



Efeito dos exercícios de fortalecimento e alongamento sobre a rigidez tecidual passiva

Effect of strength and stretching training on tissue passive stiffness

Vanessa Lara de Araújo^[a], Viviane Otoni do Carmo Carvalhais^[b], Juliana de Melo Ocarino^[c],
Thales Rezende de Souza^[d], Sérgio Teixeira da Fonseca^[e]

^[a] Mestranda em Ciências da Reabilitação, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG - Brasil, e-mail: vavalara@hotmail.com

^[b] Mestranda em Ciências da Reabilitação, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG - Brasil, e-mail: viviane.carvalhais@hotmail.com

^[c] Doutora em Ciências da Reabilitação pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), professora adjunta do curso de Fisioterapia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG - Brasil, e-mail: julianaocarino@gmail.com

^[d] Doutorando em Ciências da Reabilitação, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG - Brasil, e-mail: thalesrsouza@gmail.com

^[e] Sc.D., professor adjunto do curso de Fisioterapia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG - Brasil, e-mail: sfonseca@pib.com.br

Resumo

Introdução: Níveis excessivos ou reduzidos de rigidez passiva dos músculos, tendões, ligamentos e fás-cias podem estar relacionados à ocorrência de disfunções de movimento e ao desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas. O tratamento dessas condições comumente envolve a aplicação de técnicas voltadas para alterar a rigidez, tais como fortalecimento ou alongamento. **Objetivo:** Realizar uma revisão crítica da literatura para investigar os efeitos de exercícios de fortalecimento e alongamento sobre a rigidez tecidual passiva. **Materiais e métodos:** Foi realizada consulta aos bancos de dados Medline, SciELO, Lilacs e PEDro. Foram incluídos estudos experimentais realizados em animais ou humanos, sem limite de data. **Resultados:** Foram selecionados 20 estudos que investigaram o efeito do fortalecimento sobre a rigidez passiva e 13 que pesquisaram o efeito de programas de alongamento sobre a rigidez passiva. **Conclusão:** Os estudos sugerem que exercícios de fortalecimento de alta intensidade são capazes de aumentar os níveis de rigidez tecidual tanto em animais quanto em humanos. O aumento da área de secção transversa e modificações na

composição dos tecidos são alguns dos mecanismos responsáveis por esse aumento. Em relação ao fortalecimento muscular em posição alongada e ao fortalecimento excêntrico em toda amplitude com carga moderada, os resultados são insuficientes para afirmar sobre o real efeito dessas técnicas em reduzir os níveis de rigidez. Por fim, programas de alongamento estático ou do tipo *contraí-relaxa* parecem reduzir a rigidez tecidual quando realizados por meio de protocolos de longa duração e/ou alta frequência.

Palavras-chave: Rigidez. Exercícios de alongamento muscular. Treinamento de resistência.

Abstract

Introduction: High or low levels of passive stiffness of muscles, tendons, ligaments and fascia can be related to the occurrence of movement dysfunctions and to the development of musculoskeletal injuries. The treatment of these conditions often involves the use of techniques to modify stiffness, such as strengthening or stretching.

Objective: To conduct a critical review in order to investigate the effects of strength and stretching exercises on tissue passive stiffness. **Materials and methods:** A literature research was performed with the Medline, SciELO, Lilacs and PEDro. Experimental studies carried out in animals and humans, without data limit, were included in this research. **Results:** Twenty studies about the effect of strength training on passive stiffness and 13 studies about the effect of stretching exercises on passive stiffness were selected. **Conclusion:** The studies suggest that strength exercises of high intensity are capable to increase the levels of tissue stiffness in animals and humans. The increase in cross-sectional area and changes in tissue composition are some of the mechanisms responsible to this enhance. Regarding the muscle strengthening in lengthen position and the eccentric strengthening in the whole range of motion with moderate load, the results are insufficient to confirm the real effects of these techniques in reducing the stiffness levels. Finally, static or contract-relax stretching programs seem to decrease tissue stiffness when performed through protocols of long duration and/or high frequency.

Keywords: Stiffness. Muscle stretching exercises. Resistance training.

Introdução

A rigidez passiva apresentada por músculos, tendões, ligamentos e fâscias é uma propriedade mecânica relacionada com a resistência que esses tecidos oferecem à deformação na ausência de atividade contrátil, sendo representada graficamente pela inclinação da curva tensão-deformação (1). A área abaixo dessa curva representa a quantidade de energia que o tecido é capaz de absorver antes de atingir o seu ponto de ruptura (1, 2). Quanto maior essa área, maior será o potencial do tecido de absorver energia e, portanto, menor sua susceptibilidade à lesão (2-4). Além da influência da rigidez na capacidade de um músculo absorver energia, essa propriedade passiva também pode influenciar a estabilidade de uma articulação contra a ação de perturbações externas (5). Loram et al. (5) concluíram que 70 a 100% da rigidez do tornozelo necessária para manutenção da estabilidade durante a postura ortostática é conferida pelos componentes passivos dessa articulação. Além disso, a rigidez do tendão pode influenciar a transmissão de energia do músculo para o

osso e, conseqüentemente, a velocidade de desenvolvimento da força muscular (6). Portanto, a rigidez passiva apresentada pelos tecidos biológicos está relacionada à quantidade de energia que essas estruturas são capazes de absorver, à estabilidade articular e à capacidade de transferência de energia entre os tecidos.

Alterações nos níveis de rigidez tecidual passiva têm sido associadas à ocorrência de disfunções de movimento e ao desenvolvimento de lesões no sistema musculoesquelético (7-12). Tecidos com baixos níveis de rigidez deformam-se em grande quantidade diante da aplicação de uma força externa de pequena magnitude, absorvendo pouca quantidade de energia e permitindo uma movimentação articular excessiva (13). Williams et al. (9) demonstraram que corredores com baixos níveis de rigidez dos membros inferiores apresentam maior incidência de lesão em tecidos moles do que aqueles com maiores níveis de rigidez. Em contrapartida, um tecido com rigidez excessiva também possui uma habilidade limitada de absorver energia, uma vez que sofre pouca deformação e, conseqüentemente, apresenta uma pequena área abaixo da curva tensão-deformação (13).

Essa baixa capacidade em absorver energia pode favorecer a transferência de grande quantidade de energia para tecidos adjacentes, predispondo-os a um maior risco de lesões (8, 9, 13). Williams et al. (9) evidenciaram que corredores com rigidez muito elevada dos membros inferiores apresentam maior incidência de fraturas por estresse do que indivíduos com menores níveis de rigidez. Considerando a relação entre níveis excessivos e reduzidos de rigidez tecidual e o consequente desenvolvimento de lesões do sistema musculoesquelético, a prevenção e o tratamento dessas lesões devem envolver a utilização de técnicas com o intuito de promover mudanças na rigidez de tecidos biológicos (8, 13, 14).

A rigidez tecidual é dependente das dimensões físicas (área de secção transversa e comprimento tecidual) (4, 15, 16) e da composição dos tecidos biológicos (7, 16-20). Estratégias de intervenção capazes de alterar qualquer um desses fatores podem gerar mudanças na rigidez tecidual (7, 14, 16). O fortalecimento e o alongamento são técnicas frequentemente utilizadas na tentativa de modificar os níveis de rigidez, mas os efeitos dessas técnicas na rigidez tecidual ainda são controversos (21-23). Dessa forma, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão crítica da literatura para investigar os efeitos, a longo prazo, de técnicas de fortalecimento e alongamento sobre a rigidez tecidual passiva. Com o intuito de alcançar um amplo entendimento sobre os efeitos dessas técnicas, optou-se por analisar as evidências obtidas tanto em seres humanos quanto em cobaias.

Materiais e métodos

Foi realizada consulta aos bancos de dados *National Library of Medicine* (Medline), *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Literatura Latino-Americana e do Caribe (Lilacs) e *Physiotherapy Evidence Database* (PEDro) no período de outubro de 2009 a outubro de 2010. Foram utilizadas na busca as seguintes palavras-chave: rigidez (*stiffness*), resistência passiva (*passive resistance*), flexibilidade (*flexibility*), exercícios de alongamento muscular (*muscle stretching exercises*) e treinamento de resistência (*resistance training*).

Os critérios de inclusão foram: (a) estudos realizados em animais ou humanos que investigaram o efeito dos exercícios de alongamento e/ou fortalecimento sobre a rigidez tecidual passiva; (b) estudos classificados como experimentais ou quase-experimentais; e (c) estudos publicados nos idiomas inglês, português ou espanhol.

As buscas foram realizadas sem limite de data, uma vez que artigos clássicos do tema foram publicados nas décadas de 60 e 80. Além disso, não houve restrição em relação à presença de patologias neuromusculares e à faixa etária dos voluntários e/ou cobaias.

Os critérios de exclusão foram: (a) estudos que investigaram apenas o efeito agudo dos exercícios de fortalecimento e alongamento sobre a rigidez e (b) estudos que não realizaram a medida direta de rigidez passiva e utilizaram a amplitude de movimento (ADM) articular passiva como desfecho para inferir sobre rigidez. Destaca-se que as listas de referências dos artigos selecionados foram avaliadas para obtenção de estudos adicionais.

Resultados

Foram selecionados 20 estudos (8 em animais e 12 em humanos) que investigaram o efeito de programas de fortalecimento sobre a rigidez passiva de músculos, do complexo tendão-aponeurose e/ou da articulação. Informações sobre os métodos e os resultados desses estudos encontram-se no Quadro 1. Em relação ao efeito de programas de alongamento sobre a rigidez passiva de músculos e articulações, foram selecionados 13 estudos (4 em animais e 9 em humanos). Os métodos e os resultados desses estudos estão descritos na Quadro 2.

Discussão

Fortalecimento muscular

Os resultados desta revisão demonstram que programas de fortalecimento muscular foram capazes de alterar a rigidez passiva de músculos e articulações devido à ocorrência de remodelação tecidual (20, 24-30). Estudos evidenciaram um aumento na rigidez muscular passiva de animais após 4 a 15 semanas de programas de treinamento intensivo de corrida ou salto (20, 24, 25, 27). Além disso, estudos em humanos também identificaram um aumento na rigidez articular passiva após 7 a 48 semanas de exercícios de fortalecimento isotônico, isométrico ou excêntrico, utilizando cargas de alta intensidade (superior a 75% de uma repetição máxima) (26, 28-30). O principal mecanismo responsável por essa alteração da rigidez após a realização de programas de fortalecimento ainda é incerto.

Quadro 1 - Descrição dos estudos que investigaram o efeito de programas de fortalecimento muscular sobre a rigidez tecidual passiva

(Continua)

Estudo	Amostra total e grupos	Intervenção	Frequência; duração total	Resultado
6	8 indivíduos	Fortalecimento isométrico dos extensores de joelho com carga de 70% da CIVM em 4 rep. de 20s	4x/sem.; 12 sem.	↑ rigidez do tendão do vasto lateral
19	36 ratos – controle, corrida e latirismo	Corrida – 10 a 40 min. Latirismo – dieta para indução	7x/sem. (2x/dia); 4 sem.	↑ rigidez do sóleo no grupo corrida e ↓ no grupo latirismo Ausência de efeito no reto femoral
21	9 crianças com paralisia cerebral	Fortalecimento isotônico dos flexores e extensores de punho + eletroestimulação	3x/sem.; 8 sem.	Ausência de efeito no punho
23	74 indivíduos – controle e fortalecimento	Fortalecimento excêntrico dos flexores plantares contra resistência da massa corporal em 3 séries de 15 rep.	7x/sem.; 6 sem.	↓ torque passivo dos flexores plantares Ausência de efeito no tendão de Aquiles
24	18 ratos – controle, corrida de <i>sprint</i> e corrida de resistência	1 ^a -4 ^a sem – corrida por 15 a 20 min. para os grupos corrida; 5 ^a -10 ^a sem –10 <i>sprints</i> de 20s (2 dias) e corrida por 15 min. (3 dias) para o grupo <i>Sprint</i> e corrida por 1 h para o grupo resistência	5x/sem.; 10 sem.	↑ rigidez do sóleo em ambos os grupos corrida e ausência de efeito no gastrocnêmio
25	15 ratos – controle e corrida	Corrida por 30 min.	5x/sem.; 7 a 9 sem.	↑ rigidez do tríceps braquial
26	30 indivíduos – fortalecimento em ADM restrita e ADM completa	Fortalecimento isotônico dos flexores de cotovelo com carga de 80% de 1RM em 3 séries de 8 rep.	3x/sem.; 8 sem.	↑ rigidez do cotovelo no grupo fortalecimento em ADM completa
27	60 ratos – controle e salto	90, 180 e 60 saltos para os ratos com 50, 90 e 140 dias de idade, respectivamente	7x/sem.; 15 sem.	↑ rigidez do extensor dos dedos, reto femoral e semimembranoso. Ausência de efeito no psoas
28	22 indivíduos – controle e fortalecimento	Fortalecimento isométrico dos isquiossurais com carga de 80 a 100% da CIVM em 3 séries de 4 rep. de 5s	3x/sem.; 13 sem.	↑ rigidez dos isquiossurais
29	26 idosos – controle e fortalecimento	Fortalecimento isotônico dos flexores plantares com carga de 50 a 75% de 3RM em 3 séries de 10 rep.	2x/sem.; 48 sem.	↑ rigidez do tornozelo
30	18 indivíduos – controle e fortalecimento	Fortalecimento excêntrico do gastrocnêmio e sóleo com carga de 120% de 1RM em 6 séries de 6 rep.	3x/sem.; 7 sem.	↑ rigidez do gastrocnêmio

Quadro 1 - Descrição dos estudos que investigaram o efeito de programas de fortalecimento muscular sobre a rigidez tecidual passiva

(Conclusão)

Estudo	Amostra total e grupos	Intervenção	Frequência; duração total	Resultado
33	14 indivíduos – controle e fortalecimento	Fortalecimento isométrico dos extensores de joelho com carga de 70% da CIVM em 10 rep. de 15s	4x/sem.; 12 sem.	↑ rigidez do tendão-aponeurose patelar Ausência de efeito no tendão patelar
34	15 homens	Fortalecimento isotônico dos extensores de joelho com carga de 40% de 1RM em 1 série de 10 rep. e com carga de 80% de 1RM em 4 séries de 10 rep.	3x/sem.; 9 sem.	↑ rigidez do tendão patelar
35	28 coelhos – controle e corrida	Corrida	Frequência não relatada; 24 sem.	↑ rigidez do tendão do tibial posterior Ausência de efeito no tendão dos fibulares
36	9 suínos – controle e corrida	1 ^a -3 ^a sem: corrida por 20 min.; 3 ^a -48 ^a sem: corrida por 1 a 1,5 h	5x/sem.; 12 meses	↑ rigidez do tendão do flexor dos dedos
37	9 suínos – controle e corrida	Corrida por 1 a 1,5 h	5x/sem.; 12 meses	↑ rigidez do tendão do extensor dos dedos
41	14 idosos – controle e fortalecimento	Fortalecimento isotônico dos extensores de joelho com carga de 60 a 80% de 5RM em 2 séries de 10 rep.	3x/sem.; 14 sem.	↑ rigidez do tendão patelar
42	11 indivíduos	1 ^o -3 ^o mês: corrida de ↓ intensidade por 30 a 50 min.; 3 ^o -9 ^o mês: ↑ progressivo da intensidade da corrida	2 a 3x/sem.; 9 meses	Ausência de efeito na rigidez do tornozelo
43	12 homens	Fortalecimento isotônico pesado dos extensores de joelho em um dos membros com carga de 70% de 1RM em 10 séries de 8 rep. e fortalecimento leve do outro membro em 10 séries de 36 rep.	3x/sem.; 12 sem.	↑ rigidez do tendão patelar no membro que realizou treino pesado
45	28 coelhos – controle e corrida	Corrida por 3 a 5 min.	7x/sem. (3x/dia); 40 sem.	Ausência de efeito no tornozelo

Legenda: ↑ = aumento; ↓ = redução; ADM = amplitude de movimento; CIVM = contração isométrica voluntária máxima; RM = repetição máxima; rep = repetição.

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 2 - Descrição dos estudos que investigaram o efeito de programas de alongamento muscular sobre a rigidez tecidual passiva

(Continua)

Estudo	Amostra total e grupos	Intervenção	Frequência; duração total	Resultado
22	81 indivíduos – controle, alongamento estático e alongamento balístico	Alongamento estático dos isquiossurais em 5 rep. de 20s ou alongamento balístico em 5 rep. de 5s	7x/sem.; 6 sem.	↓ pico de torque passivo do tornozelo registrado a 10° de dorsiflexão no grupo estático ↓ rigidez do tendão de Aquiles no grupo balístico
40	8 homens – alongamento em um membro e nenhuma intervenção no outro membro	Alongamento estático dos flexores plantares em 5 rep. de 45s	3x/dia; 3 sem.	↓ torque passivo e rigidez passiva do tornozelo Ausência de efeito no tendão de Aquiles
46	45 indivíduos – controle, fortalecimento e alongamento	Fortalecimento isotônico dos isquiossurais em posição alongada com carga de 60% de 1RM em 3 séries de 12 rep. ou alongamento estático dos isquiossurais em 4 rep. de 30s	3x/sem.; 8 sem.	↑ ADM de joelho mensurada quando uma força padronizada é aplicada apenas no grupo fortalecimento ↑ tolerância ao alongamento nos grupos fortalecimento e alongamento
50	12 atletas	Alongamento contrai-relaxa dos flexores plantares em 5 rep.	2x/dia; 3 sem.	↓ rigidez dos flexores plantares
51	7 mulheres – alongamento em um membro e nenhuma intervenção no outro membro	Alongamento estático dos isquiossurais em 5 rep. de 45s	2x/dia; 3 sem.	Ausência de efeito na rigidez dos isquiossurais
52	29 homens – controle, alongamento estático e alongamento balístico	Alongamento estático dos isquiossurais em 10 rep. de 30s ou alongamento balístico em 10 rep. de 30s	3x/sem.; 4 sem.	Ausência de efeito na rigidez dos isquiossurais
55	14 indivíduos – controle e alongamento	Alongamento contrai-relaxa dos isquiossurais por 10 min.	2x/dia; 4 sem.	Ausência de efeito na rigidez dos isquiossurais
56	36 ratos em 6 grupos – controle, imobilização com sóleo encurtado, imobilização com sóleo encurtado + alongamento 15, 30, 60 ou 120 min.	Alongamento de sóleo por 15, 30, 60 ou 120 min.	7x/sem.; 2 sem.	↓ ADM de tornozelo e ↓ sarcômeros em série nos grupos sem alongamento e alongamento 15 min. ↑ sarcômeros em série nos grupos alongamento 60 e 120 min.

Quadro 2 - Descrição dos estudos que investigaram o efeito de programas de alongamento muscular sobre a rigidez tecidual passiva

(Conclusão)

Estudo	Amostra total e grupos	Intervenção	Frequência; duração total	Resultado
57	18 ratos – imobilização com sóleo encurtado, imobilização com sóleo encurtado + alongamento e alongamento	Alongamento estático dos flexores plantares por 40 min. no membro esquerdo	A cada 3 dias; 3 sem.	↑ sarcômeros em série e comprimento do sóleo no grupo alongamento. ↓ sarcômeros em série e comprimento do sóleo nos grupos imobilização
58	10 ratos – imobilização com sóleo encurtado e imobilização com sóleo encurtado + alongamento	Alongamento de sóleo por 15 min.	Dias alternados; 10 dias	↓ ADM do tornozelo e ↑ tecido conectivo muscular ocorreram em menor intensidade no grupo que realizou alongamento
59	43 homens – controle e alongamento	Alongamento estático dos isquiossurais em 3 rep. de 30s	5x/sem.; 6 sem.	↑ ADM do joelho e ↑ rigidez dos isquiossurais nos últimos 10% da ADM disponível
60	40 indivíduos – controle, alongamento 1 série e alongamento 2 séries	Alongamento estático dos isquiossurais em 1 série de 5 rep. de 30s ou 2 séries de 5 rep. de 30s	3x/sem.; 8 sem. (grupo 1 série) e 4 sem. (grupo 2 séries)	↑ ADM nos grupos alongamento e ↑ do torque passivo na ADM máxima apenas no grupo 2 séries
62	26 ratos – imobilização com sóleo encurtado, imobilização com sóleo encurtado + alongamento e alongamento	Alongamento estático dos flexores plantares por 40 min. no membro esquerdo	1x/sem.; 3 sem.	↓ sarcômeros em série nos grupos imobilização. Ausência de efeito no número de sarcômeros no grupo alongamento

Legenda: ↑ = aumento; ↓ = redução; ADM = amplitude de movimento; CIVM = contração isométrica voluntária máxima; RM = repetição máxima; rep = repetição.

Fonte: Dados da pesquisa.

Ducomps et al. (27) atribuíram o aumento da rigidez a uma maior concentração de colágeno no tecido conectivo ao redor do músculo, evidenciando uma correlação superior a 72% entre a concentração de colágeno e o nível de rigidez muscular. Por outro lado, Muniz et al. (24) atribuíram a alteração nos níveis de rigidez à mudança na quantidade relativa de proteínas e colágeno e à reorganização das proteínas miofibrilares. Além disso, alterações de rigidez poderiam ser explicadas pelo aumento na área de secção transversa de músculos que são submetidos a programas de treinamento resistido com duração de seis a oito semanas (31, 32).

Estudos que investigaram a relação entre a rigidez passiva da unidade musculotendínea e a área de secção transversa do músculo demonstram uma relação linear positiva entre essas variáveis com um coeficiente de correlação superior a 75% (4, 15). Dessa forma, grande parte dos artigos analisados demonstrou que programas de fortalecimento muscular são capazes de aumentar os níveis de rigidez passiva tanto em animais quanto em humanos por meio de diferentes mecanismos.

De acordo com a literatura pesquisada, apenas dois estudos (21, 26) não identificaram aumento

na rigidez passiva articular após treinamento de força. Ocarino et al. (26) evidenciaram ausência de diferença significativa na rigidez do cotovelo após treinamento de resistência dos flexores de cotovelo na amplitude final do movimento de flexão. Esses autores sugeriram que o volume de trabalho muscular imposto nesse treinamento não foi capaz de promover a hipertrofia necessária para alterar a rigidez articular, mesmo utilizando carga de alta intensidade. Em contrapartida, quando o treinamento de hipertrofia foi realizado em amplitude completa de movimento, esse treino foi um estímulo suficiente para o aumento significativo da rigidez do cotovelo.

Vaz et al. (21) também não identificaram alteração na rigidez passiva do punho de crianças com paralisia cerebral após a realização de exercícios resistidos e eletroestimulação dos flexores e extensores de punho. Isso ocorreu porque, segundo os autores, músculos de crianças com paralisia cerebral necessitam, possivelmente, de protocolos de intervenção mais agressivos para produzir alterações na rigidez, uma vez que a musculatura dessa população apresenta alterações histológicas severas. Além disso, a intensidade da carga do exercício não foi definida de maneira objetiva, mas sim de acordo com a tolerância do indivíduo, o que pode ter interferido na ausência de ganho significativo na rigidez do punho das crianças com paralisia cerebral. Esses estudos permitiram observar que a modificação da rigidez articular requer protocolos de intervenção de alta intensidade e grande volume de trabalho muscular.

Estudos também investigaram a influência de programas de fortalecimento sobre a rigidez passiva isolada do complexo tendão-aponeurose, utilizando imagens de ultrassonografia (6). Foram evidenciados aumentos da rigidez do complexo tendão-aponeurose do joelho após 9 a 14 semanas de fortalecimento isométrico ou isotônico dos extensores de joelho em adultos jovens e idosos (6, 30, 33, 34). O aumento da rigidez de tendões da região do tornozelo e pé também foi reportado em estudos com animais após treinamento de corrida em esteira por período de 6 a 12 meses (35-37). O aumento do diâmetro e da densidade das fibras de colágeno, bem como alterações de sua forma ondular (*crimp form*), são alguns mecanismos sugeridos para explicar o aumento da rigidez do tendão-aponeurose (38). Além disso, parece que a adaptação do complexo tendão-aponeurose ocorre primariamente na aponeurose muscular, uma vez que

a taxa metabólica do colágeno muscular é maior do que a do colágeno do tendão (39).

Um estudo demonstrou que a rigidez do complexo tendão-aponeurose de indivíduos jovens aumentou significativamente após 3 a 12 semanas de treinamento de força, enquanto a rigidez isolada do tendão não foi alterada (33). O aumento da área de secção transversa dos tendões é outro mecanismo sugerido para explicar a alteração da rigidez. Embora alguns estudos demonstrem que a área de secção transversa dos tendões não aumenta após um programa de fortalecimento (6, 40-42), Kongsgaard et al. (43) observaram aumento na área de secção transversa do tendão patelar após treinamento de força de alta intensidade. Além disso, um estudo transversal demonstrou que a área de secção transversa do tendão de Aquiles de corredores é maior do que a de indivíduos sedentários (44). Assim, há evidências de que programas de fortalecimento muscular são capazes de aumentar a rigidez passiva do complexo tendão-aponeurose; no entanto, o mecanismo responsável por esse aumento ainda é incerto.

Embora a maioria dos estudos demonstre que programas de fortalecimento promovem mudanças significativas na rigidez do complexo tendão-aponeurose, três estudos não identificaram esse efeito após exercício de fortalecimento excêntrico dos flexores plantares (23) ou treino de corrida (42, 45). Mahieu et al. (23) atribuíram a ausência de efeito significativo sobre a rigidez do tendão ao uso de carga relativamente baixa, à não progressão dessa carga e ao curto tempo de intervenção. Já o treino de corrida realizado nos outros estudos (42, 45) não pode ser considerado um fortalecimento específico de flexores plantares. Além disso, a ausência de progressão da intensidade da corrida (45), a falta de controle dessa intensidade (42) e o curto período de prática diária da corrida (45) são alguns dos fatores que podem justificar a ausência de efeito dos programas de intervenção utilizados nesses estudos. Dessa forma, a utilização de cargas elevadas, a progressão da intensidade da carga e um tempo mínimo de nove semanas de intervenção parecem ser necessários para que seja observado aumento do nível de rigidez do complexo tendão-aponeurose.

Além de apontar que o fortalecimento muscular é capaz de aumentar a rigidez dos músculos e do complexo tendão-aponeurose, alguns estudos têm proposto que o fortalecimento isotônico em posição alongada pode diminuir a rigidez muscular devido à adição de sarcômeros em série e ao consequente aumento do comprimento muscular (46). Segundo

Herbert (7), estimular o músculo a trabalhar em posições alongadas pode aumentar o seu número de sarcômeros em série. No entanto, não existem evidências suficientes que permitam confirmar essa hipótese. A literatura sugere, ainda, que o treinamento de força excêntrica é capaz de aumentar o número de sarcômeros em série (23, 47, 48), o que também poderia repercutir em uma diminuição da rigidez muscular.

Um estudo recente identificou diminuição do pico de torque de resistência passiva de dorsiflexão após programas de treinamento excêntrico de flexores plantares em amplitude completa contra a resistência da massa corporal total durante toda a intervenção. O mesmo estudo ainda sugeriu que esse programa é capaz de alterar as características estruturais do tecido, aumentando o número de sarcômeros em série e diminuindo a rigidez articular (23). No entanto, Koh et al. (49) não evidenciaram aumento do número de sarcômeros em séries no músculo tibial anterior de ratos submetidos a 12 semanas de treinamento excêntrico com carga de intensidade alta. Assim, estudos adicionais são necessários para determinar se o fortalecimento em posição alongada e/ou o treino de força excêntrica em toda a amplitude são capazes de modificar a rigidez tecidual e se existe influência da intensidade da carga nesse processo.

Alongamento muscular

O alongamento é comumente utilizado com o objetivo de aumentar o comprimento muscular e, conseqüentemente, diminuir a rigidez tecidual (50, 51). A maioria dos estudos utiliza a ADM como variável de desfecho após programas de alongamento (22, 51, 52). No entanto, essa medida não é capaz de captar as mudanças estruturais nos tecidos, visto que aumentos na ADM podem ocorrer devido ao efeito viscoelástico do tecido (53, 54) e ao aumento da tolerância ao alongamento (51, 52, 55). Com o intuito de investigar as alterações estruturais após um treino de alongamento, estudos (50, 52, 53) têm realizado a medida do torque passivo de resistência em associação com a amplitude de movimento, utilizando o dinamômetro isocinético.

Alguns estudos (22, 53) têm realizado ainda a medida do torque passivo de resistência no dinamômetro combinado com a ultrassonografia, objetivando identificar modificações nas características mecânicas

dos tendões. Além disso, pesquisas realizadas com animais buscam evidenciar se o alongamento é capaz de aumentar o número de sarcômeros em série e, conseqüentemente, reduzir a rigidez tecidual (56-58). Assim, diferentes metodologias têm sido utilizadas para investigar a eficácia de técnicas de alongamento sobre as características estruturais dos tecidos.

Programas de alongamento estático envolvendo protocolos de até cinco repetições de 45 segundos de sustentação realizados em períodos de três a seis semanas não foram eficazes em modificar a rigidez tecidual passiva (51, 52, 59, 60). Chan et al. (60) evidenciaram aumento da ADM passiva do joelho associado ao aumento do torque passivo de resistência na ADM final do joelho após um programa de alongamento realizado por quatro semanas, o que sugere uma ausência de modificação estrutural no tecido. Os autores justificam que o aumento na ADM foi observado devido a uma maior tolerância dos indivíduos ao alongamento. No entanto, o mesmo programa de alongamento realizado ao longo de oito semanas foi capaz de aumentar a ADM passiva de joelho sem um concomitante aumento do torque passivo de resistência, o que é indicativo de redução da rigidez passiva de isquiossurais nesses indivíduos.

Outro estudo que realizou um programa de alongamento de isquiossurais durante oito semanas não evidenciou alteração das características estruturais do tecido (46). Porém, nesse estudo, o alongamento foi realizado apenas três vezes por semana, o que pode ter sido um tempo insuficiente para repercutir em modificações estruturais do tecido. Além disso, um programa de alongamento de flexores plantares realizado três vezes ao dia ao longo de todos os dias da semana também foi eficaz em reduzir a rigidez passiva do tornozelo após três semanas de intervenção (53). Dessa forma, para que o alongamento possa resultar em diminuição da rigidez, programas de longa duração e/ou alta frequência de realização parecem necessários. Como demonstrado em estudos anteriores (18, 61), a manutenção do alongamento por período prolongado, com emprego de imobilização, parece ser capaz de aumentar o número de sarcômeros em série e o comprimento muscular.

Pesquisas realizadas em animais investigaram a influência de programas de alongamento de diferentes durações e frequências sobre o número de sarcômeros em série do músculo sóleo (56-58, 62). Esses estudos pesquisaram o efeito do alongamento estático realizado em músculos imobilizados na posição

encurtada, ou seja, com tendência a tornarem-se mais rígidos. Nesses estudos, um alongamento mantido por no mínimo 40 minutos e realizado pelo menos duas vezes por semana foi requerido para aumentar o número de sarcômeros em série – cabe o esclarecimento de que o protocolo de 40 minutos foi efetivo apenas em músculos não imobilizados. Para que o efeito do alongamento sobre músculos imobilizados em posição encurtada fosse verificado, protocolos de maior duração (uma ou duas horas) e maior frequência de realização (sete vezes por semana) foram necessários (56).

A eficácia da técnica de alongamento contraí-relaxa em alterar a rigidez passiva também foi investigada nas articulações do tornozelo (50) e joelho (55). Toft et al. (50) observaram diminuição da rigidez do tornozelo após a realização do alongamento contraí-relaxa em flexores plantares de atletas saudáveis. Em contrapartida, Halbertsma et al. (55) aplicaram a mesma técnica sobre os isquiossurais com resultados satisfatórios para redução de rigidez do joelho. Esse resultado pode ser justificado pelas diferentes musculaturas investigadas e pelo fato de que os indivíduos do estudo de Halbertsma et al. (55) apresentavam encurtamento importante de isquiossurais. Assim, como evidenciado no músculo sóleo de animais, é possível que protocolos mais severos sejam necessários para alterar a estrutura de tecidos com rigidez alta.

Mahieu et al. (22) compararam o efeito dos alongamentos estático e balístico sobre as propriedades passivas do tornozelo e sobre a rigidez passiva do tendão de Aquiles. Esses autores sugeriram redução na rigidez articular passiva do tornozelo após seis semanas de alongamento estático e ausência de mudança significativa na rigidez do tornozelo após programa de alongamento balístico. Segundo esses autores, é necessário que a força aplicada durante o alongamento seja contínua para que ocorra alteração na rigidez articular passiva. No entanto, as modificações da rigidez articular foram inferidas a partir da medida do pico de torque de resistência passiva em amplitude padronizada e não de forma direta. Ainda, esse estudo evidenciou diminuição da rigidez passiva do tendão de Aquiles apenas após o programa de alongamento balístico. A explicação para esse fato não é clara, mas pode estar relacionada à diferença do efeito dos alongamentos estático e balístico sobre os elementos contráteis e elásticos (22). Talvez, o efeito do alongamento balístico sobre a rigidez do tendão

esteja relacionado à atividade muscular que ocorre durante esse alongamento.

Considerações finais

As evidências encontradas na literatura sugerem, em sua maioria, que exercícios de fortalecimento isotônico, isométrico ou excêntrico de alta intensidade são capazes de aumentar os níveis de rigidez passiva de músculos, tendões e articulações tanto em animais quanto em humanos. O aumento da área de secção transversa e modificações na composição dos tecidos são alguns dos mecanismos responsáveis pelo aumento da rigidez, sendo que esses mecanismos podem atuar simultaneamente durante o processo de remodelação tecidual. Além disso, ainda não está claro se o mecanismo responsável pela alteração da rigidez irá depender ou não do tipo de contração muscular realizada.

Em relação às técnicas direcionadas para redução da rigidez, o treino de força excêntrica com carga moderada realizado em toda a amplitude de movimento articular e o fortalecimento em posição alongada são sugeridos. No entanto, não há evidência suficiente na literatura acerca do efeito dessas técnicas sobre a rigidez tecidual. Além disso, programas de alongamento estático ou do tipo contraí-relaxa parecem eficazes em reduzir a rigidez tecidual passiva quando realizados com a aplicação de protocolos de longa duração e/ou alta frequência. Estudos adicionais devem investigar o efeito de protocolos de alongamento de maior duração em humanos, no qual a amplitude adquirida seja posteriormente utilizada pelos indivíduos em suas atividades diárias.

Os diversos estudos analisados realizaram as medidas da rigidez passiva de maneiras distintas. Alguns estudos em humanos calcularam a rigidez articular como a variação do torque de resistência articular em uma determinada amplitude (21, 22, 28, 50), enquanto outros mediram essa propriedade pela oscilação rítmica do segmento corporal, assumindo o comportamento semelhante ao modelo de pêndulo massa-mola para cálculo do nível de rigidez (26). A maioria das pesquisas em humanos, portanto, registrou rigidez articular, que é conferida pelos tecidos que cruzam a articulação. No entanto, as pesquisas realizadas em animais foram capazes de determinar a rigidez isolada do tecido muscular a partir da medida direta da variação da força de resistência aplicada nesse tecido (24, 25, 27).

Ademais, alguns autores mediram a rigidez do complexo tendão-aponeurose utilizando imagens de ultrassonografia durante a medida do torque de resistência à movimentação (6, 41). A presença desses diferentes métodos de mensuração impossibilitou a comparação dos resultados em relação à magnitude de aumento ou diminuição da rigidez tecidual. Assim, não foi possível saber qual dos diferentes protocolos de intervenção utilizados foi mais eficaz em alterar a rigidez tecidual.

Além dos diferentes métodos de mensuração da rigidez tecidual utilizados nos estudos, o corpo de conhecimento atual sobre o tema inviabiliza a realização de uma revisão sistemática da literatura que inclua apenas Ensaios Clínicos Aleatorizados. A opção por realizar uma revisão crítica da literatura incluindo também estudos em animais permitiu investigar tanto o efeito dos exercícios de fortalecimento e alongamento sobre a rigidez tecidual passiva quanto as alterações histológicas responsáveis por esse efeito.

Esta revisão da literatura identificou alguns protocolos de fortalecimento e alongamento eficazes em alterar a rigidez tecidual passiva. A literatura sugere a relação da rigidez com a estabilidade articular, a capacidade de transferência de energia entre os segmentos corporais, a postura e os padrões de movimento (5, 8, 13). A maioria dos estudos analisados não investiga se as modificações na rigidez resultantes dos programas de fortalecimento e alongamento são capazes de alterar algum desses fatores. Dessa forma, estudos futuros podem investigar o efeito da modificação da rigidez tecidual sobre a postura, a estabilidade articular e os padrões de movimento.

Referências

1. Latash ML, Zatsiorsky VM. Joint stiffness: myth or reality? *Hum Mov Sci.* 1993;12(6):653-92. doi:10.1016/0167-9457(93)90010-M.
2. Garrett WE Jr. Muscle strain injuries: clinical and basic aspects. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(4):436-43. PMID:2205779.
3. Garrett WE Jr, Safran MR, Seaber AV, Glisson RR, Ribbeck BM. Biomechanical comparison of stimulated and nonstimulated skeletal muscle pulled to failure. *Am J Sports Med.* 1987;15(5):448-54. doi:10.1177/036354658701500504.
4. Ryan ED, Herda TJ, Costa PB, Defreitas JM, Beck TW, Stout JR, et al. Passive properties of the muscle-tendon unit: the influence of muscle cross-sectional area. *Muscle Nerve.* 2009;39(2):227-9. doi:10.1002/mus.21218.
5. Loram ID, Maganaris CN, Lakie M. The passive, human calf muscles in relation to standing: the non-linear decrease from short range to long range stiffness. *J Physiol.* 2007;584(Pt 2):661-75. doi:10.1113/jphysiol.2007.140046.
6. Kubo K, Kanehisa H, Ito M, Fukunaga T. Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol.* 2001;91(1):26-32. PMID:11408409.
7. Herbert R. The passive mechanical properties of muscle and their adaptations to altered patterns of use. *Aust J Physiother.* 1988;34(3):141-9.
8. Butler RJ, Crowell HP, Davis IM. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003;18(6):511-7. doi:10.1016/S0268-0033(03)00071-8.
9. Williams DS, McClay IS, Hamill J. Arch structure and injury patterns in runners. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2001;16(4):341-7. doi:10.1016/S0268-0033(01)00005-5.
10. Williams DS, Davis IM, Scholz JP, Hamill K, Buchanan TS. High-arched runners exhibit increased leg stiffness compared to low-arched runners. *Gait Posture.* 2004;19(3):263-9. doi:10.1016/S0966-6362(03)00087-0.
11. Gossman MR, Sahrman SA, Rose SJ. Review of length-associated changes in muscle. Experimental evidence and clinical implications. *Phys Ther.* 1982;62(12):1799-808. PMID:6755499.
12. Gleim GW, McHugh MP. Flexibility and its effects on sports injury and performance. *Sports Med.* 1997;24(5):289-99. doi:10.2165/00007256-199724050-00001.
13. Fonseca ST, Ocarino JM, Silva PLP, Aquino CF. Integration of stress and their relationship to the kinetic chain. In: Magee DJ, Zachazewski JE, Quillen WS, editors. *Scientific foundations and principles of practice in musculoskeletal rehabilitation.* St Louis: Saunders Elsevier; 2007. p. 476-86. PMID:17665019.

14. Gajdosik RL. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2001;16(2):87-101. doi:10.1016/S0268-0033(00)00061-9.
15. Chleboun GS, Howell JN, Conatser RR, Giesey JJ. The relationship between elbow flexor volume and angular stiffness at the elbow. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1997;12(6):383-92. doi:10.1016/S0268-0033(97)00027-2.
16. Curwin SL. Tendon injuries pathophysiology and treatment. In: Zachazewski JE, Magee DJ, Quillen WS. *Athletic injuries and rehabilitation*. Philadelphia: Saunders; 1996. p. 27-54.
17. Hill DK. Tension due to interaction between the sliding filaments in resting striated muscle. *J Physiol*. 1968;199(3):637-84. PMID:5710425.
18. Gajdosik RL. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2001;16(2):87-101. doi:10.1016/S0268-0033(00)00061-9.
19. Coupe C, Hansen P, Kongsgaard M, Kovanen V, Suetta C, Aagaard P, et al. Mechanical properties and collagen cross-linking of the patellar tendon in old and young men. *J Appl Physiol*. 2009;107(3):880-6. doi:10.1152/jappphysiol.00291.2009.
20. Kovanen V, Suominen H, Heikkinen E. Mechanical properties of fast and slow skeletal muscle with special reference to collagen and endurance training. *J Biomech*. 1984;17(10):725-35. doi:10.1016/0021-9290(84)90103-9.
21. Vaz DV, Mancini MC, Fonseca ST, Arantes NF, Pinto TPS, Araújo PAA. Effects of strength training aided by electrical stimulation on wrist muscle characteristics and hand function of children with hemiplegic cerebral palsy. *Phys Occup Ther Pediatr*. 2008;28(4):309-25. doi:10.1080/01942630802307069.
22. Mahieu NN, McNair P, De MM, Stevens V, Blanckaert I, Smits N, et al. Effect of static and ballistic stretching on the muscle-tendon tissue properties. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(3):494-501. doi:10.1249/01.mss.0000247004.40212.f7.
23. Mahieu NN, McNair P, Cools A, D'Haen C, Vandermeulen K, Witvrouw E. Effect of eccentric training on the planar flexor muscle-tendon tissue properties. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(1):117-23. PMID:18091014.
24. Muniz J, Del RJ, Huerta M, Marin JL. Effects of sprint and endurance training on passive stress-strain relation of fast- and slow-twitch skeletal muscle in Wistar rat. *Acta Physiol Scand*. 2001;173(2):207-12. doi:10.1046/j.1365-201X.2001.00875.x.
25. Reich TE, Lindstedt SL, LaStayo PC, Pierotti DJ. Is the spring quality of muscle plastic? *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2000;278(6):R1661-66. PMID:10848536.
26. Ocarino JM, Fonseca ST, Silva PL, Mancini MC, Goncalves GG. Alterations of stiffness and resting position of the elbow joint following flexors resistance training. *Man Ther*. 2008;13(5):411-8. doi:10.1016/j.math.2007.03.009.
27. Ducomps C, Mauriege P, Darche B, Combes S, Lebas F, Doutreloux JP. Effects of jump training on passive mechanical stress and stiffness in rabbit skeletal muscle: role of collagen. *Acta Physiol Scand*. 2003;178(3):215-24. doi:10.1046/j.1365-201X.2003.01109.x.
28. Klinge K, Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Klausen K, Kjaer M. The effect of strength and flexibility training on skeletal muscle electromyographic activity, stiffness, and viscoelastic stress relaxation response. *Am J Sports Med*. 1997;25(5):710-6. doi:10.1177/036354659702500522.
29. Ochala J, Lambertz D, Van HJ, Pousson M. Effect of strength training on musculotendinous stiffness in elderly individuals. *Eur J Appl Physiol*. 2005;94(1-2):126-33. doi:10.1007/s00421-004-1299-7.
30. Duclay J, Martin A, Duclay A, Cometti G, Pousson M. Behavior of fascicles and the myotendinous junction of human medial gastrocnemius following eccentric strength training. *Muscle Nerve*. 2009;39(6):819-27. doi:10.1002/mus.21297.
31. Mikesky AE, Giddings CJ, Matthews W, Gonyea WJ. Changes in muscle fiber size and composition in response to heavy-resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23(9):1042-9. doi:10.1249/00005768-199109000-00008.
32. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(2):364-80. PMID:11828249.

33. Kubo K, Yata H, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of isometric squat training on the tendon stiffness and jump performance. *Eur J Appl Physiol.* 2006;96(3):305-14. doi:10.1007/s00421-005-0087-3.
34. Seynnes OR, Erskine RM, Maganaris CN, Longo S, Simoneau EM, Grosset JF, et al. Training-induced changes in structural and mechanical properties of the patellar tendon are related to muscle hypertrophy but not to strength gains. *J Appl Physiol.* 2009;107(2):523-30. doi:10.1152/jappphysiol.00213.2009.
35. Viidik A. The effect of training on the tensile strength of isolated rabbit tendons. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1967;1(2):141-7. doi:10.3109/02844316709022844.
36. Woo SL, Gomez MA, Amiel D, Ritter MA, Gelberman RH, Akeson WH. The effects of exercise on the biomechanical and biochemical properties of swine digital flexor tendons. *J Biomech Eng.* 1981;103(1):51-6. doi:10.1115/1.3138246.
37. Woo SL, Ritter MA, Amiel D, Sanders TM, Gomez MA, Kuei SC, et al. The biomechanical and biochemical properties of swine tendons-long term effects of exercise on the digital extensors. *Connect Tissue Res.* 1980;7(3):177-83. doi:10.3109/03008208009152109.
38. Wood TO, Cooke PH, Goodship AE. The effect of exercise and anabolic steroids on the mechanical properties and crimp morphology of the rat tendon. *Am J Sports Med.* 1988;16(2):153-8. doi:10.1177/036354658801600211.
39. Maganaris CN, Paul JP. Load-elongation characteristics of in vivo human tendon and aponeurosis. *J Exp Biol.* 2000;203(Pt 4):751-6. PMID:10648216.
40. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Physiol.* 2002;538(Pt 1):219-26. doi:10.1113/jphysiol.2001.012703.
41. Reeves ND, Narici MV, Maganaris CN. Strength training alters the viscoelastic properties of tendons in elderly humans. *Muscle Nerve.* 2003;28(1):74-81. doi:10.1002/mus.10392.
42. Hansen P, Aagaard P, Kjaer M, Larsson B, Magnusson SP. Effect of habitual running on human Achilles tendon load-deformation properties and cross-sectional area. *J Appl Physiol.* 2003;95(6):2375-80. PMID:12937029.
43. Kongsgaard M, Reitelsheder S, Pedersen TG, Holm L, Aagaard P, Kjaer M, et al. Region specific patellar tendon hypertrophy in humans following resistance training. *Acta Physiol (Oxf).* 2007;191(2):111-21. doi:10.1111/j.1748-1716.2007.01714.x.
44. Rosager S, Aagaard P, Dyhre-Poulsen P, Neergaard K, Kjaer M, Magnusson SP. Load-displacement properties of the human triceps surae aponeurosis and tendon in runners and non-runners. *Scand J Med Sci Sports.* 2002;12(2):90-8. doi:10.1034/j.1600-0838.2002.120205.x.
45. Viidik A. Tensile strength properties of Achilles tendon systems in trained and untrained rabbits. *Acta Orthop Scand.* 1969;40(2):261-72. doi:10.3109/17453676908989506.
46. Aquino CF, Fonseca ST, Goncalves GG, Silva PL, Ocarino JM, Mancini MC. Stretching versus strength training in lengthened position in subjects with tight hamstring muscles: a randomized controlled trial. *Man Ther.* 2010;15(1):26-31. doi:10.1016/j.math.2009.05.006.
47. Lynn R, Morgan DL. Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibers than does incline running. *J Appl Physiol.* 1994;77(3):1439-44. PMID:7836150.
48. Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(5):783-90. doi:10.1097/00005768-200105000-00017.
49. Koh TJ, Herzog W. Eccentric training does not increase sarcomere number in rabbit dorsiflexor muscles. *J Biomech.* 1998;31(5):499-501. doi:10.1016/S0021-9290(98)00032-3.
50. Toft E, Espersen GT, Kalund S, Sinkjaer T, Hornemann BC. Passive tension of the ankle before and after stretching. *Am J Sports Med.* 1989;17(4):489-94. doi:10.1177/036354658901700407.
51. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Sorensen H, Kjaer M. A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *J Physiol.* 1996;497(Pt 1):291-8. PMID:8951730.
52. LaRoche DP, Connolly DA. Effects of stretching on passive muscle tension and response to eccentric exercise. *Am J Sports Med.* 2006;34(6):1000-7. doi:10.1177/0363546505284238.

53. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol*. 2002;92(2):595-601. PMID:11796669.
54. 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. doi:10.1177/036354659001800314.
55. Halbertsma JP, Goeken LN. Stretching exercises: effect on passive extensibility and stiffness in short hamstrings of healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil*. 1994;75(9):976-81. PMID:8085933
56. Williams PE. Use of intermittent stretch in the prevention of serial sarcomere loss in immobilised muscle. *Ann Rheum Dis*. 1990;49(5):316-7. doi:10.1136/ard.49.5.316.
57. Coutinho EL, Gomes AR, Franca CN, Oishi J, Salvini TF. Effect of passive stretching on the immobilized soleus muscle fiber morphology. *Braz J Med Biol Res*. 2004;37(12):1853-61. doi:10.1590/S0100-879X2004001200011.
58. Williams PE. Effect of intermittent stretch on immobilised muscle. *Ann Rheum Dis*. 1988;47(12):1014-6. doi:10.1136/ard.47.12.1014
59. Reid DA, McNair PJ. Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(11):1944-8. doi:10.1249/01.MSS.0000145462.36207.20.
60. Chan SP, Hong Y, Robinson PD. Flexibility and passive resistance of the hamstrings of young adults using two different static stretching protocols. *Scand J Med Sci Sports*. 2001;11(2):81-6. doi:10.1034/j.1600-0838.2001.011002081.x.
61. Gajdosik RL. Effects of static stretching on the maximal length and resistance to passive stretch of short hamstring muscles. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1991;14(6):250-5. PMID:18796808.
62. Gomes AR, Coutinho EL, Franca CN, Polonio J, Salvini TF. Effect of one stretch a week applied to the immobilized soleus muscle on rat muscle fiber morphology. *Braz J Med Biol Res*. 2004;37(10):1473-80. doi:/10.1590/S0100-879X2004001000005.

Recebido: 09/08/2011
Received: 08/09/2011

Aprovado: 15/03/2012
Approved: 03/15/2012