

Elongamento do enxerto de tendões do músculo grácil e semitendinoso humanos. Estudo realizado em cadáveres de adultos jovens

Graft semitendinosus and gracilis human muscle tendons elongation. A study carried out on young adult human cadavers

SÉRGIO ROCHA PIEDADE¹, INÁCIO MARIA DAL FABBRO², MARTHA MARIA MISCHAN³

RESUMO

Na cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho, os enxertos de tendões autólogos são a principal opção como substitutos ligamentares. Entretanto, uma das razões da falha da reconstrução ligamentar com tecidos moles é o estiramento ou alongamento do enxerto com o tempo.

Neste trabalho, foram ensaiados oito tendões do músculo grácil e oito do músculo semitendinoso humanos, obtidos de quatro cadáveres do sexo masculino, com idade média de 24,5 anos.

Cada tendão foi submetido a uma deformação relativa constante de 2,5% durante 600 s, com registro contínuo do relaxamento de força. A seguir, o tendão retornava ao seu comprimento inicial e era mantido num período de repouso de 300 s. Após este intervalo, um segundo ensaio, semelhante ao primeiro, era realizado. A velocidade de carregamento empregada foi de 10% do comprimento inicial do corpo de prova por segundo.

Foram obtidos valores de força inicial, com 300 s e 600 s nos dois ensaios.

A análise estatística sugere um comportamento mecânico mais uniforme para o tendão do músculo semitendinoso quando comparado ao tendão do músculo grácil.

Descritores: Ligamento cruzado anterior; Joelho.

SUMMARY

In the anterior cruciate ligament knee surgery reconstruction, autologous tendons graft remains as a main option as substitute ligaments. However time effect on graft elongation is the main reason of ligament reconstruction failure.

Traction tests have been performed on eight gracilis as well as on eight semitendinosus human muscles tendons obtained from four male cadavers at an average of 24.5 years.

Each tendon specimen has been submitted to a deformation of 2.5% of its initial length for a time interval of 600 s with continuous recording of the corresponding force relaxation. The tendon specimen was then kept at rest for 300 s as soon as it returned to its initial length. The same specimen was then submitted to a similar test. Deformation rate for both tests was 10% of its initial length per second.

Initial force values were obtained for resting time interval of 300 s as well as for 600 s. Statistical analysis suggests that the semitendinosus muscle tendon exhibits a more uniform mechanical behavior, as compared to gracilis muscle.

Keywords: Anterior cruciate ligament; Knee.

INTRODUÇÃO

A frouidão ligamentar pós-operatória é uma complicação relatada na literatura. O alongamento do enxerto de tendão é fator crítico para o sucesso cirúrgico, conforme Tohyama et al.⁽¹⁴⁾. Da mesma forma, Boorman et al.⁽²⁾ comentam que uma das razões da falha da reconstrução ligamentar com tecidos moles é o estiramento ou alongamento do enxerto com o tempo.

Tendões e ligamentos são materiais viscoelásticos e tem como função suportar cargas tensionais. Isto faz com que o

enxerto de tendões autólogos seja a principal opção como substitutos ligamentares.

Abrahams⁽¹⁾ comenta que os tecidos viscoelásticos são uma combinação de sólido elástico e fluido viscoso. Taylor et al.⁽¹³⁾ ressaltam que as propriedades viscosas são caracterizadas pela dependência da função tempo.

Fung⁽³⁾ avaliou que 5% de deformação relativa corresponde ao limite superior admissível para as atividades normais do ser humano. O comportamento viscoelástico é estudado por ensai-

Trabalho realizado Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Ciências Médicas (FCM), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

1. Professor Doutor em Cirurgia pela Faculdade de Ciências Médicas da Unicamp.
2. Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp.
3. Professor Doutor do Departamento de Bioestatística da Unesp-Botucatu

Endereço para correspondência:
Rua Carlos Guimarães, 248/apto 114 – Campinas – SP - C.E.P. 13024-200
Email- sergiopiedade@aol.com

Texto recebido em: 12/08/03 aprovado em 14/12/04

os não destrutivos, ou seja, dentro do limite elástico do material, tendão ou ligamento.

Para Woo et al.⁽¹⁶⁾ quando um tendão é mantido a alongação constante e então permanece no mesmo comprimento por mais tempo, a força suportada pelo tecido progressivamente decresce. Esse fenômeno é conhecido como relaxamento estático de força.

No intra-operatório da cirurgia de reconstrução ligamentar este fenômeno ocorre logo após se realizar o tensionamento do enxerto e sua fixação. Essa constatação tem importância para melhor compreensão da resposta apresentada por tendões e ligamentos quando estimulado mecanicamente. As consequências dessas deformações não são as mesmas das propriedades elástica e viscosa são consideradas separadamente. Para uma adequada interpretação das características mecânicas do tendão é necessário o estudo do comportamento viscoelástico⁽⁶⁾. O fenômeno de relaxamento é freqüentemente usado para se estudar a falha ligamentar⁽²⁾, os efeitos do conteúdo de água no comportamento viscoelástico⁽⁷⁾ e as propriedades viscoelásticas de tendões irradiados⁽⁴⁾. Neste trabalho foi analisado o comportamento mecânico de tendões do músculo grácil e semitendinoso humanos submetidos a ensaios mecânicos específicos, ou seja, ensaios de relaxamento estático de força, objetivando avaliar a influência das variáveis "tempo" e "ensaio".

O presente trabalho resume resultados experimentais obtidos na pesquisa que constitui parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Outros detalhes que não se enquadram na natureza do presente trabalho podem ser encontrados na mencionada Tese⁽¹¹⁾.

MATERIAL E MÉTODOS

O uso dos tendões humanos recebeu aprovação da Comissão de Ética em Pesquisa Médica da Faculdade de Ciências Médicas da Unicamp (Projeto 168/99). Foram ensaiados oito tendões do músculo grácil e oito do músculo semitendinoso, obtidos de quatro cadáveres do sexo masculino, com idade média de 24,5 anos (mínima de 18 anos e máximo de 34 anos). As causas das mortes foram: lesão por arma de fogo (3) e politrauma (1). Os tendões foram obtidos conjuntamente com a equipe de Captação de Órgãos e Serviço de Verificação de Óbitos do Hospital de Clínicas da Unicamp.

A necessidade de se manterem as propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova, associada à dificuldade prática de se realizarem os ensaios no momento da obtenção dos corpos de prova, levou à estocagem dos tendões.

Foi utilizado um freezer horizontal, com duas portas, marca Prosdócimo, pertencente ao Departamento de Anatomia Patológica do Hospital de Clínicas da Universidade de Campinas.

Os tendões foram mantidos a uma temperatura de -20°C. Os procedimentos adotados seguiram a mesma metodologia empregada por Matthews e Ellis⁽⁸⁾; Woo et al.⁽¹⁵⁾; Hernandez et al.⁽⁴⁾; Salomão et al.⁽¹²⁾; Pfaffle et al.⁽⁹⁾ e Piedade⁽¹⁰⁾.

O descongelamento foi feito a temperatura ambiente (27°C).

Para os ensaios viscoelásticos, utilizou-se uma prensa tipo texturômetro, modelo LLOYD TA 500. O sistema foi acoplado a um computador Pentium Pro (r). A captação e análise dos dados foram realizadas pelo software NEXYGEN 3.0.

Cada tendão foi submetido a uma deformação relativa constante de 2,5% durante 600 s, com registro contínuo do relaxa-

mento de força. A seguir, o tendão retornava ao seu comprimento inicial e era mantido num período de repouso de 300 s. Após este intervalo, um segundo ensaio, semelhante ao primeiro, era realizado. A velocidade de carregamento empregada foi de 10% do comprimento inicial do corpo de prova por segundo.

O nível de deformação relativa adotado encontra-se dentro do limite elástico do material (tendão), caracterizando um ensaio não destrutivo, ou seja, ensaio viscoelástico.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas dos Materiais Biológicos do Departamento de Máquinas Agrícolas da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade de Campinas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com delineamento de parcelas subdivididas no tempo, e blocos casualizados (os tendões) nas parcelas.

DISCUSSÃO

O alongamento do enxerto de tendões é fator determinante na evolução clínica da reconstrução cirúrgica do ligamento cruzado anterior do joelho. O estudo do comportamento mecânico do enxerto de tendões impõe ensaios específicos, como os ensaios viscoelásticos. Os ensaios de relaxamento estático ou cíclico de força permitem uma melhor avaliação do fenômeno de alongamento do enxerto e podem auxiliar no tensionamento adequado do enxerto no momento da sua fixação.

Neste trabalho, foi realizada uma análise do comportamento mecânico dos tendões do músculo grácil e semitendinoso através de ensaios de relaxamento estático de força.

Observando o Quadro 1, tendões do músculo grácil, pode-se constatar que, nos dois ensaios, os valores de força decresceram a partir do instante inicial. Assim, para um mesmo ensaio, o tendão tornou-se mais deformável.

Amostra (número)	Ensaio 1			Ensaio 2		
	Força inicial	Força com 300s	Força com 600s	Força inicial	Força com 300s	Força com 600s
1	6.25	4.95	4.67	9.28	7.57	7.22
2	3.66	2.50	2.32	6.60	4.81	4.51
3	9.61	7.68	7.42	13.23	10.82	10.59
4	4.96	4.07	3.87	8.66	6.82	6.55
5	13.82	11.28	10.88	16.11	13.60	13.29
6	7.94	5.80	5.47	12.03	9.72	9.32
7	5.44	4.38	4.11	5.06	4.34	4.25
8	4.44	3.56	3.37	6.86	5.59	5.40

Os valores das forças inicial, com 300 s e 600 s, obtidos em dois ensaios consecutivos, com repouso de 300 s entre eles estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Valores de força inicial, força com 300s e 600s, obtidos para o tendão do músculo grácil submetido a ensaio de relaxamento estático de força, com dois ensaios sucessivos, com intervalo de 300s.

Contudo, para manter o mesmo nível de deformação (2,5%), o segundo ensaio, realizado após um repouso de 300 s, solicitou forças maiores. As forças finais dos ensaios 1 e 2, mostram

que, após o repouso, o material biológico ficou menos deformável, conseqüentemente mais rígido. Estas observações são válidas para os tendões do músculo grácil e semitendinoso e seus respectivos valores estão agrupados nos Quadros 1 e 2.

Utilizando-se os valores do Quadro 1 e com o auxílio da análise de variância, por meio do teste de Tukey, estabeleceu-se o confronto das médias de força entre os ensaios 1 e 2, para fatores "ensaio" e "tempo", em ensaios de relaxamento estático de força de tendões músculo grácil (Tabela 1).

A comparação entre as médias (Tabela 1) mostra existir diferenças estatísticas significativas para os fatores "ensaio" e "tempo" e entre o ensaio 1 e o ensaio 2 e entre os tempos de observação. O confronto entre tempos mostra diferença estatística significativa entre a força inicial em relação às demais. Com 300 s e 600 s não houve diferença estatística significativa.

Esses resultados sugerem que durante o ensaio de relaxamento estático de força o tendão do músculo grácil apresentou pronunciado decréscimo de força no início do ensaio e a partir dos 300 s, uma tendência de estabilização.

Tratamento	Início	300 s	600 s	Médias do Ensaio
Ensaio 1	7,01500	5,52750	5,26375	5,93542 (B)
Ensaio 2	9,72875	7,90875	7,64125	8,42625 (A)
Média de tempos	8,37187 (a) ¹	6,71812 (b)	6,45250 (b)	

Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam médias na linha e maiúsculas, na coluna.

Tabela 1 - Valores médios de força (N), nos ensaios de relaxamento estático de força obtidos para o tendão do músculo grácil, em três tempos. Comparações entre as médias pelo teste de Tukey.

A partir dos dados apresentados no Quadro 2, tendões do músculo semitendinoso, a análise estatística mostrou diferença significativa para os valores médios de força inicial em relação às demais (300 s e 600 s). Entretanto, não houve diferença estatística significativa entre os dois ensaios, sugerindo um comportamento mais uniforme para o tendão do músculo semitendinoso (Tabela 2).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abrahams M. Mechanical behavior of tendon in vivo. *Med Biol Eng* 5:433-443, 1967.
2. Boorman RS, Shrive NG, Frank CB. Immobilization increases the vulnerability of rabbit medial collateral ligament autograft to creep. *J Orthop Res* 16: 682-689, 1998.
3. Fung YC. The meaning of the constitutive equation. In: Fung YC. *Biomechanics - mechanical properties of living tissues*. New York: Springer, 1993. p. 23-65.
4. Haut, RC; Powlison, AC. The effects of test environment and cyclic stretching on the failure properties of human patellar tendon. *J Orthop Res* 8(4):532-40, 1990.
5. Hernandez AJ, Rezende UM, Von Uhlendorff EF, Leivas TP, Camanho GL. Estudo mecânico dos complexos colaterais do joelho. *Rev Bras Ortop* 28:565-569, 1993.
6. Johnson GA, Tramaglino DM, Levine RE, Ohno K, Choi N, Woo SLY. Tensile and viscoelastic properties of human patellar tendon. *J Orthop Res* 12:796-803, 1994.
7. Lan TC, Frank CB, Shrive NG. Changes in the cyclic and static relaxations of the rabbit medial collateral ligament complex during maturation. *J Biomech* 26:9-17, 1993.
8. Matthews LS, Ellis D. Viscoelastic properties of cat tendon: effects of time after death and preservation by freezing. *J Biomech* 1:65-71, 1968.

Amostra (número)	Ensaio 1			Ensaio 2		
	Força inicial	Força com 300 s	Força com 600 s	Força inicial	Força com 300 s	Força com 600 s
1	5.81	3.85	3.60	8.40	6.56	6.22
2	4.60	3.19	2.97	7.01	5.43	5.11
3	3.08	2.10	1.97	4.63	3.36	3.15
4	4.94	3.70	3.59	6.83	5.52	5.24
5	9.06	7.51	7.11	12.43	10.64	10.28
6	25.83	22.96	22.31	18.89	17.09	16.77
7	5.21	3.69	3.39	6.81	5.19	4.89
8	4.04	3.05	2.86	6.57	4.74	4.43

Quadro 2 - Valores de força inicial, força com 300 s e 600 s, obtidos para o tendão do músculo semitendinoso submetido a ensaio de relaxamento estático de força, com dois ensaios sucessivos, com intervalo de 300 s.

Tratamento	Início	300 s	600 s	Médias do Ensaio
Ensaio 1	7,82125	6,25625	5,97500	6,68417
Ensaio 2	8,94625	7,31625	7,01125	7,75792
Média de tempos	8,38375 (a)	6,78625 (b)	6,49312 (b)	

Tabela 2 - Valores médios de força (N), nos ensaios de relaxamento estático de força obtidos para o tendão do músculo semitendinoso, em três tempos. Comparações entre as médias pelo teste de Tukey.

CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, com a metodologia empregada, os resultados estatísticos permitiram concluir, ao nível de 5%, que:

- para um mesmo ensaio, houve diferença entre as médias das forças iniciais em relação às demais, caracterizando um tendão mais deformável em função do tempo;
- para o tendão do músculo semitendinoso não houve diferença entre as médias das forças nos dois ensaios, sugerindo um comportamento mais uniforme. (comportamento mecânico é tecido-específico).

9. Pfaffle HJ, Tomano MM, Grewal R, Xu J, Bordman ND, Woo SLY, Herdon JH. Short communication tensile properties of the interosseus membrane of the human forearm. *J Orthop Res* 14:842-845, 1996.
10. Piedade SR. Ensaio uniaxial de tração de tendão artificial biológico. [Dissertação]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1998.
11. Piedade SR. Comportamento viscoelástico de tendões do músculo grácil e semitendinoso humano e tendão calcâneo bovino. [Tese]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003.
12. Salomão O, Fernandez TD, Carvalho Junior AE et al. Avaliação das propriedades mecânicas do tendão do músculo tibial posterior submetido a ensaio de tração axial. *Rev Bras Ortop* 29:483-486, 1994.
13. Taylor DC, Dalton JD, Seaber AV, Garret WE. Viscoelastic properties of muscle-tendon units. The biomechanical effects of stretching. *Am J Sports Med* 18:300-309, 1990.
14. Tohyama, H, Beynon, BD, Jonhson, RJ, Renström, PR, Arms, SW. The effect of anterior cruciate ligament graft elongation at the time of implantation on the biomechanical behavior of the graft and the knee. *Am J Sports Med* 24(5):608-614, 1996.
15. Woo SLY, Orlando CA, Camp JF, Akenson WH. Effects of postmortem storage by freezing on ligament tensile behaviour. *J Biomech* 19:399-404, 1986.
16. Woo SLY, Smith BA, Johnson GA. Biomechanics of knee ligaments. In: Fu FH, Harner CD, Vince KG. *Knee Surgery*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1994. p.155-172.