

TEMPO E O PERCENTUAL DE ALONGAMENTO ESTÁTICO INFLUENCIAM A RESPOSTA MECÂNICA DO TENDÃO?

HOW DOES STATIC STRETCHING INFLUENCE THE TENDONS MECHANICAL RESPONSE?

NATHALIA POLISELLO ROSSETTO¹, INÁCIO MARIA DAL FABBRO¹, SÉRGIO ROCHA PIEDADE¹

RESUMO

Objetivo: Analisar *in vitro*, a resposta mecânica de tendões calcâneo bovino, submetidos ao alongamento estático e avaliar a influência do alongamento no evento lesivo. **Métodos:** Seis grupos de espécimes de tendões calcâneos bovinos (n=10) foram submetidos a alongamento estático: três intervalos (15, 30, 45 segundos) e percentuais de alongamento inicial (2,5 e 3,5%). O grupo controle (n=10) não realizou alongamento prévio. Ao término do ensaio de alongamento, os espécimes foram submetidos ao ensaio de ruptura. **Resultados:** Os valores de relaxamento de força apresentaram estabilização a partir do trigésimo segundo ($p < 0.0001$) nos dois níveis de deformação estudados. Foi observado maior relaxamento de força ($p < 0.0026$) e menor tensão de ruptura ($p = 0.0123$) para o grupo submetido a maior taxa de alongamento percentual (3,5%). Não houve diferença nos parâmetros de ruptura entre os grupos alongamento e controle. As variáveis tempo e percentual de alongamento não apresentaram interação. **Conclusão:** Considerando-se o relaxamento de estresse, o intervalo de 30 segundos parece ser o mais efetivo no alongamento de tendões, fato a ser considerado no estabelecimento de novos protocolos clínicos de alongamento. **Trabalho experimental.**

Descritores: Biomecânica. Colágeno, Tendões, Tempo.

ABSTRACT

Objective: Analyze *in vitro* the mechanical response of bovine calcaneus tendons subjected to static stretching in three different intervals (15, 30, 45 s). **Methods:** Six groups of bovine calcaneus tendons (n=10) were formed according to the static stretching protocol: three different intervals (15, 30, 45 s) and initial stretching percentage (2.5% and 3.5%). The control group (n=10) did not perform prior stretching. At the end of the stretching tests, the specimens were subjected to stress rupture tests. **Results:** The values for force relaxation presented stability after the 30th second ($p < 0.0001$) at both levels of deformation. Greater force relaxation ($p < 0.0026$) and the least tensile strength ($p = 0.0123$) was observed in the group that was subjected to the highest stretch percentage (3.5%). No difference was observed between the rupture parameters of the stretch and control groups. The variables, stretch duration and percentage did not demonstrate interaction. **Conclusion:** In relation to force relaxation, the 30 second interval seems to be the most effective when stretching tendons. This fact should be considered when establishing new clinical stretching protocols. **Laboratory investigation.**

Keywords: Biomechanics. Collagen. Tendons. Time.

Citação: Rossetto NP, Dal Fabbro IM, Piedade SR. Tempo e o percentual de alongamento estático influenciam a resposta mecânica do tendão? *Acta Ortop Bras.* [online]. 2013;21(5): 258-61. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>.

Citation: Rossetto NP, Dal Fabbro IM, Piedade SR. How does static stretching influence the tendons mechanical response? *Acta Ortop Bras.* [online]. 2013;21(5): 258-61. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>.

INTRODUÇÃO

A importância da atividade física regular é altamente reconhecida e ratificada por inúmeros artigos científicos. Ela apresenta reflexos positivos não apenas no aparelho locomotor, mas também, melhora desempenho funcional dos sistemas cardiovascular e imunológico,^{1,2} interferindo na qualidade de vida das pessoas. Dentro desse contexto, os exercícios de alongamento desempenham papel importante, pois auxiliam no equilíbrio funcional do sistema musculoesquelético. Alguns estudos têm sugerido que o alongamento por diminuir a rigidez tecidual, melhorar a amplitude articular,³⁻⁶ poderia interferir positivamente na prevenção de lesões. O *American College of Sports Medicine*⁷ recomenda esta atividade e salienta ser essencial aos praticantes de atividade física regular.

Entretanto, a uniformização dos parâmetros que governam a prática do alongamento ainda não foi estabelecida.⁸ Na literatura, o tempo de alongamento proposto mostra-se extremamente variável. Estudos clínicos geralmente analisam intervalos de alongamento entre 15 e 120 segundos,⁹⁻¹³ enquanto estudos *in vitro* consideram 100,¹⁴ 600,¹⁵ ou ainda 1800 segundos.¹⁶ Outro parâmetro estudado é o percentual de alongamento inicial. Trabalhos têm demonstrado que quanto maior a deformação inicial, maior também será a resposta de relaxamento tecidual.^{14,17} Wren et al.¹⁸ salientam que, a deformação inicial tem influência direta no evento lesão, sendo o principal parâmetro a prever a ruptura. Na prática clínica, a orientação para o alongamento é feita na maioria das vezes de forma empírica, ou seja, "alongar até o ponto

Todos os autores declaram não haver nenhum potencial conflito de interesses referente a este artigo.

1. Medicina do Exercício e do Esporte da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas-Unicamp. Campinas, SP, Brasil.

Trabalho realizado no Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas-Unicamp. Campinas, SP, Brasil.
Correspondência: Medicina do Exercício e do Esporte - FCM/Unicamp. Rua: Tessália Vieira de Camargo nº126, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Campinas, SP, Brasil, 13083-887. nprosetto@gmail.com / piedade@fcm.unicamp.br

Artigo recebido em 21/01/2013, aprovado em 14/05/2013.

de tensão sem dor".^{19,20} A falta de consenso, muitas vezes produto da diversidade metodológica, tem suscitado questionamentos, refletindo dificuldade na interpretação e comparação de resultados. Fisiologicamente, os tecidos biológicos quando submetidos ao alongamento apresentam diminuição progressiva na resistência a tração, até que se atinge um platô e, conseqüentemente, o equilíbrio funcional do tecido. Este fenômeno é denominado relaxamento de força.²¹

Assim, o objetivo deste estudo foi analisar *in vitro* a resposta mecânica de relaxamento de força, em tendões submetidos ao alongamento estático, considerando intervalos de tempo comumente utilizados na prática clínica e, verificar a influência do alongamento no evento lesivo (ruptura).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados 70 espécimes de tendões calcâneos bovinos, provenientes de machos da raça Nelore, com idade média de três anos. O material foi obtido após o óbito, de acordo com os princípios éticos na experimentação animal. O projeto de pesquisa foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA/Unicamp), protocolo 2005-1/2009.

Após a coleta, os tendões foram acondicionados em sacos plásticos, envolvidos com gaze umedecida em solução salina 0.9%. Os ensaios foram realizados dentro de 5 horas após a obtenção dos mesmos à temperatura ambiente (28°C). Para realização dos ensaios, cada espécime foi cuidadosamente dissecado, removendo-se todas as estruturas em torno do tendão, inclusive o paratendão. Em seguida, foram retiradas tiras retangulares dos tendões, com auxílio de bisturi.

Os ensaios foram conduzidos com prensa tipo texturômetro, modelo LOYD TA 500 (Fareham UK), a qual possui célula de força de 500N, resolução de força de 0,01% e controle da velocidade de carregamento entre 0,0017 a 17mm/s.

Protocolo de testes

Foram definidos 6 grupos de dez espécimes de tendões calcâneos bovinos, de acordo com o protocolo de alongamento estático: intervalos (15, 30, 45 segundos) e percentuais de alongamento inicial (2,5 e 3,5%). Ao término do ensaio de alongamento, todos os espécimes foram submetidos imediatamente ao ensaio de ruptura. O grupo controle (n=10) realizou apenas o ensaio de ruptura.

Área de secção transversal

Após a fixação do sistema de garras ao Texturômetro (Universal Testing Machine), as medidas de comprimento, largura e espessura foram registradas com paquímetro digital (marca Starret, modelo 727-6 A150; 0,01mm de precisão). Cada medida foi realizada três vezes, sendo considerada a média entre as mesmas para o cálculo da área de secção transversal (AST).

Este procedimento favorece a utilização do conceito de tensão (força / AST), pois uniformiza os valores de força em relação às dimensões do corpo de prova.

Ensaio Mecânicos

Os espécimes foram submetidos a ensaios uniaxiais de tração, realizados a velocidade de 10% do comprimento inicial do corpo de prova por segundo. Uma vez atingido o alongamento pré-estabelecido, foram feitos registros do decréscimo de força a cada segundo, dentro do tempo considerado.

Imediatamente após o término do alongamento, todos os espécimes foram submetidos ao ensaio uniaxial de tração até ruptura a velocidade de 100% do comprimento inicial por segundo.

Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição dos dados consistiu em uma interface padrão, acoplado ao texturômetro, constituído por um computador *Pentium Pro* e *software* NEXIGEN 3.0.

Foram feitos registros de força e deformação continuamente a frequência de 10 Hz. A partir dos valores de força (N), tempo (s), foram calculados: o percentual de relaxamento de força, para os ensaios de alongamento; e a tensão (FR/AST), a deformação relativa (L/ L0) e a energia de ruptura por área de secção transversal (FR*L0/AST) para os ensaios de ruptura.

Análise estatística

Foi utilizada análise descritiva com apresentação de medidas de posição e dispersão para variáveis numéricas. Para comparação dos parâmetros entre os fatores estudados utilizou-se a ANOVA com transformação por postos. Para comparação dos grupos independentes foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis. Foi utilizado o programa *SAS System for Windows* (Statistical Analysis System), versão 9.2. *SAS Institute Inc*, 2002-2008, Cary, NC, USA. O intervalo de confiança foi fixado em 95%, e o parâmetro de comparação foi $p = 0,05$.

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os parâmetros dimensionais dos espécimes. Em ambos os níveis de deformação estudados, o valor de relaxamento de força no intervalo de 30 segundos foi significativamente maior em relação ao intervalo de 15 segundos, porém sem diferenças quando comparados ao grupo de 45 segundos ($p < 0,0001$). Ao comparar dois diferentes níveis de deformação (2,5% e 3,5%) verificou-se que o valor maior resultou em aumento significativo ($p < 0,0026$) no relaxamento de força. (Tabela 2) A análise da interação entre os parâmetros tempo e percentual de alongamento demonstrou que os efeitos são independentes ($p = 0,1510$). (Tabela 2)

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros dimensionais e desvio padrão nos sete grupos estudados.

	Grupos (% alongamento / tempo)						
	2,5/15s	2,5/30s	2,5/45s	3,5/15s	3,5/30s	3,5/45s	Controle
AST (mm ²)	27,62 ± 7,27	24,67 ± 7,98	24,42 ± 14,13	26,12 ± 6,17	22,46 ± 8,76	23,6 ± 14,94	27,0 ± 8,18
L0 (mm)	14,51 ± 4,3	15,4 ± 3,89	16,39 ± 5,88	14,78 ± 3,43	11,89 ± 2,65	14,55 ± 3,75	14,3 ± 5,24

AST: área de secção transversal; L0: comprimento inicial.

Tabela 2. Análise estatística dos valores médios e desvio padrão do percentual de relaxamento, obtidos nos ensaios de alongamento estático, nos três intervalos de tempo (15s, 30s, 45s) e percentuais de alongamento (2,5 e 3,5%) estudados.

% alongamento	Tempo de alongamento		
	15 s	30 s	45 s
2.5	31.57 ± 6.14 Ab	38.86 ± 5.57 Aa	38.60 ± 4.84 Aa
3.5	34.53 ± 4.09 Bb	43.27 ± 9.21 Ba	48.05 ± 5.43 Ba

Obs.: Medidas com a mesma letra não diferem na probabilidade de 5%. ANOVA com transformação por postos. Letras minúsculas comparam as médias na horizontal, letras maiúsculas comparam as médias na vertical.

Nos ensaios de ruptura foi possível observar diminuição significativa da tensão necessária a ruptura no grupo que realizou alongamento com maior taxa de deformação (3,5%) ($p = 0,0123$). (Figura 1) A análise estatística não identificou influência dos tempos de alongamento (15, 30 e 45 segundos) e dos percentuais de alongamento (2,5% e 3,5%) em relação aos valores médios de tensão de ruptura, deformação relativa, e energia de ruptura por área de secção transversal ($p > 0,05$) comparado ao grupo controle, sem alongamento prévio. (Tabela 3)

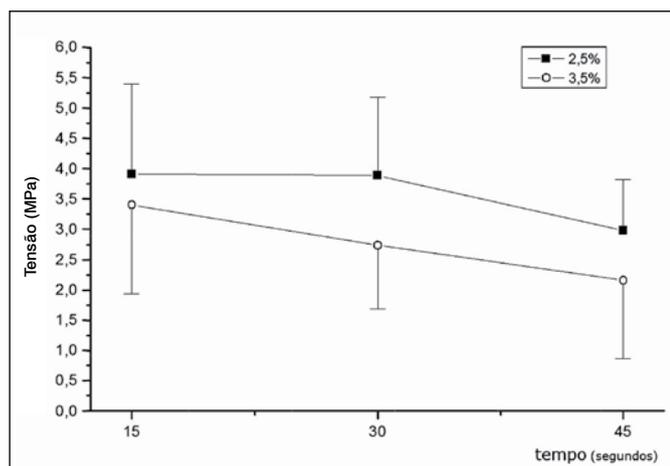


Figura 1. Valores médios e desvio padrão da tensão de ruptura obtida nos diferentes níveis de alongamento (2,5% e 3,5%) e intervalos de tempo (15 s, 30 s e 45 s) estudados.

Tabela 3. Valores médios, desvio padrão e análise estatística das variáveis obtidas nos ensaios de ruptura para os sete grupos estudados.

Grupos	Tensão de ruptura (mpa)	Deformação relativa	Energia de ruptura/ AST (j/mm ²)
2,5 - 15 s	3,9 ± 1,4	1,2 ± 0,4	0,5 ± 0,1
2,5 - 30 s	3,9 ± 1,2	1,4 ± 0,3	0,6 ± 0,2
2,5 - 45 s	3,0 ± 0,8	1,2 ± 0,6	0,6 ± 0,2
3,5 - 15 s	3,4 ± 1,4	1,2 ± 0,5	1,2 ± 1,1
3,5 - 30 s	2,7 ± 1,2	1,4 ± 0,3	0,6 ± 0,2
3,5 - 45 s	2,1 ± 1,2	1,2 ± 0,6	0,6 ± 0,2
controle	3,0 ± 1,1	1,3 ± 0,3	0,4 ± 0,1
valor do p	0,0561	0,2082	0,3778

AST: área de secção transversal.

DISCUSSÃO

O achado mais importante desse estudo foi identificar que os parâmetros de tempo e percentual de alongamento influenciam na resposta mecânica do tendão. Embora, diversos estudos experimentais sinalizem para influencia do tempo e do grau de alongamento, na resposta tendínea,^{14,17} até o momento, não existem evidências clínicas suficientes que permitam estabelecer uma padronização para realização do mesmo.²²

Na literatura, a falta de uniformidade na execução do alongamento é provavelmente, produto da diversidade metodológica apresentada nos trabalhos.^{23,24} Dentro desse contexto, o estudo do

comportamento mecânico dos tendões ao alongamento é fundamental, pois pode auxiliar no estabelecimento de estratégias mais efetivas de treinamento e possivelmente exerça impacto positivo na prevenção de lesão.^{12,25}

A abordagem deste tema envolve estudos clínicos e laboratoriais, onde ensaios mecânicos *in vitro* representam a linha inicial de pesquisa. Estes estudos tem se concentrado na análise da resposta mecânica dos tecidos (viscoelasticidade), de forma a estabelecer condutas a serem testadas e, posteriormente, aplicadas na prática cotidiana. Fung²⁶ definiu que 5% de deformação relativa no tendão representa o limite superior admissível para as atividades normais do ser humano. Ao analisar o ligamento colateral medial de ratos, Provenzano et al.²⁷ demonstraram que 5,14% de deformação causou danos ao tecido.

No presente estudo, os tendões foram submetidos a alongamentos percentuais de 2,5% e 3,5%, pois estes valores não excedem o limite fisiológico do tendão. Vale ressaltar que, os ensaios não destrutivos (viscoelástico) são fundamentais, pois, podem impor solicitações mecânicas aos tendões, semelhantes as que ocorrem nos exercícios de alongamento. Na prática, estes exercícios tem como fundamento a busca do equilíbrio fisiológico e funcional. Durante os ensaios mecânicos, o equilíbrio é definido no diagrama tensão X tempo pelo platô de estabilização do relaxamento de força. Screen²⁸ analisou, sob microscopia a laser, o fenômeno de relaxamento de força de fascículos isolados de tendão de ratos, raça Wistar. O autor observa que embora, cerca de 50% do relaxamento ocorra nos primeiros 15 segundos do alongamento, o fenômeno persiste, mesmo após 200^o segundo.

Neste estudo, o platô de relaxamento de força foi identificado nos três intervalos de tempo de alongamento considerados (15s, 30s e 45s). Entretanto, o intervalo de 30 segundos foi mais efetivo por prover relaxamento tecidual superior ao intervalo de 15s, e semelhante ao observado para o intervalo de 45s ($p < 0,0001$).

A resposta de relaxamento tecidual também é influenciada pelo percentual de alongamento. Swedlik e Lanir¹⁴ e Diewald et al.¹⁷ salientam que quanto maior o alongamento inicial maior será o relaxamento tecidual. Segundo Wren et al.,¹⁸ esta deformação inicial é o principal parâmetro a prever a ruptura, e influenciara ocorrência de lesões. Estes dados corroboram com os achados desse estudo, sendo que o alongamento de 3,5% apresentou diminuição na tensão de ruptura ($p = 0,0123$), comparada ao grupo com 2,5%, e também maior taxa de relaxamento tecidual (stress relaxation) ($p = 0,0026$).

Outros estudos demonstraram haver aumento da complacência dos tendões após o alongamento, sugerindo provável habilidade tendínea em resistir às forças de tração durante as atividades.^{25,29} Por outro lado, no presente estudo, o alongamento prévio não influenciou a resposta tendínea no ensaio de ruptura (evento lesão). Este fato condiz com a falta de consenso observada na literatura, sobre a efetividade do alongamento na prevenção de lesões.²²

Vale ressaltar ainda que, embora, estudos *in vitro* representem a linha inicial de pesquisa no estudo da resposta mecânica de tendões ao alongamento, os resultados obtidos devem ser ratificados por ensaios clínicos.

CONCLUSÃO

Os dados obtidos no presente estudo permitiram concluir que o intervalo de alongamento de 30 segundos foi mais efetivo, pois, apresentou relaxamento tecidual superior ao intervalo de 15 segundos, e semelhante ao observado para o intervalo de 45 segundos, fato a ser considerado no estabelecimento de novos protocolos clínicos de alongamento.

REFERÊNCIAS

1. Osinbowale OO, Milani RV. Benefits of exercise therapy in peripheral arterial disease. *Prog Cardiovasc Dis*. 2011;53(6):447-53.
2. Walsh NP, Gleeson M, Shephard RJ, Gleeson M, Woods JA, Bishop NC, et al. Position statement. Part one: Immune function and exercise. *Exerc Immunol Rev*. 2011;17:6-63.
3. Bandy WD, Irion JM, Briggler M. The effect of static stretch and dynamic range of motion training on the flexibility of the hamstring muscles. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1998;27(4):295-300.
4. Bixler B, Jones RL. High-school football injuries: effects of a post-halftime warm-up and stretching routine. *Fam Pract Res J*. 1992;12(2):131-9.
5. Rosenbaum D, Hennig EM. The influence of stretching and warm-up exercises on Achilles tendon reflex activity. *J Sports Sci*. 1995;13(6):481-90.
6. Safran MR, Seaber AV, Garrett WE Jr. Warm-up and muscular injury prevention. An update. *Sports Med*. 1989;8(4):239-49.
7. Franklin B, editor. *ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription*. Baltimore: Williams and Wilkins; 2005.
8. Decoster LC, Cleland J, Altieri C, Russell P. The effects of hamstring stretching on range of motion: a systematic literature review. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2005;35(6):377-87.
9. Amako M, Oda T, Masuoka K, Yokoi H, Campisi P. Effect of static stretching on prevention of injuries for military recruits. *Mil Med*. 2003;168(6):442-6.
10. Feland JB, Myrer JW, Schulthies SS, Fellingham GW, Measom GW. The effect of duration of stretching of the hamstring muscle group for increasing range of motion in people aged 65 years or older. *Phys Ther*. 2001;81(5):1110-7.
11. Pope R, Herbert R, Kirwan J. Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in Army recruits. *Aust J Physiother*. 1998;44(3):165-172.
12. Ryan ED, Herda TJ, Costa PB, Defreitas JM, Beck TW, Stout J, et al. Determining the minimum number of passive stretches necessary to alter musculotendinous stiffness. *J Sports Sci*. 2009;27(9):957-61.
13. Verrall GM, Slavotinek JP, Barnes PG. The effect of sports specific training on reducing the incidence of hamstring injuries in professional Australian Rules football players. *Br J Sports Med*. 2005;39(6):363-8.
14. Sverdlík A, Lanir Y. Time-dependent mechanical behavior of sheep digital tendons, including the effects of preconditioning. *J Biomech Eng*. 2002;124(1):78-84.
15. Yamamoto E, Hayashi K, Yamamoto N. Mechanical properties of collagen fascicles from stress-shielded patellar tendons in the rabbit. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1999;14(6):418-25.
16. Pioletti DP, Rakotomanana LR. On the independence of time and strain effects in the stress relaxation of ligaments and tendons. *J Biomech*. 2000;33(12):1729-32.
17. Duenwald SE, Vanderby R Jr, Lakes RS. Viscoelastic relaxation and recovery of tendon. *Ann Biomed Eng*. 2009;37(6):1131-40.
18. Wren TA, Lindsey DP, Beaupré GS, Carter DR. Effects of creep and cyclic loading on the mechanical properties and failure of human Achilles tendons. *Ann Biomed Eng*. 2003;31(6):710-7.
19. Hartig DE, Henderson JM. Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *Am J Sports Med*. 1999;27(2):173-6.
20. de Weijer VC, Gorniak GC, Shamus E. The effect of static stretch and warm-up exercise on hamstring length over the course of 24 hours. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2003;33(12):727-33.
21. Taylor DC, Dalton JD Jr, Seaber AV, Garrett WE Jr. Viscoelastic properties of muscle-tendon units. The biomechanical effects of stretching. *Am J Sports Med*. 1990;18(3):300-9.
22. Yeung EW, Yeung SS. A systematic review of interventions to prevent lower limb soft tissue running injuries. *Br J Sports Med*. 2001;35(6):383-9.
23. Small K, Mc Naughton L, Matthews M. A systematic review into the efficacy of static stretching as part of a warm-up for the prevention of exercise-related injury. *Res Sports Med*. 2008;16(3):213-31.
24. Witvrouw E, Mahieu N, Roosen P, McNair P. The role of stretching in tendon injuries. *Br J Sports Med*. 2007;41(4):224-6.
25. Teramoto A, Luo ZP. Temporary tendon strengthening by preconditioning. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2008;23(5):619-22.
26. Fung YC. *Biomechanics: mechanical properties of living tissues*. New York: Springer-Verlag; 1993.
27. Provenzano PP, Heisey D, Hayashi K, Lakes R, Vanderby R Jr. Subfailure damage in ligament: a structural and cellular evaluation. *J Appl Physiol*. 2002;92(1):362-71.
28. Screen HR. Investigating load relaxation mechanics in tendon. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2008;1(1):51-8.
29. Su WR, Chen HH, Luo ZP. Effect of cyclic stretching on the tensile properties of patellar tendon and medial collateral ligament in rat. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2008;23(7):911-7.