tendon repair using early postoperative mobilization. *J Hand Surg Am.* 1997; 22A: 107-14.

Benjamim M, Evans EJ. Fibrocartilage. *J Anat.* 1990; 171: 1-15.

Beredjikian PK. Biologic aspects of flexor tendon laceration and repair. *J Bone J Surg Am.* 2003; 85A: 539-50.

Boyer MI. Recent progress in intrasynovial flexor tendon repair and rehabilitation. *J Musculoskel Neuron Interact.* 2003; 3: 329-32.

Boyer MI. Flexor Tendon Biology. *Hand Clin.* 2005; 21:159-66.

Boyer MI, Gelberman RH, Burns ME, Dinopoulos H, Hofem R, Silva MJ. Intrasynovial flexor tendon repair: an experimental study comparing low and high levels of *in vivo* force during rehabilitation in canines. *J Bone J Surg Am.* 2001a; 83A: 891-899.

* International Committee of Medical Journal Editors. Uniform requirements for manuscripts submitted to biomedical journal: sample references. [cited 2009 feb 11]. Available from: http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html.

Boyer MI, Meunier MJ, Lescheid J, Burns ME, Gelberman RH, Silva MJ. The influence of cross-sectional area on the tensile properties of flexor tendons. *J Hand Surg Am.* 2001b; 26A:828-32.

Boyer MI, Goldfarb CA, Gelberman RH. Recent progress in flexor tendon healing. The modulation of tendon healing with rehabilitation variables. *J Hand Ther.* 2005; 18:80-85.

Cao Y, Xie RG, Tang JB. Dorsal enhanced sutures improve tensing resistance of tendon repair. *J Hand Surg Br.* 2002; 27B:161-4.

Carlstedt C.A. Mechanical and chemical factors in tendon healing: effects in indomethacin and surgery in the rabbit. *Acta Orthop Scand Suppl.* 1987; 58: 2-75.

Choueka J, Heminger H, Mass DP. Cyclical testing of zone in flexor tendon repairs. *J Hand Surg Am.* 2000; 25A: 1127-34.

Cozaiciuc I, Silva LR, Togni MA. Telecurso 2000 profissionalizante, mecânica, ensaio de materiais. São Paulo: Globo; 2000. p. 10-42.

Dinopoulos HT, Boyer MI, Burns ME, Gelberman RH, Silva MJ. The resistance of a four-and eight-strand suture technique to gap formation during tensile testing: an experimental study of repaired canine flexor tendons after 10 days of in vivo healing. *J Hand Surg Am.* 2000; 25A: 489-98.

Gelberman RH, Menon J, Gonsalves M, Akeson WH. The effects of mobilization on the vascularization of healing flexor tendons in dogs. *Clin Orthop.* 1980; 153:283-9.

Gelberman RH, Amifl D, Gonsalves M, Woo S, Akeson WH. The influence of protected passive mobilization on the healing of flexor tendons: a biomechanical and microangiographic study. *Hand*. 1981; 13:120-8.

Gelberman RH, Berg JSV, Lundborg GN, Akeson WH. Flexor tendon healing and restoration of the gliding surface. An ultrastructural study in dogs. *J Bone Joint Surg Am*. 1983; 65A: 70-80.

Gelberman RH, Woo SLY, Lothringer K, Akeson WH, Amiel D. Effects of early intermittent passive immobilization on healing canine flexor tendons. *J Hand Surg Am*. 1982; 7A: 170-5.

Gigante A, Specchia N, Rapali S, Ventura A, de Palma L. Fibrillogenesis in tendon healing: on experimental study. *J Biol Res*. 1996; 7: 203-210.

Gillard GC, Reilly HC, Bell-Booth PG, Flint MH. The influence of mechanical forces on the glycosaminoglycan content on the rabbit flexor digitorum profundus tendon. *Connect Tissue Res*. 1979; 7:37-46.

Hamill J, Knutzen KM. Fundamentos do movimento humano. In Hamill J, Knutzen K M. *Bases Biomecânicas do Movimento Humano*. 2ª Ed. São Paulo. Manole, 2008. p.10-14.

Harrison RK, Jones ME, Clayton E, Grobbelaar AO, Sanders R. Mapping of vascular endothelium in the human flexor digitorum profundus tendon. *J Hand Surg Am*. 2003a; 28A: 806-13.

Harrison RK, Mudera V, Grobbelaar AO, Jones ME, McGrouther DA. Synovial sheath cell migratory response to flexor tendon injury: an experimental study in rats. *J Hand Surg Am*. 2003b; 28A: 987-93.

Hatano I, Suga T, Diao E, Peimer CA, Howard C. Adhesions from flexor tendon surgery: an animal study comparing surgical techniques. *J Hand Surg Am.* 2000; 25A:252-9.

Hausmann JT, Vekszler G, Bijak M, Benesch T, Vécsei V, Gäbler C. Biomechanical comparison of modified kessler and running suture repair in 3 different animal tendons and in human flexor tendons. *J Hand Surg Am.* 2009; 34A: 93-101.

James R, Kesturu G, Balian G, Chhabra B. Tendon: Biology, biomechanics, repair, growth factors and evolving treatment options. *J Hand Surg Am.* 2008; 33A: 102-112.

Józsa L, Kannus P. *Human Tendons.* United States of America: Human Kinetics, 1997.

Junqueira LC, Carneiro J. Tecido conjuntivo. In: Junqueira LC, Carneiro J. *Histologia Básica.* 11 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. p. 91-123.

Khan KM, Cook JL, Bonar F, Harcourt P, Åstrom M. Histopathology of common tendinopathies. *Injury Clinic.* 1999; 27: 393-408.

Kirkendall DT, Garret WE. Function and biomechanics of tendons. *Scan J Med Sci Sports.* 1997; 7:62-66.

Komanduri M, Phillips CS, Mass DP. Tensile strength of flexor tendon repairs in a dynamic cadaver model. *J Hand Surg Am.* 1996; 21A: 605-11.

Kusano N, Yoshizu T, Maki Y. Experimental study of two new flexor tendon suture techniques for postoperative early active flexion exercises. *J Hand Surg Br.* 1999; 24B: 152-56.

Lawrence TM, Davis TRC. A biomechanical analysis of suture materials and their influence on a four-strand flexor tendon repair. *J Hand Surg Am.* 2005; 30A: 836-41.

Lin TW, Cardenas L, Soslowky J. Biomechanics of tendon injury and repair. *J Biom* 2004; 37: 865-77.

Lundborg G, Myrhage R. The vascularization and structure of the human digital tendon sheath as related to flexor tendon function. *Scan J Plastic Reconstr Surg*. 1977; 11: 195-203.

Lundborg G, Myrhage R, Rydevik B. The vascularization of human flexor tendons within the digital synovial sheath region- structural and functional aspects. *J Hand Surg Am*. 1977; 2A: 417-27.

Lundborg G, Rank F. Experimental intrinsic healing of the flexor tendons based upon synovial fluid nutrition. *J Hand Surg Am*. 1978; 3A: 21-31.

Lundborg G, Hansson H, Rank F, Rydevik. Superficial repair of severed flexor tendons in synovial environment. An experimental, ultrastructural study on cellular mechanisms. *J Hand Surg Am*. 1980; 5A:451-61.

Lundborg G, Rank F, Heinau B. Intrinsic tendon healing. *Scan J Plastic Reconstr Surg*. 1985; 29:113-17.

Malaviya P, Butler DL, Boivin GP, Smith FNL, Marry FP, Murphy JM, Vogel KG. An *in vivo* model for load-modulated remodeling in the rabbit flexor tendon. *J Orthop Res*. 2000; 18:116-25.

Manske PR. History of flexor tendon repair. *Hand Clin*. 2005; 21:123-27.

Manske PR, Bridwel L, Lesker PA. Nutrient pathways of flexor tendons of chickens using tritiated proline. *J Hand Surg Am*. 1978; 3A: 352-7.

Manske PR, Lesker BS. Histologic evidence of intrinsic flexor tendon repair in various experimental animals: an *in vitro* study. *Clin Orth Rel Res.* 1984; 182: 297-304.

Manske PR, Gelberman RH, Berg JSV, Lesker PA. Intrinsic flexor-tendon repair. A morphological study *in vitro*. *J Bone Joint Surg Am.* 1984; 66A: 385-96.

Maquet P. Iatrophysics to biomechanics from Borelli (1608-1679) to Pauwels (1885-1980). *J Bone Joint Surg Br.* 1992; 74 B: 335-9.

Martin BR, A genealogy of biomechanics. [cited 2009 jan 28]. Available from: http://www.asbweb.org/html/history_mission/genealogy/genealogy.htm.

Mass DP. Early repairs of flexor tendon injuries. In Berger RA, Weiss APC, editors. *Hand surgery*. Philadelphia: Lippincott, 2004. p.679-98.

Mason ML, Allen HS. The rate of healing of tendons. An experimental study of tensile strength. *Ann Surg.* 1941; 113:424-59.

McDowell CL, Marqueen TJ, Yager D, Owen JR, Wayne JD. Characterization of the tensile properties and histologic/biochemical changes in normal chicken tendon at the site of suture insertion. *J Hand Surg Am.* 2002; 27A: 605-14.

Merrilees MJ, Flint MH. Ultrastructural study of tension and pressure zones in a rabbit flexor tendon. *Am J Anat.* 1980; 157:87-106.

Mills DK, Daniel JC. Development of functional specializations within the maturing rabbit flexor digitorum profundus tendon. *Connect Tissue Res.* 1993; 30:37-57.

Momose T, Amadio PC, Zhao C, Zobitz ME, An KN. The effect of knot location, suture material , and suture size on the gliding resistance of flexor tendons. *J Biomed Mater Res.* 2000; 53: 806-11.

Müller SS. Análise comparativa das propriedades mecânicas do ligamento da patela e do tendão calcâneo: estudo experimental em cadáveres humanos. [Tese de Doutorado] Botucatu: Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual Paulista; 1998.

Müller SS, Silveira PRA, Pereira HR, Silva MAM, Sardenberg T, Leivas TP. Análise comparativa das propriedades mecânicas do ligamento da patela e do tendão calcâneo. *Acta Ortop Bras.* 2004; 12: 134-40.

Nessler JP, Amadio PC, Berglund LJ. An KN. Healing of canine tendon in zones subjected to different mechanical forces. *J Hand Surg Br.* 1992; 17B: 561-8.

Newmeyer WL, Manske PR. No man's land revisited: the primary flexor tendon repair controversy. *J Hand Surg Am.* 2004; 29A: 1-5.

Novak EM. Mão. In: Costa PHL et al. *Movimento Articular. Aspectos morfológicos e funcionais. Membro Superior.* Barueri. São Paulo: Manole; 2005. p.282-87.

Nordin M, Lorentz T., Campello M. Biomecânica de tendões e ligamentos. In: Nordin M, Frankel VH, editores. *Biomecânica básica do sistema musculoesquelético.* 3ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2003. p.86-107.

Ochiai G, Matsui T, Miyaiji N. Vascular anatomy of flexor tendons I. Vascular System and blood supply of the digital sheath. *J Hand Surg Am.* 1979; 4A: 321-30.

Oshiro W, Lou J, Xing X, Tu Y, Manske PR. Flexor tendon healing in the rat: a histologic and gene expression study. *J Hand Surg Am.* 2003; 28A: 814-23.

Pereira FEL. Degenerações. Morte Celular. Alterações do Interstício. In: Bogliolo, Patologia. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1994. p. 47-81.

Peacock EE. A study of the circulation in normal tendons and healing grafts. *Annals Surg.* 1959; 149: 415-28.

Petersen W, Pufe T, Unterhauser F, Zantop T, Mentlein R, Weiler A. The splice variants 120 and 164 of the angiogenic peptide vascular endothelial cell growth factor (VEGF) are expressed during achilles tendon healing. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2003; 123:475-80.

Potenza AD. Tendon healing within the flexor digital sheath in the dog: an experimental study. *J Bone Joint Surg Am.* 1962; 44A: 49-64.

Pruitt DL, Mobile AL, Tanaka H, Aoki M, Manske PR. Cyclic stress testing after *in vivo* healing of canine flexor tendon lacerations. *J Hand Surg Am.* 1996; 21A: 974-77.

Rossi LF, Ramos RR, Ely JB, Kestering DM, Soldi MS, Brum SPB, Acampora AJ. Considerations that may influence the results of trials assessing tensile strength in experimental surgery. *Acta Cir Bras.* 2007; 22: 499-502.

Salate ACB. Estudo dos efeitos do laser de baixa intensidade na angiogênese em ruptura parcial do tendão calcâneo de ratos. [Dissertação de Mestrado] São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2004.

Sardenberg T. Lesão do tendão flexor: sutura na região avascular ou vascularizada? Estudo biomecânico e histopatológico em coelhos. [Tese de Doutorado] Botucatu: Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual Paulista; 2006

Silva JM, Zhao C, An K, Zobitz ME, Amadio PC. Gliding resistance and strength of composite sutures in human flexor digitorum profundus tendon repair: an *in vitro* biomechanical study. J Hand Surg Am. 2009; 34A:87-92.

Silvares PRA. Análise das propriedades mecânicas do ligamento cruzado anterior, ligamento da patela e tendão do músculo semitendíneo triplicado. Estudo experimental em cadáveres humanos. [Tese de Doutorado] Botucatu: Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual Paulista; 2001.

Singer G, Ebramzadeh E, Jones NF, Meals R. Use of the taguchi method for biomechanical comparison of flexor-tendon-repair techniques to allow immediate active flexion: a new method of analysis and optimization of technique to improve the quality of the repair. J Bone Joint Surg Am. 1998; 80A: 1498-1506.

Sobania LC, Santos PS. Lesões dos tendões flexores. In Pardini Jr. A G. Traumatismos da mão. Rio de Janeiro: Medsi, 2000. p. 314-50.

Soejima O, Diao E, Lotz JC, Harihran JS. Comparative mechanical analysis of dorsal versus palmar placement of core suture for flexor tendon repair. J Hand Surg Am. 1995; 20A: 801-7.

Stein T, Ali A, Hammam J, Mass DP. A randomized biomechanical study of zone II human flexor tendon repair analyzed in a linear model. J Hand Surg Am. 1998 a; 23A: 1043-45.

Stein T, Ali A, Hammam J, Mass DP. A randomized biomechanical study of zone II human flexor tendon repair analyzed in a *in vitro* model. J Hand Surg Am. 1998 b; 23A: 1046-51.

Steinberg D R, Flexor tendon lacerations in the hand. *Univ Pa Orthop J.* 1997; 10:5-11.

Strickland JW. Development of flexor tendon surgery: twenty-five years of progress. *J Hand Surg Am.* 2000; 25A:214-35.

Strickland JW. The scientific basis for advances in flexor tendon surgery. *J Hand Ther.* 2005; 18: 94-110.

Tang JB, Shi S, Zhang QG. Biomechanical and histologic evaluation of tendon sheath management. *J Hand Surg Am.* 1996; 21A: 900-08.

Viidik. Mechanical properties of parallel-fibred collagenous tissue. In: Viidik A, Vuust J, editors. *Biology of collagen.* London: Academic Press; 1980. p.237-55.

Vinikainen A, Göransson H, Huovinen K, Kellomäki M, Rokkanen P. A comparative analysis of the biomechanical behavior of five flexor tendon core sutures. *J Hand Surg Br.* 2004; 29B: 536-43.

Vogel, KG. Tendon structure and response to changing mechanical load. *J Musculoskel Neuron Interact.* 2003; 3: 323-25.

Wada A, Kubota H, Miyanishi K, Hatanaka H, Miura H, Iwamoto Y. Comparison of the postoperative early active mobilization and immobilization in vivo utilizing a four-strand flexor tendon repair. *J Hand Surg Br.* 2001; 26B: 301-06.

Wong JKF, Cerovac S, Ferguson MW, McGrouther DA. The cellular effect of a single interrupted suture on tendon. *J Hand Surg Br.* 2006; 31B: 358-67.

Wright PE. Lesões dos tendões flexores e extensores. In: Crenshaw AH, Cirurgia Ortopédica de Campbell. 8ª Ed. São Paulo: Manole; 1997. p. 3240-3289.

Xie RG, Zhang S, Tang JB, Chen F, Biomechanical studies of 3 different 6-strand flexor tendon repair techniques. *J Hand Surg Am.* 2002; 27A: 621-27.

Zar JH. *Biostatistical analysis*, 4th ed. Prentice-Hale, New Jersey, 1999, 663p.

Zhang F, Liu H, Stile F, Lei M, Pang Y, Oswald TM, et al. Effect of vascular endothelial growth factor on rat achilles tendon healing. *Plastic and Reconstructive Surgery.* 2003; 112:1613-19.

Zhao C, Amadio PC, Paillard P, Tanaka T, Zobitz ME, Larson DR, Kain-Nan-An. Digital resistance and tendon strength during the first week after flexor digitorum profundus tendon repair in a canine model in vivo. *J Bone Joint Surg Am.* 2004; 86A: 320-7.

Zhao C, Moran SL, Cha SS, Kai-Nan-An, Amadio PC. An analysis of factors associated with failure of tendon repair in the canine model. *J Hand Surg Am.* 2007; 23A: 518-25.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)