

José Luiz Villas Boas Novelli Filho

**ESTUDO BIOMECÂNICO DO REPARO DO
TENDÃO DO CALCÂNEO COM RETALHO
DA FÁSCIA MIOTENDINOSA DO MÚSCULO
GASTROCNÊMIO EM COELHOS**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Medicina de Botucatu –
UNESP para obtenção do título de Mestre em
Bases Gerais da Cirurgia – Área de
concentração: Agressão, Reparação,
Regeneração e Transplante de Tecidos e
Órgãos.

Orientador: Dr. Sérgio Swain Muller

Botucatu

2009

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação

Divisão Técnica de Biblioteca e Documentação - Campus De Botucatu - UNESP

Bibliotecária responsável: *Sulamita Selma Clemente Colnago* – CRB 8/4716

Novelli Filho, José Luiz Villas Boas.

Estudo biomecânico do reparo do tendão do calcâneo com retalho da fâscia miotendinosa do músculo gastrocnêmio em coelhos / José Luiz Villas Boas Novelli Filho. – 2009.

Dissertação (mestrado) – Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2009

1. Tendão – Ferimentos e lesões – Estudos experimentais

CDD 617.474027

Palavras-chave: Tendão do calcâneo; Reparo; Músculo gastrocnêmio; Estudo biomecânico; Coelhos

Trabalho desenvolvido no Laboratório de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimental "Willian Saad Hossne", do Departamento de Cirurgia e Ortopedia da Faculdade de Medicina de Botucatu - UNESP.

Agradeço a todos que colaboraram na elaboração deste trabalho, principalmente:

Prof. Dr. Sérgio Swain Muller, Orientador, guia nos momentos difíceis, sem o qual este trabalho não existiria. Agradeço pela dedicação, atenção e objetividade que possibilitou a realização deste trabalho.

Professores e Médicos da Disciplina de Ortopedia e Traumatologia do Departamento de Cirurgia e Ortopedia da Faculdade de Medicina de Botucatu – Unesp, especialmente **Prof. Dr. Emílio Carlos Curcelli**, de quem recebi ensino, orientação e exemplo de profissionalismo;

Prof. Dr. Carlos Roberto Padovani, Departamento de Bioestatística do Instituto de Biociências de Botucatu – UNESP;

Sr. Ednelson Biancchi, Técnico do Laboratório de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimental da Faculdade de Medicina de Botucatu – UNESP;

Sr. Luis Carlos E. Bardella, Técnico do Laboratório de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimental da Faculdade de Medicina de Botucatu – UNESP e demais funcionários do Laboratório de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimental da Faculdade de Medicina de Botucatu - UNESP;

Sr. Carlos Luís Miguel, Técnico de Informática do Departamento de Cirurgia e Ortopedia da Faculdade de Medicina de Botucatu – UNESP e demais funcionários do Departamento de Cirurgia e Ortopedia da Faculdade de Medicina de Botucatu - UNESP;

Sra. Enilze de Souza Nogueira Volpato e demais funcionários da Biblioteca do Campus de Botucatu;

Aos meus avós, Ignácio Loyola Vieira Novelli e Maria Lucia Villas Boas Novelli, Mauro Augusto Barbosa e Hylts Lourenzi Barbosa, por terem sido professores que formaram minha educação e personalidade.

A meus pais e minha irmã pelo amor e dedicação em todos os momentos da minha vida;

A Yeda, Julia e Laura por serem tudo no meu presente e meu caminho no futuro.

RESUMO

A lesão do tendão do calcâneo é comum em humanos. Entretanto, existem muitas opiniões sobre o melhor tratamento para esta lesão quando diagnosticada tardiamente, e apesar do grande número de estudos, o melhor procedimento cirúrgico para o reparo ainda não foi identificado. No presente trabalho um modelo experimental foi desenvolvido em coelhos, para o reparo do tendão do calcâneo, com retalho único da fásia miotendinosa do M. gastrocnêmio. Foram utilizados vinte e quatro coelhos machos adultos, de peso médio 3382g, divididos em três grupos de oito animais, submetidos à reconstrução cirúrgica do tendão do calcâneo, realizada no membro caudal direito, com o grupo controle no membro caudal esquerdo, não operado. O estudo foi realizado com três tempos de evolução pós-operatória: grupo (T0) amostras coletadas logo após a cirurgia; grupo (T1) amostras coletadas quatro semanas após a cirurgia; grupo (T2) amostras coletadas dezoito semanas após a cirurgia. Os animais apresentaram elevação significativa do peso corporal após 18 semanas da cirurgia. Houve redução na carga máxima, tensão, módulo de elasticidade, energia/área e energia na carga máxima imediatamente após a cirurgia. Após 4 semanas, a carga máxima, tensão, módulo de elasticidade, energia/área e energia na carga máxima mostraram-se reduzidas em comparação ao controle. Após dezoito semanas os parâmetros mecânicos deformação, tensão, energia na carga máxima e energia/área foram restabelecidos. Concluiu-se no presente estudo, que a reconstrução do tendão do calcâneo com retalho único da fásia miotendinosa do M. gastrocnêmio, não se igualou ao controle em todos os parâmetros mecânicos após dezoito semanas, e que o modelo experimental foi adequado para a reprodução desta técnica cirúrgica em coelhos.

Palavras chave: tendão do calcâneo, reparo, músculo gastrocnêmico, estudo biomecânico, coelhos.

ABSTRACT

Calcaneus tendon injuries are common in humans. However, there are many opinions about the best treatment for this lesion when too late diagnosed, and despite the large amount of studies, the best surgical procedure for repair wasn't identified yet. In this study a experimental model in rabbits was developed for calcaneus tendon repair, with one single morsel from M. Gastrocnemius fascia. Twenty four male adult rabbits were employed, with medium weight 3382g, divided in three groups with eight animals each, submitted to surgical procedure for repair of calcaneus tendon, accomplished on the right hind limb, with the control group on the left hind limb, not operated. The study was developed with 3 post-operation evolution times: group (T0) samples collected just after surgery; group (T1) samples collected four weeks after surgery; group (T2) samples collected eighteen weeks after surgery. The animals have had rising on weight bearing after eighteen weeks of surgery. There was reduction on maximum load, stress, elasticity modulus, energy/area and energy on maximum load just after surgery. After 4 weeks, the maximum load, stress, elasticity module, energy/area and energy on maximum load showed reduction in comparison with control. After eighteen weeks of surgery, the mechanical parameters deformation, tension, energy on maximum load and energy/area were restabilished. We concluded in this study, that the repair of the calcaneus tendon with one single morsel from M. gastrocnemius fascia, did not equalize with control group in all mechanical parameters after eighteen weeks, and the experimental model, was suitable for the reproduction of this technic in rabbits.

Key words: calcaneus tendon, repair, gastrocnemius muscle, biomechanic study, rabbits.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Revisão da literatura.....	11
2 OBJETIVO.....	16
3 MATERIAL e MÉTODO.....	18
3.1 Protocolo Experimental.....	18
3.2 Estudo Piloto.....	18
3.3 Animais de Experimentação.....	18
3.4 Grupos Experimentais.....	18
3.5 Atributos Estudados.....	19
3.5.1 Evolução.....	19
3.5.2 Propriedades mecânicas.....	19
3.6 Técnica Cirúrgica.....	20
3.7 Ilustrações.....	21
3.8 Obtenção das Amostras.....	25
3.9 Técnica do ensaio mecânico.....	25
3.10 Análise Estatística.....	27
4 RESULTADOS.....	29
4.1 Evolução clínica e marcha.....	29
4.2 Propriedades Mecânicas.....	29
5 DISCUSSÃO.....	40
5.1 Evolução.....	40
5.2 Parâmetros mecânicos.....	40
5.2.1 Deformação.....	40
5.2.2 Carga máxima.....	40
5.2.3 Tensão na Carga Máxima.....	41
5.2.4 Módulo de Elasticidade.....	41
5.2.5 Energia na Carga Máxima.....	42
5.2.6 Energia por área.....	42
5.3 Considerações Finais.....	43
6 CONCLUSÕES.....	47
7 REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

1.1 Revisão da literatura

A ruptura do tendão do calcâneo foi descrita em seres humanos na época de Hipócrates (Arner & Lindholm, 1959). É considerada uma das mais freqüentes lesões tendinosas (Hattrup & Johnson, 1985; Leppilahti & Orava, 1998; Schweitzer & Karasick, 2000), e a crescente incidência, associada à popularização de atividades físicas (Jozsa et al., 1989). O aumento crescente das atividades esportivas em adulto, vem contribuindo na elevada incidência desta lesão (Ferrer et al., 2000).

A tendinopatia do tendão do calcâneo é particularmente frequente em atletas, em função do desequilíbrio entre a força muscular e a elasticidade do tendão (Baker, 1984). Exercícios físicos inadequados, com carga excessiva, ou elevação abrupta da intensidade (Renstrom & Johnson, 1985), bem como aquecimento inadequado, prévio ao treinamento, e competição (Benazzo et al., 1996), são fatores que contribuem consideravelmente para o desenvolvimento da lesão do tendão do calcâneo (Maffulli et al., 1999).

Mais freqüente em adultos do sexo masculino, acima dos 30 anos de idade (Nillius et al., 1976; Cretnik et al., 2000), pode ter origem degenerativa ou traumática.

Alteração vascular e consequente redução do fluxo sanguíneo para o tendão, por envelhecimento ou trauma, são condições primárias que podem resultar em degeneração (Hattrup & Johnson, 1985). No processo degenerativo, microtraumas repetitivos em área hipovascular poderiam contribuir para a lesão e a falência do mecanismo inibitório da unidade músculo-tendínea (Puddu et al., 1976; Schepsis & Leach, 1987). Modificações na estrutura do colágeno resultam no aumento da rigidez e perda da elasticidade predispondo à lesão tendinosa (Tuite et al., 1997).

A ruptura do tendão pode também ser consequência de trauma. Os mecanismos podem envolver flexão plantar do tornozelo com joelho estendido, como ocorre no início de uma corrida, flexão dorsal súbita do tornozelo e flexão dorsal após flexão plantar (Arner & Lindholm, 1959). Uso de anabolizantes (Laseter & Russell, 1991) e fatores genéticos (Olivieri et al., 1987; Jozsa et al., 1989; Leadbetter, 1992) estão também associados à incidência da lesão do tendão do calcâneo.

A lesão é caracterizada pela perda total ou parcial da continuidade do tendão, e consequente perda de função, alteração da marcha e dor (Khan et al., 1998). Embora as alterações clínicas tenham características típicas, o diagnóstico muitas vezes pode ser dificultado pela demora na procura de serviço médico.

Além do período de tempo entre o início da lesão até o diagnóstico, outros fatores são decisivos na determinação do tipo de tratamento, principalmente, o montante de lesão de tecidos adjacentes, e o montante de desvitalização dos tecidos, que além de tornarem mais difíceis os procedimentos de cobertura, também podem alterar a vitalidade do tendão e o processo de reparação.

O tratamento da lesão do tendão do calcâneo foi inicialmente descrito por Ambroise Paré, em 1575 (Arner & Lindholm, 1959). Entretanto, embora atualmente exista consenso que a lesão calcânea deva ser tratada de forma individualizada, levando-se em conta a idade, o nível de atividade esportiva e a mensuração da distância entre os cotos tendinosos, existem inúmeras controvérsias relativas ao tratamento ideal (Jacobs et al., 1978; Nistor, 1981; Lo et al., 1997; Boyden et al., 1995; Buchgraber & Passier, 1997; Ferrer et al., 2000; Moller et al., 2001; Costa & Hungria Neto, 2007).

O tratamento conservador foi inicialmente proposto por Lea e Smith (1968), e consiste de imobilização gessada em flexão plantar do pé. Embora este tratamento apresente menor taxa de complicações em relação às partes moles vizinhas (Buchgraber & Passier, 1997), requer longo período de imobilização, e leva a fraqueza e atrofia muscular (Leppilahti & Orava, 1998). O tratamento conservador também pode trazer alongamento do tendão, redução do funcionamento da unidade músculo-tendinosa, com consequentes anormalidades da marcha, além de elevado risco de nova ruptura (Cetti et al., 1993; Moller et al., 2001; Wong et al., 2002; Pajala et al., 2002; Rettig et al., 2005; Costa & Hungria Neto, 2007).

A partir de 1920, o tratamento cirúrgico difundiu-se após o trabalho de Lindholm em 1959, que preconizava a utilização de duas tiras do tendão do M. tríceps sural (fáscia miotendinosa do M. gastrocnêmio), para reforço tendinoso.

Embora o tratamento cirúrgico não seja isento de complicações (Ma et al., 1977), inúmeras vantagens tem sido relacionadas à este tratamento, como retorno mais precoce às atividades esportivas, menor grau de atrofia da panturrilha e melhor mobilidade do tornozelo (Giordano et al., 2004; Uchiyama et al., 2007).

Diferentes técnicas cirúrgicas tem sido utilizadas para a reconstrução do tendão do calcâneo (Ma et al., 1977; Wei et al., 1988; Lo et al., 1997; Maffuli et al., 1999). Apesar da utilização de materiais sintéticos, ou estruturas não regionais, como a lâmina do M. tensor da fascia lata terem sido descritos, as técnicas mais aceitas são aquelas que utilizam tecido regional (Vasconcelos et al., 1999). Lynn (1966) utilizou o tendão do M. plantar delgado. Teuffer (1974) usou o tendão do M. fibular curto, técnica defendida por vários autores (Nery et al., 1977; Turco & Spinella, 1987; Toledo, 1994). Mann et al (1991) utilizou o tendão do M. flexor longo dos dedos que transferido para o coto distal, simularia mais apropriadamente o desempenho anatômico do tendão original.

Entretanto, apesar do grande número de estudos sobre o tema, ainda não há consenso sobre a técnica cirúrgica ideal para a reconstrução tardia, após 4 semanas, do tendão do calcâneo.

Como o resultado final da técnica cirúrgica está associado à recuperação funcional, o uso de modelos experimentais pode contribuir consideravelmente para a prospecção e entendimento de alternativas que permitam a reconstrução tendinosa, desde que tornem possível a adequada comparação com controles (Sfolveborn & Moberg, 1994; Stehno-Bittel et al., 1998).

Estudos experimentais têm sido freqüentemente utilizados para a avaliação clínica e biomecânica da recuperação de tendões (Zajac, 1989; Hagberg & Gerdin, 1992; Pneumaticos et al., 1999; Strickland, 2000; Hugate et al., 2004). Entretanto, ainda não foi descrito modelo experimental adequado para análise da reconstrução tardia do tendão do calcâneo.

Apesar da importância do tratamento da lesão do tendão do calcâneo na prática ortopédica, poucos estudos têm sido realizados para avaliar a eficiência do reparo do tendão do calcâneo associada a enxerto com o tendão do M. gastrocnêmio (Valente et al., 2005), não existindo modelo

experimental validado para avaliar o processo de reparação no tratamento cirúrgico de lesão tardia por parâmetros mecânicos.

No presente trabalho foi desenvolvido modelo animal que permitisse avaliação do desempenho mecânico da reconstrução do tendão do calcâneo com retalho único da fáscia miotendinosa do M. gastrocnêmio.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho* foi estudar o processo de reparação da reconstrução do tendão do calcâneo com retalho da fásia miotendinosa do M. gastrocnêmio por meio de parâmetros mecânicos, em modelo experimental em coelhos.

* Na elaboração deste trabalho foram observadas as seguintes condições:

1 – Os termos anatômicos humanos estão em conformidade com: Sociedade Brasileira de Anatomia. Terminologia Anatômica. São Paulo: Manole, 2001.

2 – Projeto aprovado em 27 de setembro de 2006 pela Comissão de Ética em Experimentação Animal da Faculdade de Medicina de Botucatu – UNESP, protocolo número 558.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Protocolo Experimental

O protocolo experimental desse estudo foi conduzido em conformidade com os princípios éticos na experimentação animal seguido pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal da Faculdade de Medicina de Botucatu – UNESP.

3.2 Estudo Piloto

Foram utilizados sessenta (60) coelhos machos adultos da raça New Zeland, com peso entre 1800g a 4000g nos quais foram padronizados os cuidados e analisadas as dificuldades com a técnica cirúrgica, imobilização, cuidados pós-operatórios imediatos, reabilitação, além do ensaio mecânico. A partir deste estudo foi desenvolvido o delineamento definitivo.

3.3 Animais de Experimentação

Foram utilizados vinte e quatro (24) coelhos machos adultos da raça New Zeland, de peso médio 3382g. Os animais foram fornecidos pelo Biotério Central da UNESP, Campus de Botucatu e transferidos para o biotério de manutenção do Laboratório de Técnica Cirúrgica e Experimentação Animal “Willian Saad Hossne”, do Departamento de Cirurgia e Ortopedia da Faculdade de Medicina de Botucatu - UNESP, onde permaneceram durante todo o período experimental.

Os animais foram mantidos em gaiolas individuais, recebendo dieta padrão e água *ad libitum*. Para permitir a aclimação dos animais, os coelhos permaneceram nas condições acima citadas por período de 15 dias antes do início do experimento. Diariamente as gaiolas eram limpas.

3.4 Grupos Experimentais

Os animais foram divididos por meio de sorteio em 3 grupos de 8 animais, e mantidos em gaiolas individuais e identificados individualmente. Todos os animais foram submetidos à reconstrução cirúrgica do tendão do calcâneo, que foi realizada no membro caudal direito, e, portanto, com controle pareado do membro caudal esquerdo, não operado. A análise mecânica foi realizada em todos os animais.

O estudo foi realizado com três tempos de evolução pós-operatória, como demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 – Grupos (T): tempo de imobilização, tempo de seguimento pós-operatório, número de animais.

Grupo	Imobilização (semanas)	Seguimento (semanas)	Número de animais
T0	0	0	8
T1	4	4	8
T2	4	18	8

Grupo T0: sacrifício do animal e coleta do material logo após a realização da cirurgia.

Grupo T1: sacrifício do animal e coleta do material 4 (quatro) semanas após a realização da cirurgia.

Grupo T2: sacrifício do animal e coleta do material 18 (dezoito) semanas após a realização da cirurgia.

3.5 Atributos Estudados

3.5.1 Evolução

Todos os animais foram avaliados diariamente no período da tarde para verificação de curativo e imobilização. A evolução clínica considerou o comportamento dos animais, marcha e eventuais complicações da ferida cirúrgica.

3.5.2 Propriedades mecânicas

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

3.6 Técnica Cirúrgica

A cirurgia foi realizada sob anestesia (combinação de ketamina, 50mg/kg e xylazina, 1mg/kg) com o animal em decúbito ventral.

A técnica cirúrgica obedeceu os seguintes passos:

1. Tricotomia do membro caudal direito;
2. Assepsia e delimitação campo cirúrgico;
3. Incisão posterior ligeiramente lateral ao tendão;
4. Isolamento do tendão do calcâneo;
5. Delimitação de 1 cm do tendão, há 1,5 cm da inserção do tendão no osso calcâneo (Figuras 1 e 2);
6. Separada tira da fáscia miotendinosa do M. gastrocnêmio, de 5 mm de largura, com base íntegra distalmente (Figura 3);
7. Rebatido retalho distalmente sobre o tendão;
8. Suturada do retalho com pontos simples, sendo 4 pontos no coto distal e 2 no coto proximal, com nylon 4-0 (Figura 4);
9. Ressecção de 1 cm do tendão previamente delimitado (Figura 5);
10. Reparo da área doadora do retalho;
11. Sutura da pele;
12. Curativo (Figura 6);
13. Imobilização do membro com órtese plástica (Figura 7);

A imobilização com órtese plástica sem incluir o joelho, com 30 graus de flexão plantar, foi mantida por quatro semanas. Após este período era permitida livre deambulação na gaiola.

3.7 Ilustrações



Figura 1 - Isolado o tendão e demarcado 1,5 cm de sua inserção.



Figura 2 - Marcação do segmento de 1 cm para ressecção.



Figura 3 - Retalho da fascia miotendinosa do M. gastrocnêmio.



Figura 4 - Reparo do retalho.



Figura 5 - Ressecção de 1 cm do tendão simulando lesão tardia.



Figura 6 - Curativo e imobilização após sutura de pele.



Figura 7 - Aspecto final da imobilização.

3.8 Obtenção das Amostras

A eutanásia foi feita com dose letal de pentobarbital sódico. A seguir foram removidos os tendões operados e controles junto com a musculatura adjacente. As peças anatômicas foram identificadas, e retirado o excesso de ar, acondicionadas em sacos plásticos individuais e armazenadas em congelador de uso doméstico à -20° C pelo período de 7 dias. No dia do ensaio mecânico, as peças foram descongeladas à temperatura ambiente e, com instrumental cirúrgico isolado o tendão. Durante a descongelação foram mantidos em compressas umedecidas com solução salina a 0,9%.

3.9 Técnica do ensaio mecânico

Os tendões foram fixados em garras metálicas sinusoidais, de alumínio, comprimidas entre si por parafusos com distância de 10mm com a região do retalho, nos tendões operados, entre as garras e com o corpo tendinoso do tendão do calcâneo à 15 mm da inserção no osso calcâneo, nos tendões não operados; as garras foram montadas axialmente em máquina universal de ensaio mecânico* com célula de carga de 1000N e velocidade de aplicação de 30 mm/min (Figura 8); a área de secção do tendão foi obtida pela aplicação de fórmula que integrou os valores dos diâmetros maior e menor do formato elíptico dos tendões. Após o ensaio de tração com temperatura controlada e estável (Yoshida et al., 1995; Muller et al., 2004; Curcelli et al., 2005), o programa forneceu os valores da Deformação, Carga Máxima, Tensão na Carga Máxima, Módulo de Elasticidade, Energia na Carga Máxima e Energia por Área, além do diagrama carga-deformação.

* EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaio LTDA, Curitiba, DL 10000.

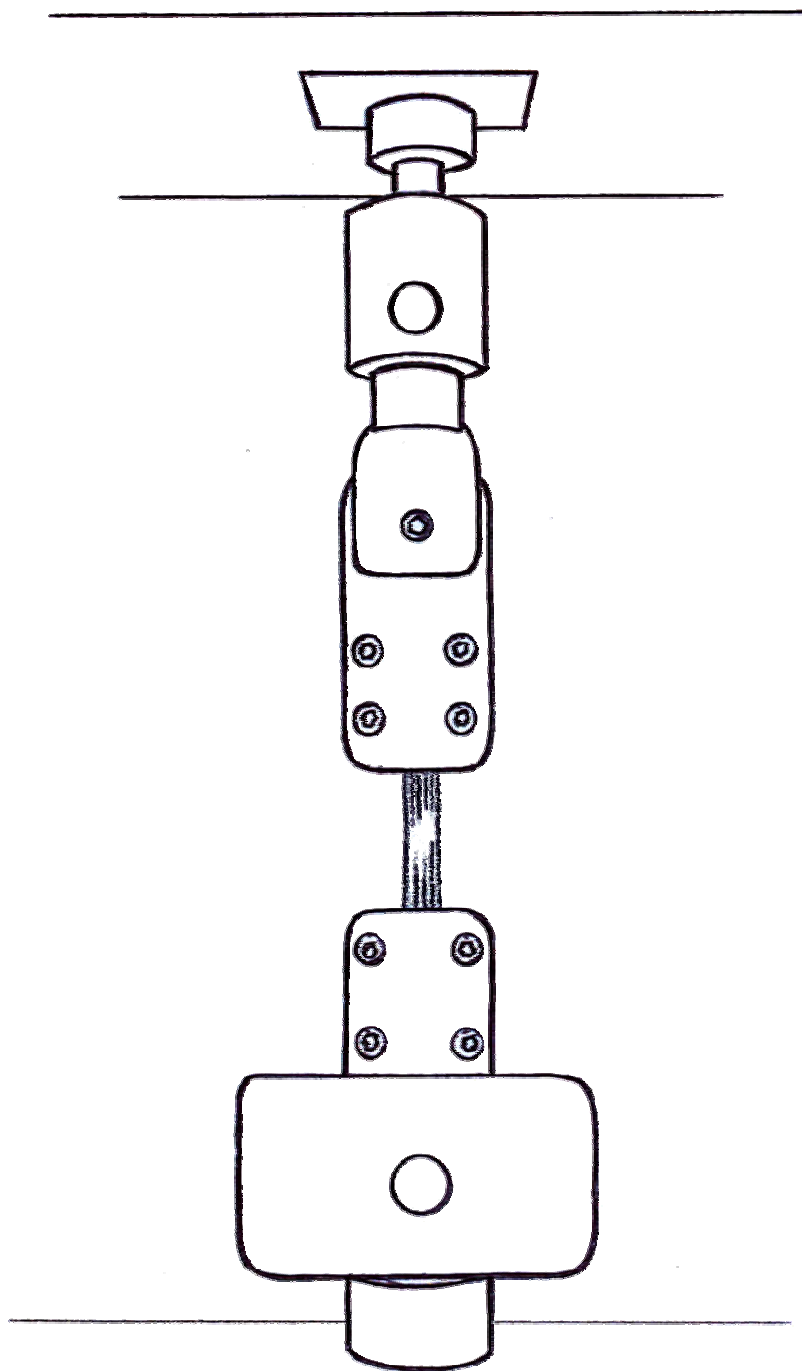


Figura 8 - Corpo de prova fixado nas garras e montado axialmente para o ensaio.

3.10 Análise Estatística

Os resultados da deformação e do peso foram analisados pela Técnica de análise de variância para modelo de medidas com dois fatores, complementada com o testes de comparações entre pares de médias (ZAR, 1999). Os demais resultados foram estudados pela Técnica de análise de variância dos postos (não paramétrica) para o modelo de medidas repetidas com dois fatores, complementada com o teste de comparação entre os postos médios (ZAR, 1999). Todas as conclusões estatísticas foram discutidas no nível de 5% de significância (Norman & Streiner, 1994).

4 RESULTADOS

4.1 Evolução Clínica e Marcha

A marcha foi observada colocando-se os animais em superfície plana notando-se que, após dezoito semanas, os animais claudicavam com apoio parcial do membro operado.

A tabela 2 apresenta a média e o desvio padrão do peso dos animais.

4.2 Propriedades Mecânicas

As tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 apresentam os resultados obtidos para cada propriedade mecânica.

Duas letras maiúsculas iguais representam semelhança entre o lado operado e controle fixado o grupo, no resultado das propriedades mecânicas.

Duas letras maiúsculas iguais representam semelhança entre o peso inicial e final, fixado o grupo.

Duas letras minúsculas iguais representam semelhança nos diferentes grupos, fixado o lado operado ou controle.

As figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20 ilustram os resultados obtidos para cada propriedade mecânica.

Tabela 2 – Peso médio e desvio padrão e o efeito do tempo, inicial e final nos diferentes grupos.

	T0	T1 (4sem)	T2 (18 sem)
Inicial	3578 $\pm$ 290 bA	2864 $\pm$ 200 aA	3704 $\pm$ 343 bA
Final	3578 $\pm$ 290 bA	3006 $\pm$ 230 aA	3979 $\pm$ 280 cB
Efeito do tempo		T0: inicial $\cong$ final T1: inicial $\cong$ final T2: inicial < final	

Tabela 3 – Medidas descritivas (média e desvio padrão) da Deformação (mm), segundo o lado (operado e controle) e segundo o tempo de experimentação nos diferentes grupos.

	T0	T1 (4sem)	T2 (18 sem)
Operado	$7,3 \pm 1,9$ aB	$5,4 \pm 1,7$ aA	$6,3 \pm 1,0$ aA
Controle	$5,6 \pm 1,9$ abA	$7,0 \pm 1,6$ bA	$4,8 \pm 1,8$ aA
Efeito do tratamento	T0: Controle < Operado T1: Controle $\cong$ Operado T2: Controle $\cong$ Operado		
Efeito do tempo	Operado: T0 $\cong$ T1 $\cong$ T2 Controle: T0 $\cong$ T1 > T2		T0 $\cong$ T2

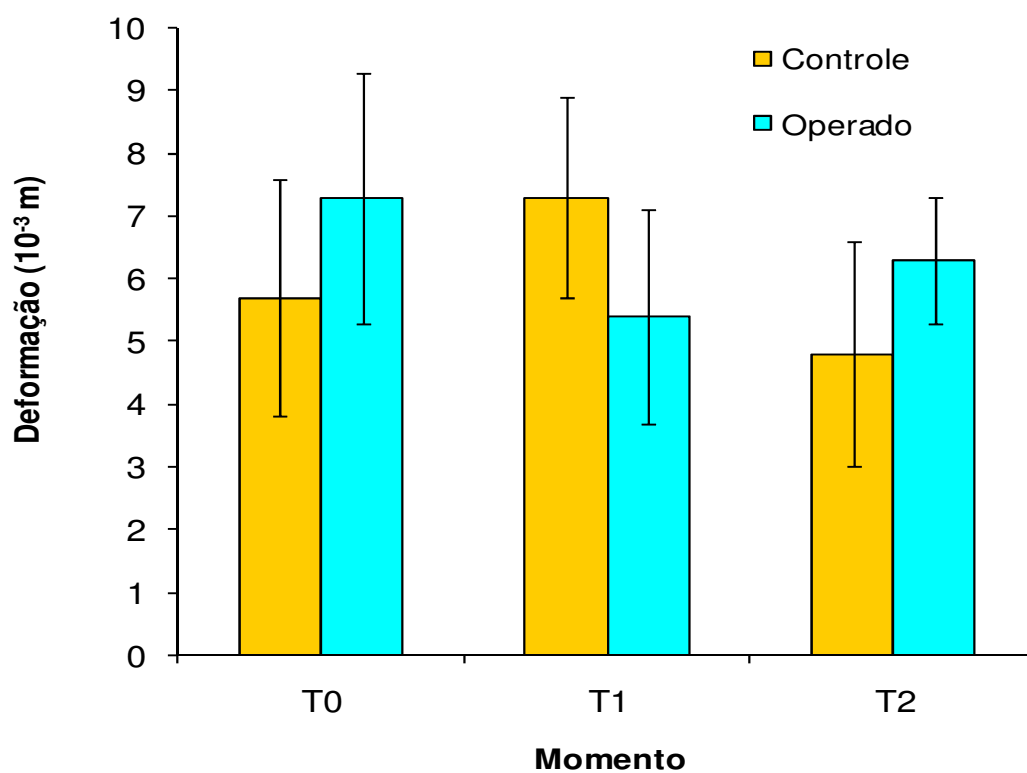


Figura 9 – Mediana da Deformação (mm), lados controle e operado, nos diferentes grupos

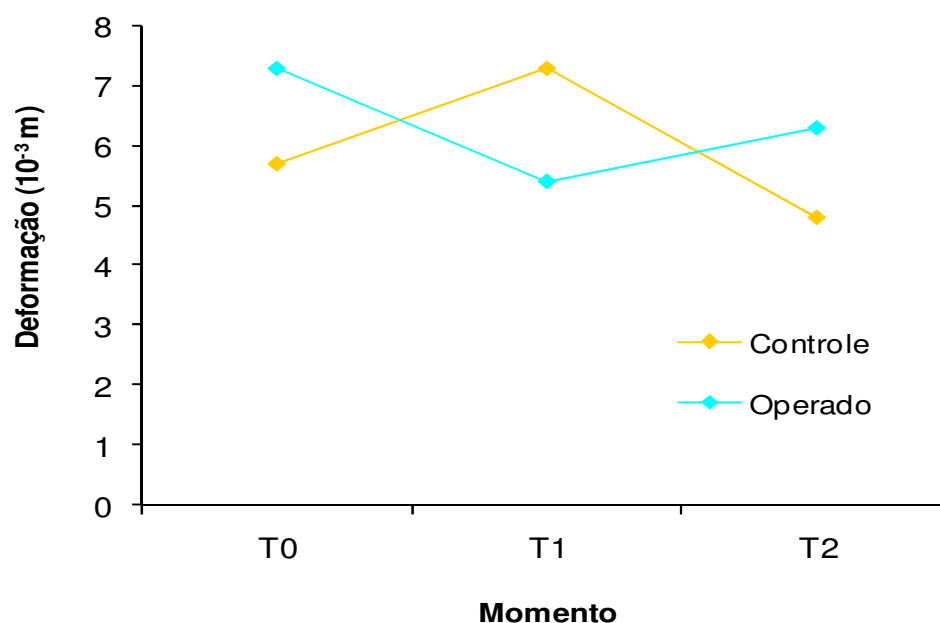


Figura 10 – Média e desvio padrão da Deformação (mm), lados controle e operado no decorrer do tempo, nos diferentes grupos.

Tabela 4 – Medidas descritivas (mediana, valor mínimo e máximo) da Carga Máxima (N), segundo o lado (operado e controle) e segundo o tempo de experimentação nos diferentes grupos.

	T0	T1 (4sem)	T2 (18 sem)
Operado	11 (7-18)aA	116(62-146)bA	223 (135 - 432)bA
Controle	271(247-388)aB	345(240-393)aB	444 (194 - 656)aB
Efeito do tratamento	T0: Controle > Operado T1: Controle > Operado T2: Controle > Operado		
Efeito do tempo	Operado: T0 < T1 $\cong$ T2 T0 < T2 Controle: T0 $\cong$ T1 $\cong$ T2		

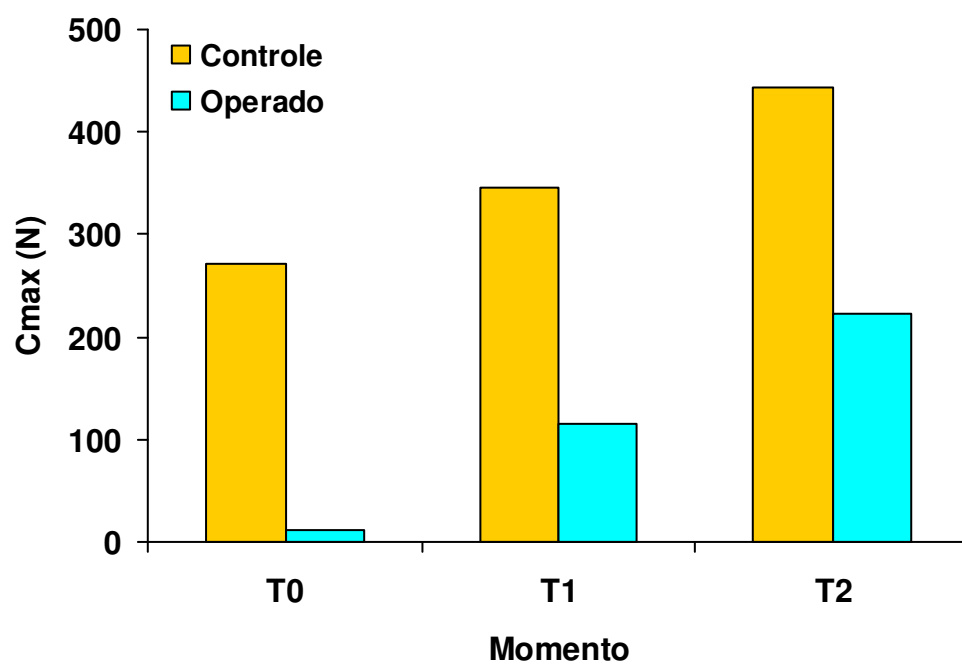


Figura 11 – Mediana da Carga Máxima (N), lados controle e operado, nos diferentes grupos.

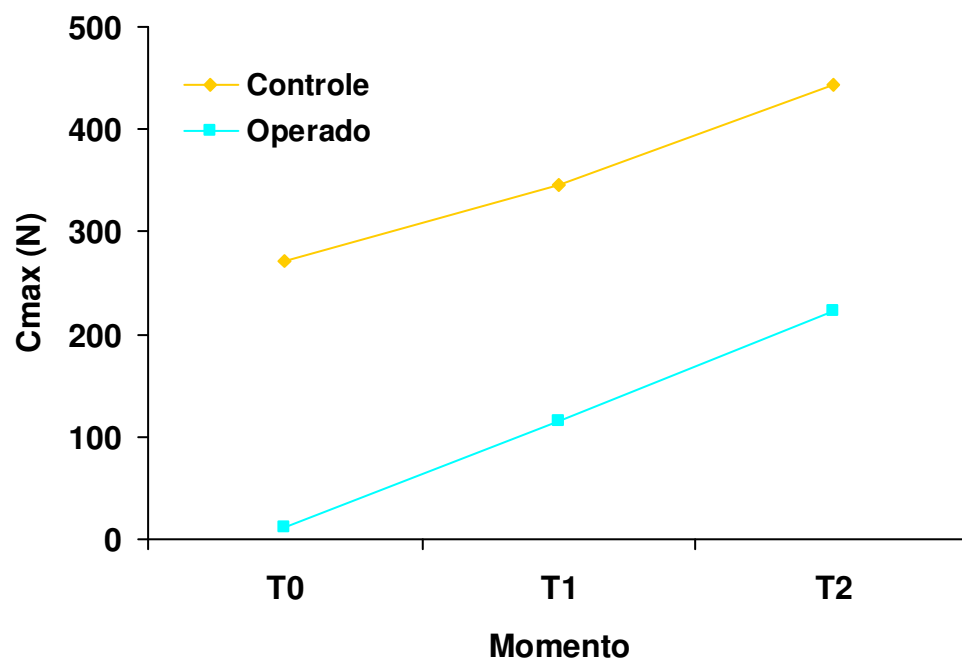


Figura 12 – Mediana da Carga Máxima (N), lados controle e operado no decorrer do tempo, nos diferentes grupos.

Tabela 5 – Medidas descritivas (mediana, valor mínimo e máximo) da Tensão (MPa), segundo o lado (operado e controle) e segundo o tempo de experimentação nos diferentes grupos.

	T0	T1 (4sem)	T2 (18 sem)
Operado	9(4-22)aA	15(6-40)aA	48(23-76)bA
Controle	41(33-52)abB	31(19-51)aA	57(32-69)bA
Efeito do tratamento	T0: Controle > Operado T1: Controle $\cong$ Operado T2: Controle $\cong$ Operado		
Efeito do tempo	Operado: T0 $\cong$ T1 < T2 Controle: T0 $\cong$ T1 < T2 T0 $\cong$ T2		

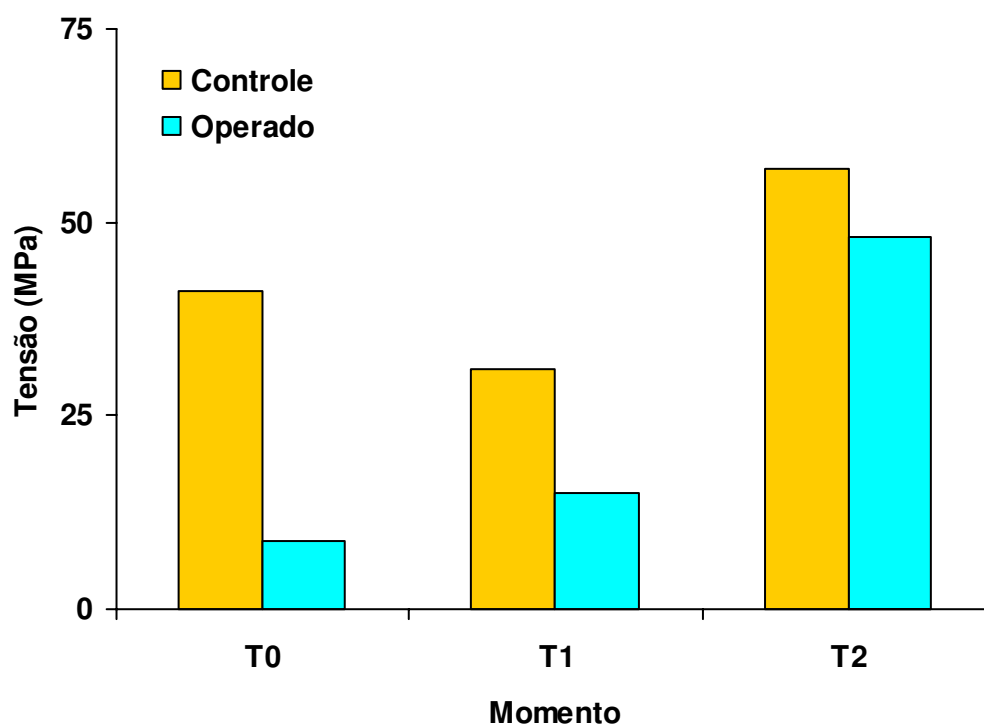


Figura 13 – Mediana da Tensão (MPa), lados controle e operado, nos diferentes grupos.

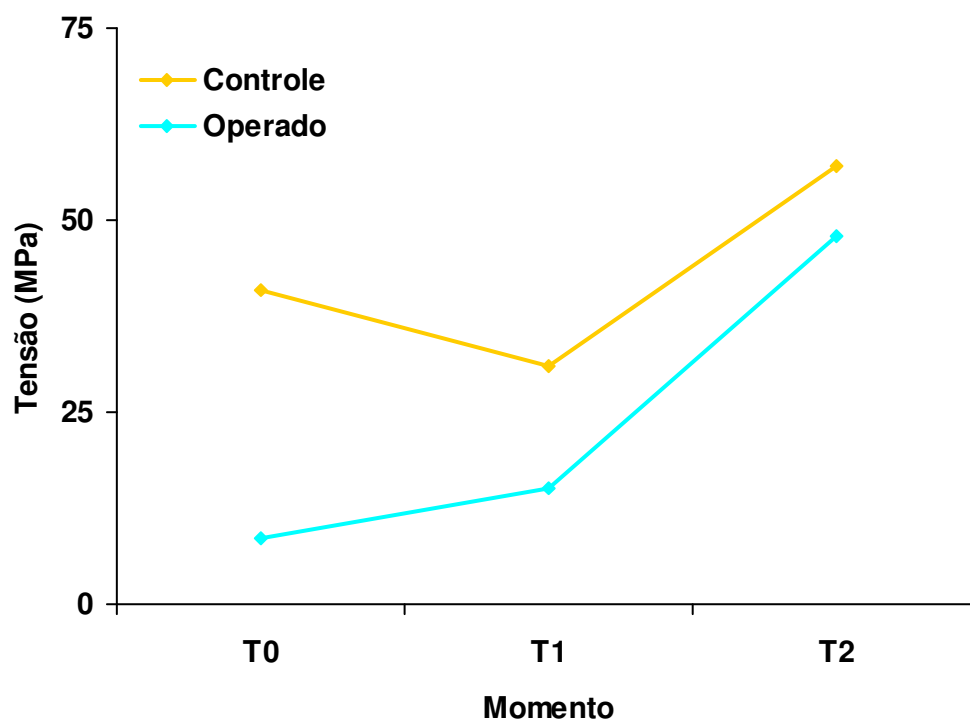


Figura 14 – Mediana da Tensão (MPa), lados controle e operado no decorrer do tempo, nos diferentes grupos.

Tabela 6 – Medidas descritivas (mediana, valor mínimo e máximo) do Módulo de Elasticidade (MPa), segundo o lado (operado e controle) e segundo o tempo de experimentação nos diferentes grupos.

	T0	T1 (4sem)	T2 (18 sem)
Operado	33(15-48)aA	42(14-129)aA	126(35-274)bA
Controle	152(116-339)bB	73(32-132)aA	201(120-328)bB
Efeito do tratamento	T0: Controle > Operado T1: Controle $\cong$ Operado T2: Controle > Operado		
Efeito do tempo	Operado: T0 $\cong$ T1 < T2 Controle: T0 > T1 < T2		

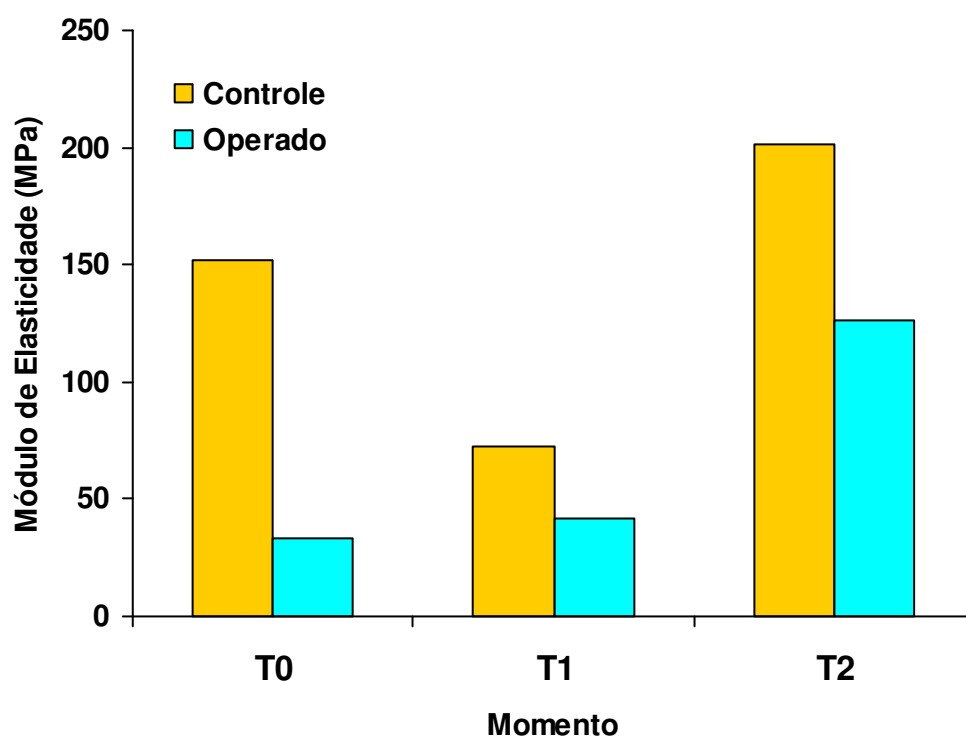


Figura 15 – Mediana do Módulo de Elasticidade (MPa), lados controle e operado, nos diferentes grupos.

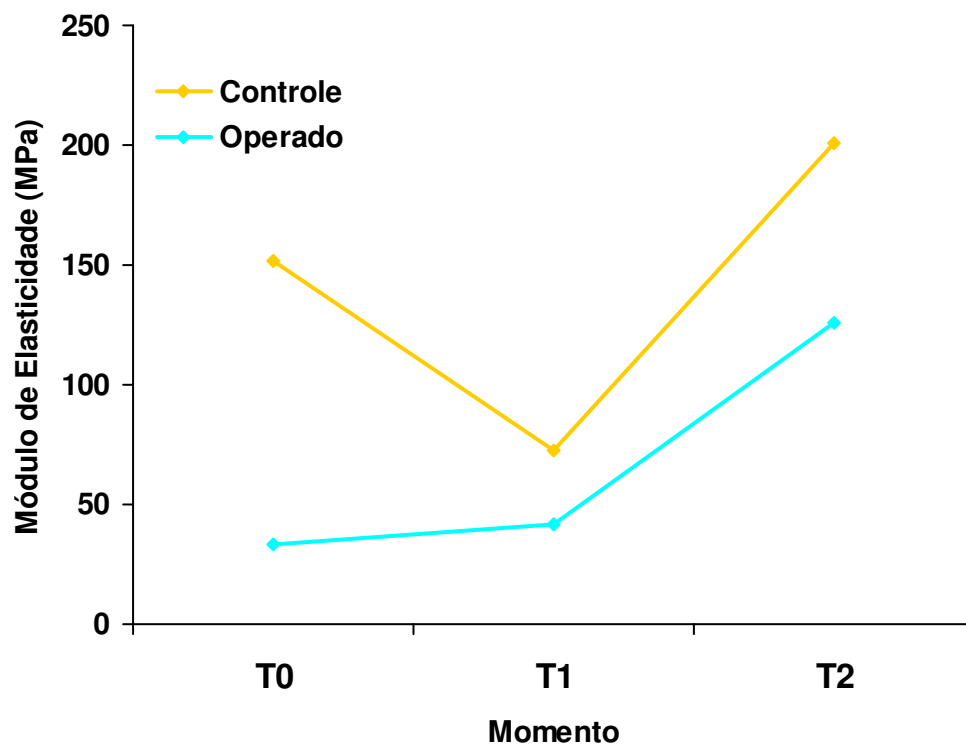


Figura 16 – Mediana do Módulo de Elasticidade (MPa), lados controle e operado no decorrer do tempo, nos diferentes grupos.

Tabela 7 – Medidas descritivas (mediana, valor mínimo e máximo) da Energia na Força Máxima ($N \cdot 10^{-3}m$), segundo o lado (operado e controle) e segundo o tempo de experimentação nos diferentes grupos.

	T0	T1 (4sem)	T2 (18 sem)
Operado	42(21-92)aA	257(115-418)abA	654(479-1386)bA
Controle	769(477-1215)aB	1058(787-1427)aB	1144(230-1549)aA
Efeito do tratamento	T0: Controle > Operado T1: Controle > Operado T2: Controle $\cong$ Operado		
Efeito do tempo	Operado: T0 $\cong$ T1 $\cong$ T2 T0 < T2 Controle: T0 $\cong$ T1 $\cong$ T2		

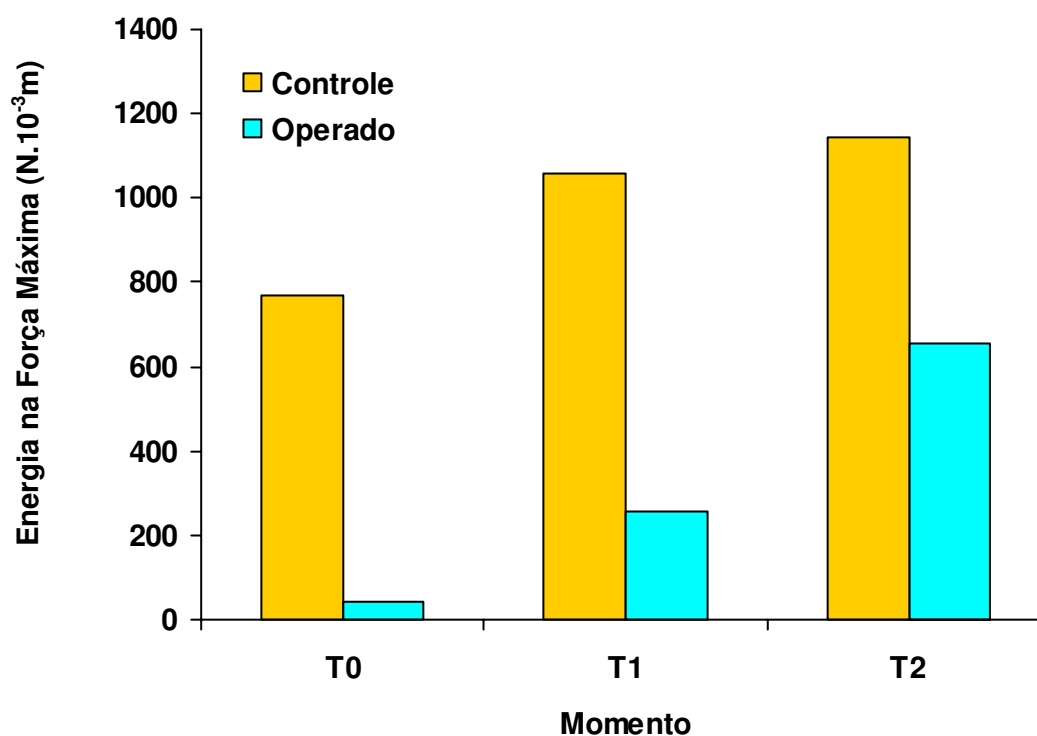


Figura 17 – Mediana da Energia na Força Máxima ($N \cdot 10^{-3}m$), lados controle e operado, nos diferentes grupos.

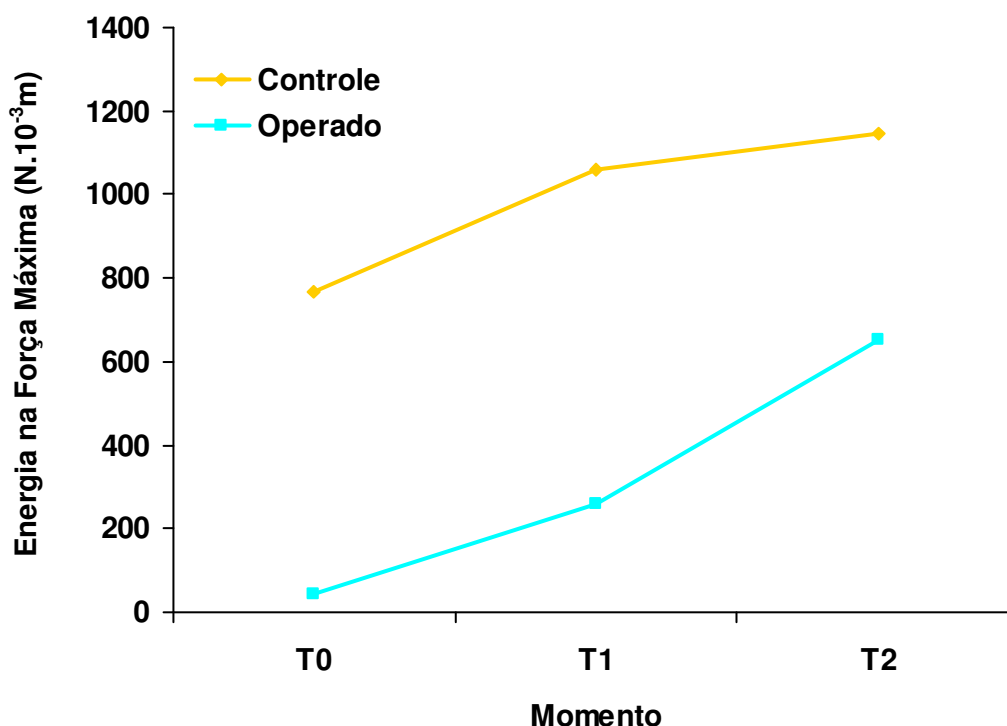


Figura 18 – Mediana da Energia na Força Máxima ($N \cdot 10^{-3}m$), lados controle e operado no decorrer do tempo, nos diferentes grupos.

Tabela 8 – Medidas descritivas (mediana, valor mínimo e máximo) da Energia por Área ($N \cdot 10^{-3}m/10^{-3}m$), segundo o lado (operado e controle) e segundo o tempo de experimentação nos diferentes grupos.

	T0	T1 (4sem)	T2 (18 sem)
Operado	27(15-146)aA	28(14-141)aA	160(73-231)bA
Controle	112(69-213)aB	100(70-144)aB	151(38-269)aA
Efeito do tratamento	T0: Controle > Operado T1: Controle > Operado T2: Controle $\cong$ Operado		
Efeito do tempo	Operado: T0 $\cong$ T1 < T2 Controle: T0 $\cong$ T1 $\cong$ T2		

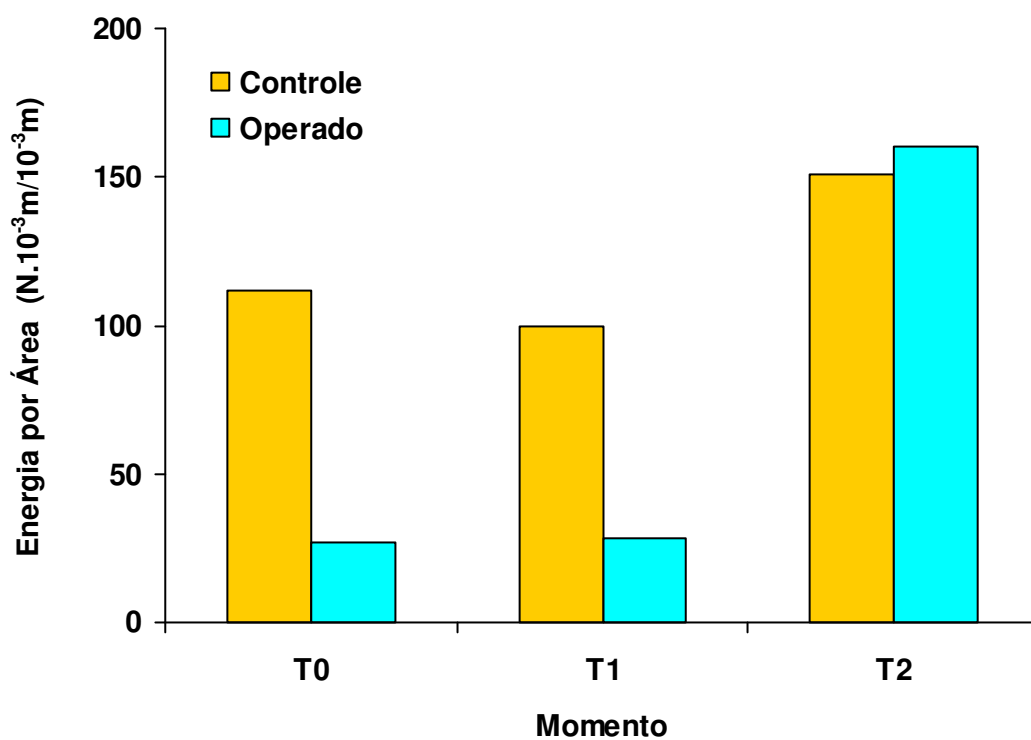


Figura 19 – Mediana da Energia por Área (N.10⁻³m/10⁻³m), lados controle e operado, nos diferentes grupos.

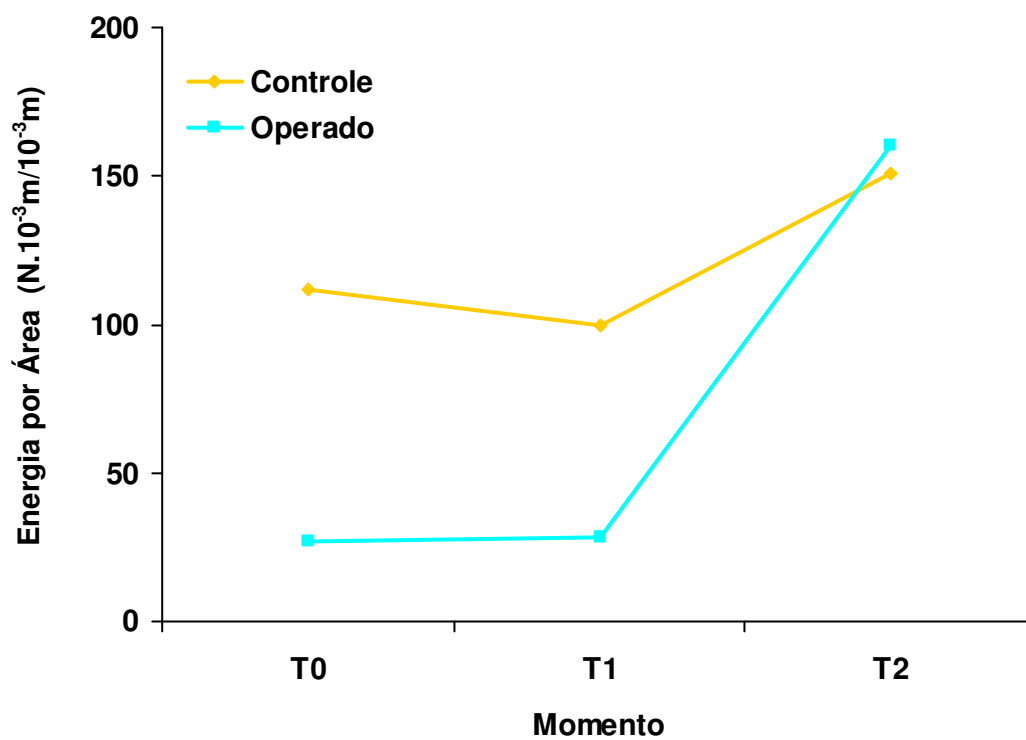


Figura 20 – Mediana da Energia por Área (N.10⁻³m/10⁻³m), lados controle e operado no decorrer do tempo, nos diferentes grupos.

5 DISCUSSÃO

5.1 Evolução

No presente estudo, a avaliação da reconstrução cirúrgica do tendão do calcâneo no membro caudal direito foi realizada por meio da comparação com o membro caudal esquerdo, não operado, como controle pareado, o que permitiu analisar de forma comparativa a resposta mecânica em diferentes momentos após a cirurgia.

Na Tabela 2 pode-se observar que houve significativo ganho de peso corporal pelos animais, após dezoito semanas da realização da cirurgia de reconstrução do tendão do calcâneo. O grupo T1 apresentou menor peso inicial que os dois outros grupos.

5.2 Parâmetros mecânicos

5.2.1 Deformação

A deformação é caracterizada como o alongamento do corpo de prova, ou seja, a diferença entre o comprimento entre marcas num dado instante do ensaio e o comprimento inicial. Pode ser considerada representativa da qualidade e do arranjo anatômico da estrutura estudada, sendo que quanto maior o alongamento, maior a capacidade de absorção de energia cinética. Este parâmetro também permite analisar a estrutura como dúctil ou frágil, sendo que o corpo de prova que apresenta maior deformação antes da ruptura é dúctil, comparado a outro com menor valor, chamado frágil.

Houve elevação na deformação comparando-se os tendões operados aos respectivos controles imediatamente após a reconstrução tendinosa. Os alongamentos entre o lado operado e controle apresentaram razoável semelhança após dezoito semanas da cirurgia. Isto provavelmente indicaria, que houve produção de tecido suficiente para suprir a falha característica da lesão tardia do tendão do calcâneo, analisado isoladamente este parâmetro.

5.2.2 Carga Máxima

Definida como a maior carga suportada pelo corpo de prova tracionado até a ruptura, a Carga Máxima avaliaria principalmente a quantidade do tecido formado.

A análise estatística demonstrou que houve redução na carga máxima, imediatamente, após 4 e dezoito semanas da cirurgia. Houve, entretanto elevação na carga máxima no decorrer do tempo pós-operatório, como demonstrado pela diferença significativa entre o grupo T0 e T2.

Provavelmente o tempo de dezoito semanas foi insuficiente para que o retalho, de forma plana e com uma menor quantidade de tecido, formasse um novo tendão semelhante ao original, de forma elíptica, com maior quantidade de tecido, caso isto realmente venha a ocorrer durante o decorrer do tempo.

5.2.3 Tensão na Carga Máxima

A tensão na carga máxima, propriedade material caracterizada pelo quociente da carga máxima pela secção inicial do corpo de prova, mostrou-se reduzida imediatamente após a cirurgia, havendo, entretanto significativa elevação no decorrer do tempo pós-cirúrgico, que estatisticamente se assemelhou ao lado controle após dezoito semanas.

Como a tensão está diretamente relacionada com a carga máxima, que não se assemelhou ao controle com dezoito semanas, pode-se afirmar que houve variação na área do lado operado, que foi menor que o lado controle, para que o resultado da tensão fosse similar após dezoito semanas. Provavelmente a remodelação do tendão operado ainda não reproduziu a quantidade e arranjo de tecido do controle.

5.2.4 Módulo de elasticidade

Definido pelo quociente da tensão convencional pelo alongamento específico num ponto qualquer do trecho elástico do diagrama carga-deformação, também é propriedade relativa ao material.

Houve significativa redução no módulo de elasticidade imediatamente e após dezoito semanas de cirurgia, comparando-se os tendões operados com os respectivos controles. A análise dos tendões reconstruídos mostram que o módulo de elasticidade apresentou elevação significativa no decorrer do tempo pós-cirúrgico embora, após dezoito semanas, ainda tenha mostrado valores menores em relação ao tendão controle.

O Módulo de Elasticidade está relacionado ao alinhamento das fibras de colágeno que provavelmente ainda não se assemelharam ao tendão

original após dezoito semanas. No entanto, é possível observar que, após a retirada da imobilização do lado operado com 4 semanas, o estímulo mecânico com a movimentação e carga, provavelmente serviu como indutor da remodelação, e levou a elevação nos valores do Módulo de Elasticidade, com mediana variando de 42 para 126 MPa após 14 semanas.

O Módulo de Elasticidade integra a Tensão, Carga Máxima, Área de secção e Alongamento, assim, provavelmente é a propriedade mecânica que melhor demonstra o processo de reparação e a capacidade funcional dos tendões. Como os valores encontrados após dezoito semanas entre o lado controle e o operado não se assemelharam, seria indicativo de que o processo de reparação não foi concluído neste período de tempo.

5.2.5 Energia na Carga Máxima

A Energia na Carga Máxima demonstra a capacidade do corpo de prova de absorver impacto. Destaque-se que o presente estudo foi desenvolvido em máquina eletromecânica, com velocidade de tração de 30mm por minuto. Uma velocidade considerada média e factível de ser realizada com o equipamento previamente citado. Assim, os resultados deste estudo mecânico são específicos para o método utilizado.

A energia na carga máxima reduziu-se imediatamente e após quatro semanas da cirurgia, em comparação com os respectivos controles. Houve, entretanto elevação da energia na carga máxima no decorrer do tempo pós-operatório, comparando-se os animais operados.

Entre T1 e T2, embora os valores absolutos sejam diferentes, em razão da variação da amostra, a diferença foi pouco significativa. Após dezoito semanas de cirurgia houve semelhança entre tendões operados e controles, embora os valores das medianas sejam diferentes, em decorrência da grande variação da amostra. Isto provavelmente indicaria, que a capacidade de absorver impacto após dezoito semanas foi novamente estabelecida.

5.2.6 Energia por área

O valor da Energia por área, caracterizada pelo quociente da energia na carga máxima pela secção inicial do corpo de prova, reduziu imediatamente e após quatro semanas da cirurgia, em comparação com os respectivos

controles. Após dezoito semanas de cirurgia não foram observadas diferenças significantes entre tendões operados e controles.

Durante a evolução, nos diferentes momentos do estudo, é perceptível a elevação dos valores entre T1 e T2. O estímulo produzido pelo movimento e carga após a retirada da imobilização, provavelmente induziu a remodelação do corpo de prova, que se assemelhou ao original.

5.3 Considerações Finais

Atualmente, a reconstrução cirúrgica com utilização de enxertos constitui técnica assimilada e incorporada ao procedimento terapêutico ortopédico (Muller et al., 2004a). Entretanto, o sucesso da reconstrução tendinosa depende em grande parte, da seleção do tecido utilizado, realizada com base nas suas propriedades estruturais, características de fixação, biocompatibilidade, e reabilitação (Safran, 1995).

É fato conhecido que tendões apresentam capacidade de adaptação mecânica, ou seja, os tendões são capazes de responder a forças mecânicas por meio de alterações da estrutura, composição e propriedades mecânicas, processo denominado adaptação mecânica tecidual (Wang, 2006). Desde que alterações estruturais levam a modificações das propriedades mecânicas (Battaglia et al., 2003), a medida destes parâmetros permite evidenciar a capacidade de remodelação, revascularização e reintegração das reconstruções tendinosas (Zimmerman et al., 1994).

No presente trabalho foi avaliada a resposta mecânica da reconstrução do tendão do calcâneo com retalho único da fásia miotendinosa do M. gastrocnêmio, utilizando-se modelo experimental em coelhos, cujas propriedades morfológicas e mecânicas tem sido freqüentemente descritas na literatura (Kuschner et al., 1991; Nakagawa et al., 1996; Sato et al., 2000; Giordano et al., 2004).

Uma vez que a principal função dos tendões e ligamentos é transmitir carga tênsil, os estudos experimentais das propriedades mecânicas são realizados por meio de ensaios de tração (Reiff et al., 2007). Existem também controvérsias sobre o tempo de imobilização após a cirurgia (Enwemeka, 1992; Stehno-Bittel et al., 1998; Reddy et al., 1998; Pneumatics et al., 2000; Thermann et al., 2001). Neste trabalho a imobilização com órtese

plástica permaneceu por quatro semanas (Yasuda et al., 2000), seguida de deambulação livre na gaiola. Houve necessidade deste período de imobilização pela fragilidade inicial do retalho, como observado pelo teste de tração no Grupo T0.

Pneumáticos et al. ao avaliar vinte e quatro suturas do tendão do calcâneo em coelhos New Zeland imobilizados em 1 grupo por 4 dias e outro por quatorze dias, encontrou após 35 dias com teste de tração com 60mm por minuto deformação média de 12mm e 9mm respectivamente.

Kuschner et al. avaliou vinte e sete lesões do tendão do calcâneo em coelhos New Zeland divididos em 3 grupos, com 9 coelhos com lesão no corpo tendinoso, e encontrou após 4 semanas com teste de tração com 10mm por minuto carga máxima média de 35 Newtons.

Giordano et al. estudou 10 coelhos New Zeland e duas técnicas de sutura do tendão do calcâneo após tenotomia após 6 semanas do procedimento operatório sem imobilização. O teste foi realizado com 1 mm por minuto e foram registradas a carga máxima e a deformação. A carga máxima média foi de 52 N e 30 N, e a deformação média de 12,8 mm e 9,2 mm nos diferentes grupos.

No presente trabalho duas propriedades estruturais, deformação e energia, e duas propriedades materiais, tensão e energia por área, do lado operado se aproximaram, após dezoito semanas, ao lado controle. Estas propriedades podem estar mais relacionadas à qualidade do tecido formado.

A propriedade estrutural Carga Máxima, não se assemelhou ao original, sendo que provavelmente, a quantidade de tecido formado não foi suficiente para suprir a grande falha característica da lesão tardia reproduzida neste modelo experimental.

Apesar da evolução do módulo de elasticidade, principalmente após a retirada da imobilização com 4 semanas, quando o estímulo mecânico de movimentação e carga provavelmente auxiliou o processo de remodelação da macroarquitetura do tendão, após dezoito semanas o lado operado não se assemelhou ao original. Isto sugere que após os períodos de inflamação e reparação, o retalho com dezoito semanas, ainda encontrava-se na fase de remodelação da cicatrização tecidual. Talvez após período mais prolongado,

todos os parâmetros se equivalassem entre o lado operado e controle, se isto realmente acontecer no decorrer do tempo.

Como o Módulo de Elasticidade integra a Tensão, Carga Máxima, Área de secção e Alongamento, provavelmente é a propriedade mecânica que melhor demonstra o processo de reparação e a capacidade funcional dos tendões. Como os valores encontrados após dezoito semanas entre o lado controle e o operado não se assemelharam, seria indicativo de que o processo de remodelação não foi concluído neste período de tempo

Transferindo este achado para a prática clínica, talvez não seja recomendável liberar atividade física com carga intensa ao paciente após este procedimento cirúrgico com dezoito semanas de evolução, supondo-se que nem a quantidade de tecido (carga máxima) e nem a qualidade do retalho miotendinoso do M. gastrocnêmio (módulo de elasticidade), se equivalem ao tendão do calcâneo original na reconstrução tardia.

Os resultados encontrados com o método utilizado neste estudo levam a duas questões: Qual seria o tempo final para que o processo de remodelação se completasse? Será que o tecido formado após este procedimento algum dia se aproximará do original?

O modelo experimental desenvolvido proporcionou a avaliação da reconstrução do tendão do calcâneo simulando lesão tardia com eficiência. Destaque-se que além dos passos cirúrgicos, o correto delineamento, talvez com grupos com pesos iniciais mais similares, favoreçam o estudo de outras técnicas cirúrgicas com o mesmo modelo experimental.

6 CONCLUSÕES

No coelho e nas condições da presente investigação:

1. A reconstrução do tendão do calcâneo com retalho único da fascia miotendinosa do M. gastrocnêmio, apesar de apresentar tendência a se aproximar ao original, não se igualou ao grupo controle em todos os parâmetros mecânicos após dezoito semanas;

2. O tempo final do experimento (dezoito semanas) provavelmente não foi suficiente para evidenciar o término do processo de remodelação do tecido;

3. O modelo experimental desenvolvido em coelhos foi adequado para a realização da reconstrução do tendão do calcâneo com retalho único da fascia miotendinosa do M. gastrocnêmio, simulando uma lesão tardia.

7 REFERÊNCIAS *

Arner O, Lindholm A. Subcutaneous rupture of the Achilles tendon, a study of 92 cases. *Acta Chir Scand Suppl.* 1959;116:1-51.

Baker BE. Current concepts in the diagnosis and treatment of musculotendinous injuries. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16:323-7.

Battaglia TC, Clark RT, Chhabra A, Gaschen V, Hunziker EB, Mikie B. Ultrastructural determinants of murine Achilles tendon strength during healing. *Connective Tissue Res.* 2003; 44:218-24.

Benazzo F, Stennardo G, Valli M. Achilles and patellar tendinopathies in athletes: pathogenesis and surgical treatment. *Bull Hosp Joint Dis.* 1996;54:236-40.

Boyden EM, Kitaoka HB, Cahalan TD. Late versus early repair of Achilles tendon rupture. Clinical and biomechanical evaluation. *Clin Orthop Relat Res.* 1995;317:150-8.

Buchgraber A, Passier H. Percutaneous repair of Achilles tendon rupture. Immobilization versus functional postoperative treatment. *Clin Orthop.* 1997; 341:113-22.

Cetti R, Christensen SE, Ejsted R, Jensen NM, Jorgensen U. Operative versus non-surgical treatment of Achilles tendon rupture. *Am J Sport Med.* 1993;21:791-9.

* International Committee of Medical Journal Editors. Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journal: sample references.[homepage on the Internet]. Bethesda: U.S. National Library of Medicine; 2003[last updated 2003 July 09; cited 2005 Jun 01]. Available from:http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html
National Library of Medicine. List of journals indexed in Index Medicus. Washington, 2003. 240p.

Costa MT, Hungria Neto S. Comparative study of conservative and surgical methods for the treatment of acute calcaneus tendon injuries. *Acta Ortop Bras.* 2007;15:50-4.

Cretnik A, Zlajpah L, Smrkolj V, Kosanovic M. The strength of percutaneous methods of repair of the Achilles tendon: a biomechanical study. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:16-20.

Curcelli EC, Muller SS, Ueda AK, Padovan CR, Maffei FHA, Hossne WS. Efeito da heparina sódica e da enoxaparina na consolidação de fratura da tíbia no rato: avaliação clínica e anatomopatológica e biomecânica. *Acta Ortop Bras.* 2005;13:13-6.

Enwemeka CS. Functional loading augments the initial tensile strength and energy absorption capacity of regenerating rabbit Achilles tendons. *Am J Physical Med Rehabil.* 1992;71:31-8.

Ferrer MA, Ferrer LA, Filgueira EG, Delazzari RFL, Alencar Júnior EA, Martins FAJ. Lesão do tendão de Aquiles: tratamento conservador. *Rev Bras Ortop.* 2000;35:290-94.

Giordano V, Pallottino AD, Almeida RN, Giordano M, Amaral NP, Apfel MI, et al. Estudo experimental comparativo de duas técnicas de sutura para reparo do tendão de Aquiles: análises bioquímica, histológica e mecânica. *Rev Bras Ortop.* 2004;39:590-600.

Hagberg L, Gerdin B. Sodium hyaluronate as an adjunct in adhesion prevention after flexor surgery in rabbits. *J Hand Surg.* 1992;17:935-41.

Hattrup SJ, Johnson KA. A review of ruptures of the Achilles tendon. *Foot Ankle.* 1985;6:34-8.

Hugate R, Pennypacker J, Saunders M, Juliano P. The effects of intratendinous and retrocalcaneal intrabursal injections of corticosteroid on the biomechanical properties of rabbit Achilles tendons. *J Bone Joint Surg.* 2004;86:794-801.

Jacobs D, Martens M, Van Audekercke R. Comparison of conservative and operative treatment of Achilles tendon rupture. *Am J Sports Med.* 1978;6:107-11.

Jozsa L, Kvist M, Balint PJ, Reffy A, Lehto M, Barzo M. The role of recreational sport activity in Achilles tendon rupture: a clinical pathoanatomical and sociological study of 292 cases. *Am J Sports Med.* 1989;17:338-43.

Khan KM, Tress BW, Hare WS. Treat the patient not the x-ray: Advances in diagnosis imaging do not replace the need for clinical interpretation. *Clin J Sports Med.* 1998;8:1-4.

Kuschner S, Orland CA, Mckellop H, Sarmiento A. A comparison of the healing properties of rabbit Achilles tendon injuries at different levels. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;272:268-73.

Laseter JT, Russell JA. Anabolic steroid-induced tendon pathology: a review of the literature. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23:1-3.

Lea RB, Smith L. Rupture of the Achilles tendon no surgical treatment. *Clin Orthop.* 1968;60:115-21.

Leadbetter WB. Cell-matrix response in tendon injury. *Clin Sports Med.* 1992;11:533-78.

Leppilahti J, Orava S. Total Achilles tendon rupture. *Sports Med.* 1998;25:79-100.

Lindholm A. A new method of operation in subcutaneous rupture of the Achilles tendon. *Acta Chir Scand.* 1959;117:261-70.

Lo IK, Kirkley A, Nonweiller B, Kumbhare DA. Operative versus nonoperative treatment of acute Achilles tendon ruptures: a quantitative review. *Clin J Sport Med*. 1997;7:207-11.

Lynn TA. Repair of the torn Achilles tendon using the plantaris tendon as reinforcing membrane. *J Bone Joint Surg*. 1966;48:268-72.

Ma GWC, Griffith TG, Major MC. Percutaneous repair of acute closed ruptured Achilles tendon. *Clin Orthop Relat Res*. 1977;13:247-55.

Maffulli N, Binfield PM, Moore D, King JB. Surgical decompression of chronic central core lesions of the Achilles tendon. *Am J Sports Med*. 1999;27:747-52.

Mann RA, Holmes GB, Scale KS, Collins DN. Chronic rupture of the Achilles tendon: a new technique of repair. *J Bone Joint Surg*. 1991;73:214-9.

Moller M, Movin T, Granhed H, Lind K, Faxen E, Karlsson J. Acute rupture of Tendo Achilles. *J Bone Joint Surg*. 2001;83:843-8.

Muller SS, Curcelli EC, Sardenberg T, Zuccon A, Crudis Jr JL, Padovan CR. Análise clínica e biomecânica do efeito do diclofenaco sódico na consolidação da fratura da tíbia no rato. *Acta Ortop Bras*. 2004;12:197-204.

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

Nakagawa Y, Hayashi K, Yamamoto N, Nagashima K. Age-related changes in biomechanical properties of the Achilles tendon in rabbits. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1996;73:7-10.

Nery CAS, Alloza JFM, Laurino CFS, Tanaka GS. Avaliação da força muscular isocinética do pé e tornozelo após tratamento cirúrgico das lesões do tendão de Achilles, utilizando a transferência do tendão fibular curto. *Rev Bras Ortop.* 1977; 52:503-12.

Nillius SA, Nilsson BE, Westlin NE. The incidence of Achilles tendon rupture. *Acta Orthop Scand.* 1976;47:118-21.

Nistor L. Surgical and non-surgical treatment of Achilles Tendon rupture. A prospective randomized study. *J Bone Joint Surg.* 1981;63:394-9.

Norman GR, Streiner DL. *Biostatistics – The bare essentials.* St. Louis: Ed. Mosby Book; 1994.

Olivieri I, Gemignani G, Gherardi S. Isolated HLA-B27 associated Achilles tendinitis. *Ann Rheum Dis.* 1987;46:626-7.

Pajala A, Kangas J, Ohtonen P, Leppilahti J. Rerupture and deep infection following treatment of total Achilles tendon rupture. *J Bone Joint Surg.* 2002;84:2016-21.

Pneumaticos SG, Noble P, McGarvey WC, Mody DR, Trevino SG. The effects of early mobilization in the healing of Achilles tendon repair. *Foot Ankle Int.* 2000;21:551-7.

Pneumaticos SG, Noble PC, McGarvey WC, Mody DR, Trevino SG. Open versus closed repair of the Achilles tendon: An experimental animal study. *Foot Ankle Int.* 1999;20:307-13.

Puddu G, Ippolito E, Postacchini F. A classification of Achilles tendon disease. *Am J Sports Med.* 1976;4:145-50.

Quitkin LN. Strength analysis and comparison of the teno fix tendon repair system with the two-strand modified Kessler repair in the Achilles tendon. *Foot Ankle Int.* 2003;24:857-60.

Reddy GK, Gum S, Stehno-Bittel L, Enwemeka CS. Biochemistry and biomechanics of healing tendon: Part II. Effects of combined laser therapy and electrical stimulations. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:794-800.

Reiff RBM, Croci AT, Bolliger-Neto R, Pereira CAM. Estudo comparative de propriedades biomecânicas da porção central do tendão calcâneo congelado e fresco. *Acta Ortop Bras.* 2007;15:1-8.

Renstrom P, Johnson RJ. Overuse injuries in sport. A review. *Sports Med.* 1985;2:316-33.

Rettig AC, Liotta FJ, Klootwyk TE, Porter DA, Mieling P. Potential risk of rerupture in primary Achilles tendon repair in Athletes younger than 30 years of age. *Am J Sports Med.* 2005;33:119-23.

Roshan J, Kesturu G, Balian G, Chhabra B. Tendon: biology, biomechanics, Repair, growth factors and evolving treatment options. *J Hand Surg.* 2008;33:102-12.

Safran MR. Graft tendon selection in hnee surgery: cvurent concepts. *Am J Knee Surg.* 1995;8:168-80.

Safran MR, Allen AA, Fu FH. Treatment of injuries to the posterior cruciate ligament. *J Sports Traumatol.* 1994;16:1-18.

Sato M, Maeda M, Kurosawa H, Inoue Y, Yamauchi F, Iwase H. Reconstruction of rabbit Achilles tendon with three bioabsorbable materials: histological and biomechanical studies. *J Orthop Sci.* 2000;5:256-67.

Schepesis AA, Leach RE. Surgical management of Achilles tendonitis. *Am J Sports Med.* 1987;15:308-15.

Schweitzer ME, Karasick D. MR imaging of disorders of the Achilles tendon. *Am J Roentgenol.* 2000;175:613-25.

Shields CL, Kerlan RK, Jobe FW, Carter VS, Lombardo SJ. The cybex II evaluation of surgically repaired Achilles tendon ruptures. *Am J Sports Med.* 1978;6:369-72.

Shin'ichi A, Noguchi M, Kusaka Y, Kitaura T, Hirasawa T. Viscoelasticity properties of the Achilles tendon: effects of aging and temperatures. In: *Proceedings of Annual Meeting of Japanese Society for Orthopaedic Biomechanics*; 1998. p. 567-70.

Stehno-Bittel L, Reddy G, Kesava G, Gum S, Enwemeka CS. Biochemistry and biomechanics of healing tendon: Part I. Effects of rigid plaster casts and functional casts. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:788-93.

Stewart KM. Review and comparison of current trends in the postoperative management of tendon repair. *Hand Clin.* 1991;7:447-60.

Stolveborn SA, Moberg A. Immediate free ankle motion after surgical repair of acute Achilles tendon rupture. *Am J Sports Med.* 1994;22:607-10.

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

Teuffer P. Traumatic rupture of the Achilles tendon: reconstruction by transplant and graft using the lateral peroneus brevis. *Orthop Clin North Am.* 1974;5:89-93.

Thermann H, Frerichs O, Biewener A, Krettek C. Healing of Achilles tendon, an experimental study. *Foot Ankle Int.* 2001;22:478-83.

Toledo L. Rupturas espontâneas dos tendões dos desportistas. *Rev Bras Ortop.* 1994;29:707-10.

Tuite DJ, Renstrom PA, O'Brien M. The aging tendon. *Scand J Med Sci Sports.* 1997;7:72-7.

Turco VJ, Spinella AJ. Achilles tendón ruptures – peroneus brevis transfer. *Foot Ankle*. 1987;7:253-9.

Uchiyama E, Nomura A, Takeda Y, Hiranuma K, Iwaso H. A modified operation for Achilles tendon ruptures. *Am J Sports Med*. 2007;35:1734-43.

Valente M, Alecci V, Casseti P. Riparazione di lesioni inveterate Del tendine d'Achille com innesto faciale di gastrocnemio-soleo. *GIOT*. 2005;31:96-100.

Vasconcelos JW, Sousa JCA, Oliveira MNA. Tratamento cirúrgico da ruptura do tendão de Aquiles com transferência do fibular curto. *Rev Bras Ortop*. 1999;34:551-6.

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

Wang JHC. Mechanobiology of tendon. *J Biomech*. 2006;39:1563-82.

Wapner KL, Pavioc GS, Hecht PJ, Naselli F, Walther R. Repair of chronic Achilles tendon rupture with flexor hallucis longus tendon transfer. *Foot Ankle Int*. 1993;14:443-9.

Wei FC, Chen HC, Chuang CC, Noordholff MS. Reconstruction of Achilles tendon and calcaneous defects with skin-aponeurosis-bone composite free tissue from the groin region. *Plast Reconstr Surg*. 1988;81:579-89.

Wong J, Barrass V, Maffulli N. Quantitative review of operative and nonoperative management of Achilles tendon ruptures. *Am J Sports Med*. 2002;30:565-75.

Yasuda T, Kinoshita M, Abe M, Shibayama Y. Infavorable effect of knee immobilization on Achilles tendon healing in rabbits. *Acta Orthop Scand*. 2000;71:68-73.

Yoshida WB, Muller SS, Carvalho I, Fabris VE, Naresse LE, Maffei FHA. Tensile strength and histological changes of abdominal aorta of malnourished rats. *Cardiovasc Surg.* 1995;3:437-9.

Zajac FE. Muscle and tendon: properties, models, scaling and applications to biomechanics and motor control. *Crit Rev Biomed Eng.* 1989;17:359-411.

Zar JH. *Biostatistical analysis.* 4th ed. New Jersey: Prentice-Hall; 1999.

Zimmerman MC, Contiliano JH, Parsons JR, Prewett A, Billot J. The biomechanics and histopathology of chemically processed patellar tendon allografts for anterior cruciate ligament replacement. *Am J Sports Med.* 1994;22:378-86.