

Jessica Henriques Duarte Chelidonopoulos

**ADAPTAÇÕES MUSCULARES EM RESPOSTA AO  
TREINO DE FORTALECIMENTO EXCÊNTRICO:  
UMA REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA**

Belo Horizonte

2016

Jessica Henriques Duarte Chelidonopoulos

**ADAPTAÇÕES MUSCULARES EM RESPOSTA AO  
TREINO DE FORTALECIMENTO EXCÊNTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Fisioterapia com ênfase em Ortopedia.

Orientadora: Vanessa Lara de Araújo

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2016

## RESUMO

Propriedades musculares, como flexibilidade, comprimento muscular, rigidez passiva e arquitetura muscular, apresentam relação com lesões muscular, alterações de postura e movimento. O exercício excêntrico, tradicionalmente utilizado apenas para ganho de força, tem sido apontado como uma intervenção capaz de promover mudanças nas propriedades citadas anteriormente. O objetivo desse estudo foi realizar uma revisão da literatura para investigar as adaptações musculares em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico. Foi realizada consulta aos bancos de dados PEDro (Physiotherapy Evidence Database), PubMed, Scielo (Scientific Electronic Library Online) e LILACS (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde) no período de dezembro de 2015 a maio de 2016. Foram selecionados 14 estudos realizados com humanos que investigaram o efeito do exercício excêntrico em diferentes propriedades musculares. Foram encontradas evidências de que o fortalecimento excêntrico promove aumento da amplitude de movimento (ADM) e do comprimento muscular, a partir de seis e sete semanas de treinamento, respectivamente. Não foi possível concluir acerca do efeito desse tipo de treinamento em propriedades como rigidez passiva, ângulo de penação e ângulo de pico de torque. Observa-se ainda que há necessidade de mais estudos que avaliem as curvas comprimento-tensão ativa e passiva.

**Palavras-chave:** Excêntrico. Rigidez passiva. Flexibilidade. Amplitude de movimento. Comprimento muscular.

## SUMMARY

Muscle properties, like flexibility, muscle length, passive stiffness and muscle architecture, show relationship with muscle injuries, postural misalignments and movement disorders. The eccentric exercise, traditionally used only for strength gain, have been appointed as an intervention able to promote changes in the previously mentioned properties. The aim of this study was to conduct a literature review about muscle adaptations in response to eccentric strength training. The survey was conducted between December 2015 and May 2016 in the following databases: PEDro (Physiotherapy Evidence Database), PubMed, Scielo (Scientific Electronic Library Online) and LILACS (Latin American and Caribbean Center on Health Sciences). Fourteen studies with humans that investigated the effect of eccentric exercise in different muscle properties were selected. The results of this review showed evidences that eccentric strength training promoted an increasing of range of motion (ROM) and muscle length after six and seven weeks of training, respectively. The effect of this kind of training in properties like passive stiffness, pennation angle and angle of peak torque were not conclusive. More studies that evaluate the active and passive length-tension relationship should be conducted.

**Keywords:** Eccentric. Passive stiffness. Flexibility. Range of motion. Muscle length.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma dos procedimentos de busca e seleção dos artigos.....16

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da qualidade metodológica pela Escala PEDro .....	15
Tabela 2 - Descrição dos estudos que avaliaram as adaptações musculares em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico.....	17
Tabela 3 - Resultados dos estudos que avaliaram as adaptações musculares em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico.....	19

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 METODOLOGIA .....</b>	<b>13</b>
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>15</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>27</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo de propriedades musculares, como flexibilidade, comprimento muscular, rigidez passiva e arquitetura muscular, é importante no contexto das ciências do esporte e reabilitação, uma vez que alterações nessas propriedades estão intimamente relacionadas a lesões musculares (BROCKETT; MORGAN; PROSKE, 2001; WITVROUW *et al.*, 2003; WORRELL *et al.*, 1991), alterações na postura (GOSSMAN; SAHRMANN; ROSE, 1982; KENDALL *et al.*, 2005) e no desempenho funcional (LIEBER; FRIDEN, 2000; VAZ *et al.*, 2006) e podem influenciar na capacidade de geração de força (BLAZEVICH, 2006). Essas propriedades musculares podem ser avaliadas por exames de imagem, por medidas de amplitude de movimento (ADM) ou pelo comportamento do músculo durante contração, mensurando a relação comprimento-tensão ativa, ou durante sua deformação sem contração muscular, mensurando a relação comprimento-tensão passiva. A avaliação permite entender o comportamento dessas propriedades musculares, uma vez que alterações nas mesmas são apontadas como causas de lesões musculares, disfunções de postura e movimento.

O comprimento muscular tem sido mensurado por meio da curva comprimento-tensão ativa ou por exames de imagem, como o ultrassom. Com o ultrassom, a medida do comprimento fascicular, definido como o comprimento do trajeto fascicular entre duas aponeuroses (superficial e profunda), é utilizada para inferir sobre o comprimento muscular total (BARONI *et al.*, 2013; BLAZEVICH *et al.*, 2007; GUILHEM *et al.*, 2013). Através da curva comprimento-tensão ativa, é possível extrair informações que auxiliam no estudo do comprimento muscular. A análise da curva comprimento-tensão ativa permite inferir sobre o comprimento muscular (BROCKETT; MORGAN; PROSKE, 2001; SAVELBERG; MEIJER, 2003) por meio da análise do ângulo de pico de torque, propriedade que pode ser extraída da curva. Também conhecido como ângulo ótimo, o ângulo de pico de torque consiste no ponto em que o músculo é capaz de gerar ativamente a tensão máxima. O aumento do número de sarcômeros em série gera um deslocamento do ângulo de pico de torque para a direita, no sentido de maior comprimento muscular, e a redução do número de sarcômeros em série gera um deslocamento do ângulo de pico de torque para a esquerda, no sentido de menor comprimento muscular (LYNN; TALBOT; MORGAN, 1998). Essas mudanças no ângulo de pico de torque podem alterar o

desempenho funcional por permitirem que os músculos produzam força máxima em um novo comprimento (SAVELBERG; MEIJER, 2003) e podem sugerir aumento no comprimento muscular.

A relação entre o comprimento e a tensão avaliada sem contração muscular origina a curva comprimento-tensão passiva, através da qual é possível avaliar a rigidez passiva e o torque passivo em uma determinada ADM. A rigidez é uma estimativa da taxa de mudança do torque de resistência passiva que a unidade musculotendínea ou a articulação oferecem em resposta à mudança no seu comprimento ou no seu ângulo (BLACKBURN *et al.*, 2004; HERBERT, 1988). A rigidez passiva é calculada por meio da inclinação da curva comprimento-tensão passiva (HERBERT, 1988; MAGNUSSON, 1998) e determina quanto o músculo será alongado, dada uma mudança na tensão, e quanta tensão irá desenvolver enquanto é alongado (HERBERT, 1988). A rigidez/torque passivo e o comprimento muscular são propriedades relacionadas. Músculos imobilizados em posição encurtada ou alongada produzem mudanças no número de sarcômeros em série (HERBERT, 1988). Estudos mostram que a imobilização em posição encurtada leva à redução do número de sarcômeros em série, ou seja, redução do comprimento muscular e, como consequência, a rigidez e torque passivos aumentam (WILLIAMS *et al.*, 1988; WILLIAMS; GOLDSPINK, 1978). Em contrapartida, músculos imobilizados em posição alongada apresentam aumento do número de sarcômeros em série e redução da rigidez e torque passivos (WILLIAMS; GOLDSPINK, 1978). Sendo assim, um músculo imobilizado ou estimulado a trabalhar em um comprimento reduzido ou aumentado pode induzir mudanças em suas propriedades musculares, como a rigidez e torque passivos. Além disso, a rigidez passiva apresenta relação com a hipertrofia muscular, sendo que intervenções que tenham por objetivo o aumento da rigidez passiva devem priorizar a hipertrofia muscular (LEITE *et al.*, 2012). Essa mudança na rigidez passiva seria explicada pelo aumento da área de secção transversa do músculo, que ocorre somente após seis semanas de treinamento (FOLLAND; WILLIAMS, 2007). O fortalecimento excêntrico em altas velocidades tem sido utilizado como opção para priorizar a hipertrofia e, assim, o ganho de rigidez e torque passivos (FARTHING; CHILIBECK, 2003). Sendo assim, qualquer programa de fortalecimento capaz de gerar hipertrofia muscular poderia aumentar a rigidez e torque passivos (TAKAHASHI; ASSIS, 2008). Além disso, as

intervenções capazes de aumentar o comprimento muscular poderiam reduzir a rigidez e torque passivos.

Outras propriedades, como a flexibilidade muscular e o ângulo de penação, também são importantes de serem avaliadas. A flexibilidade muscular pode ser definida como a habilidade de um músculo em alongar-se, permitindo que uma ou mais articulações alcancem determinada ADM (BANDY; IRION; BRIGGLER, 1997; KENDALL *et al.*, 2005). A mensuração dessa propriedade é comumente feita pela medida da ADM disponível (AQUINO *et al.*, 2010; KUBO; KANEHISA; FUKUNAGA, 2002; MAGNUSSON; AAGAARD; NIELSON, 2000) e tem sido utilizada para inferir sobre o comprimento muscular (TAKAHASHI; ASSIS, 2008). Tanto a mensuração da flexibilidade muscular por meio da ADM, quanto a inferência sobre o comprimento muscular a partir da medida de ADM apresentam limitações, já que a flexibilidade se relaciona com outros fatores, como a tolerância ou percepção individual ao alongamento/fatores psicológicos (MAGNUSSON *et al.*, 1996; WEPPLER; MAGNUSSON, 2010) e o comportamento viscoelástico dos tecidos musculares (TAYLOR *et al.*, 1990; TAYLOR; BROOKS; RYAN, 1997). Apesar dessas limitações, a flexibilidade é uma propriedade frequentemente mensurada durante a prática clínica e nos estudos científicos e pode trazer informação importante sobre ADM alcançada ao alongar um músculo. Essa informação é importante para entender posturas e padrões de movimento adotados pelos indivíduos durante atividades que exigem que o músculo fique em posição alongada.

O ângulo de penação, ou ângulo fascicular, comumente mensurado utilizando exames de imagem, como o ultrassom, é conceituado e calculado como o ângulo entre a aponeurose profunda e a linha traçada tangencialmente ao fascículo muscular (BARONI *et al.*, 2013; DE BOER *et al.*, 2008; MCMAHON; TURNER; COMFORT, 2016). Essa propriedade apresenta forte relação com a espessura muscular (KAWAKAMI *et al.*, 1995; KAWAKAMI; ABE; FUKUNAGA, 1993) e possui grande importância funcional. O ângulo de penação afeta a produção de força, por ser uma estratégia para permitir que uma grande quantidade de tecidos contráteis se anexe a uma determinada área do tendão ou aponeurose (NARICI; NARICI, 1999). Além disso, um aumento no ângulo de penação eleva a taxa de deformação longitudinal do músculo/deformação fascicular durante contração, permitindo a produção de força em comprimentos ótimos e velocidades menores (BLAZEVIČH,

2006). Em caso de atrofia muscular, por exemplo, ocorre redução do ângulo de penação (DE BOER *et al.*, 2008), o que sugere perda de tecidos contráteis ao longo do tendão e perda de sarcômeros em paralelo (NARICI; NARICI, 1999). Como consequência, há o aumento da proporção de força dirigida ao tendão (BLAZEVICH, 2006). Já no caso da hipertrofia muscular, o ângulo de penação aumenta (KAWAKAMI; ABE; FUKUNAGA, 1993) e, assim, o número de elementos contráteis ao longo do tendão também aumenta (NARICI; NARICI, 1999). À medida que o ângulo de penação aumenta, a proporção de força dirigida ao tendão diminui (BLAZEVICH, 2006). Portanto, para o mesmo volume muscular, um músculo com maior ângulo de penação terá uma melhor capacidade de geração de força, possivelmente pelas relações comprimento-tensão e força-velocidade, juntamente com uma maior quantidade de material contrátil que pode se anexar ao tendão ou aponeurose (BLAZEVICH, 2006).

O exercício excêntrico, caracterizado pela produção de força durante alongamento do complexo músculo-tendão (ALLISON; PURDAM, 2009; GUILHEM *et al.*, 2013), tem sido utilizado para alterar as propriedades musculares citadas anteriormente (BROCKETT; MORGAN; PROSKE, 2001; KILGALLON; DONNELLY; SHAFAT, 2007). Tradicionalmente, essa modalidade de exercício era realizada apenas para ganho de força, mas é possível que ela possa alterar outras propriedades importantes, como o comprimento muscular (KILGALLON; DONNELLY; SHAFAT, 2007), através de um processo chamado sarcomerogênese, aumentando o número de sarcômeros em série (BUTTERFIELD *et al.*, 2005; CLARK *et al.*, 2005; LYNN; MORGAN, 1994). O alongamento, em todas as suas formas, é a técnica comumente utilizada com o intuito de alterar o comprimento muscular (ARNASON *et al.*, 2008; NELSON; BANDY, 2004), mas tem tido resultados contraditórios (AQUINO *et al.*, 2010; MAGNUSSON *et al.*, 1996). Além disso, o exercício excêntrico aumenta a espessura muscular, devido à adição de sarcômeros em paralelo (BARONI *et al.*, 2013), o que leva ao aumento do diâmetro das fibras musculares (BLAZEVICH; SHARP, 2005), que, por sua vez, possivelmente gera o aumento do ângulo de penação (BLAZEVICH; SHARP, 2005). Assim, pesquisas têm sido feitas para avaliar os efeitos do exercício excêntrico, bem como quais propriedades ele é capaz de alterar, já que o modo de contração seria um estímulo primário para mudanças na arquitetura muscular (BLAZEVICH *et al.*, 2007).

Os estudos de revisão sobre o efeito do exercício excêntrico nas propriedades musculares (BRUGHELLI; CRONIN, 2007; O'SULLIVAN; MCAULIFFE; DEBURCA, 2012) apresentam algumas limitações, como a investigação de poucas propriedades musculares e a análise somente de um grupo muscular. Para melhor entendimento do efeito do exercício excêntrico, torna-se importante um estudo que explore todas as propriedades musculares citadas anteriormente, independente do músculo alvo. Portanto, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão da literatura acerca das adaptações musculares em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico isolado, comparado ou não a outro tipo de exercício.

## 2 METODOLOGIA

Foi realizada consulta aos bancos de dados PEDro (Physiotherapy Evidence Database), PubMed, Scielo (Scientific Electronic Library Online) e LILACS (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde) no período de dezembro de 2015 a maio de 2016. Foram utilizadas cinco combinações de palavras-chave: busca 1 (eccentric AND “range of motion”); busca 2 (eccentric AND fascicle); busca 3 (eccentric AND flexib\*); busca 4 (eccentric AND “muscle length”); e busca 5 (eccentric AND stiffness). Para a realização das buscas, determinou-se que o ano de publicação deveria ser a partir de 2000 (últimos 15 anos).

Os critérios de inclusão foram: (a) estudos classificados como ensaios clínicos, realizados com humanos ou animais; (b) estudos que avaliaram adaptações musculares (flexibilidade e/ou comprimento muscular e/ou rigidez passiva e/ou ângulo de penação) em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico isolado, comparado ou não a outro tipo de exercício; (c) estudos que incluíram alguma medida direta ou indireta das adaptações musculares (comprimento fascicular, ângulo de pico de torque ativo, características da curva torque passivo *versus* deslocamento angular, ADM, ângulo de penação); e (d) estudos publicados nos idiomas português, inglês e espanhol. Já os critérios de exclusão foram: (a) estudos que avaliaram apenas o efeito imediato da intervenção (período igual ou inferior a duas semanas); e (b) estudos que utilizaram amostra de indivíduos com acometimento neurológico.

O processo de seleção dos artigos envolveu uma busca realizada por um examinador, a avaliação dos títulos e resumos, seleção dos artigos para leitura completa, leitura dos artigos completos por um examinador e seleção final dos artigos. Destaca-se, ainda, que as listas de referências dos artigos selecionados foram avaliadas para obtenção de estudos adicionais.

Após a seleção, os estudos foram avaliados por meio da escala PEDro, instrumento utilizado para avaliar a qualidade metodológica dos ensaios clínicos, considerando dois aspectos, que são a validade interna e o fato de o estudo clínico apresentar informação estatística suficiente que o torne interpretável. Os escores foram obtidos através da base de dados PEDro. No entanto, no caso dos artigos não indexados nessa base, o autor deste trabalho aplicou os critérios da escala e determinou o

escore final. A qualidade dos estudos foi classificada em alta, quando o escore foi maior ou igual a 6/10; razoável, quando o escore foi 4/10 ou 5/10; e baixa, quando o escore foi inferior a 4/10 (O'SULLIVAN; MCAULIFFE; DEBURCA, 2012; YE *et al.*, 2011).

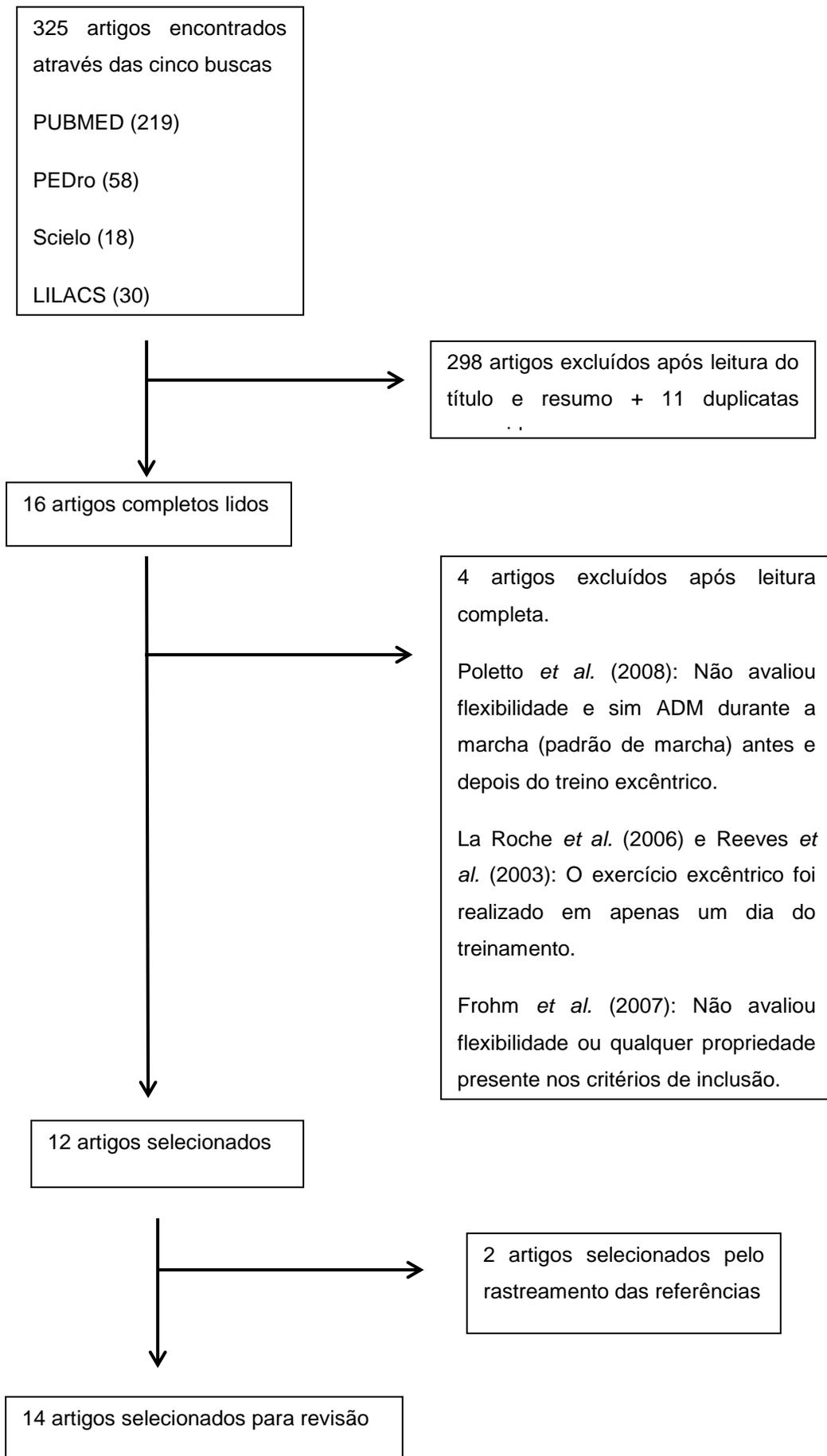
### 3 RESULTADOS

Foram selecionados 14 estudos com humanos que investigaram adaptações musculares em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico. O procedimento de seleção está detalhado na Figura 1. Os estudos selecionados foram avaliados segundo a qualidade metodológica pela escala PEDro e os escores encontram-se na Tabela 1. Três estudos apresentaram alta qualidade metodológica, oito estudos apresentaram qualidade razoável e três, baixa qualidade metodológica. O ato de cegar terapeutas e participantes na maioria dos estudos de reabilitação é de grande dificuldade, o que pôde ser confirmado já que somente um estudo conseguiu que os terapeutas administrassem o tratamento de forma cega e nenhum estudo apresentou participantes cegados. Todos os estudos apresentaram medidas de precisão como medidas de variabilidade para pelo menos um resultado-chave e somente um estudo não descreveu os resultados das comparações estatísticas inter-grupos para pelo menos um resultado-chave. Dos 14 artigos selecionados, seis investigaram a ADM, sendo que cinco encontraram o aumento do valor dessa variável; oito investigaram o ângulo de penetração, sendo que três encontraram aumento nesse ângulo; oito avaliaram o comprimento fascicular, sendo que cinco encontraram aumento dessa variável; três avaliaram o ângulo de pico de torque ativo, dos quais dois encontraram aumento nessa variável; e três investigaram a curva torque passivo *versus* deslocamento angular, dos quais dois encontraram redução do torque passivo de resistência. As características e os resultados dos estudos selecionados estão apresentados nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

**Tabela 1 - Classificação da qualidade metodológica pela Escala PEDro**

<b>ESTUDO</b>	<b>ESCALA PEDro</b>
<i>Aijaz et al. (2011)</i>	4/10
<i>Baroni et al. (2013)</i>	1/10
<i>Blazevich et al. (2007)</i>	5/10
<i>Brughelli et al. (2010)</i>	8/10
<i>Duclay et al. (2009)</i>	3/10
<i>Fouré et al. (2013)</i>	4/10
<i>Guilhem et al. (2013)</i>	4/10
<i>Hafez et al. (2012)</i>	4/10
<i>Horstmann et al. (2013)</i>	7/10
<i>Mahieu et al. (2008)</i>	6/10
<i>Nelson et al. (2004)</i>	4/10
<i>Potier et al. (2009)</i>	4/10
<i>Raj et al. (2012)</i>	5/10
<i>Reeves et al. (2009)</i>	3/10

**Figura 1 - Fluxograma dos procedimentos de busca e seleção dos artigos.**



**Tabela 2 - Descrição dos estudos que avaliaram as adaptações musculares em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico.**

<b>Estudo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Intervenção</b>
Aijaz <i>et al.</i> (2011)	ECA	60 sujeitos saudáveis (H) - CONT. (n=20; 24,5±1,9 anos) - EXC. (n=20; 25,5±1,6 anos) - Alongamento (n=20; 25,3±1,4 anos).	5x/semana; 3-6 semanas. - CONT.: sem intervenção; - EXC.: exc. de TS com theraband azul, 1 série de 6 rep., mantendo 5s na ADM final de DF, ao final de cada rep.; - Alongamento: alongamento ativo estático de TS, 1 série de 30s.
Baroni <i>et al.</i> (2013)	Ensaio clínico não cont.	20 sujeitos saudáveis (H) (24,1±3,7 anos).	2x/semana; 12 semanas. Fortal. exc. de quadríceps, 3-5 séries de 10 contrações exc. máximas no isocinético.
Blazevich <i>et al.</i> (2007)	ECA	30 sujeitos saudáveis (H e M) - CONT. (n=9) - EXC. (n=11) - CONC. (n=10) (H: 24,2±5,7; M: 21,3±4,3 anos).	3x/semana; 10 semanas. - CONT.: sem intervenção; - EXC.: exc. de quadríceps; 4-6 séries de 6 rep. de contração máxima no isocinético; - CONC.: conc. de quadríceps; 4-6 séries de 6 rep. de contração máxima no isocinético.
Brughelli <i>et al.</i> (2010)	ECA	24 jogadores de futebol (H) - CONT. (n=11; 21,5±1,3 anos) - EXC. (n=13; 20,7±1,6 anos).	3x/semana; 4 semanas. - CONT.: treino usual no clube de futebol; - EXC.: exc. de IQS e quadríceps, composto por um ou dois tipos* de exercícios exc. a cada sessão, sendo um total de 4-5 séries + treino usual no clube de futebol. * Exercícios: aterrissagem após salto da caixa, avanço à frente, desaceleração da corrida de outro atleta, exc. de quadríceps ajoelhado.
Duclay <i>et al.</i> (2009)	Ensaio clínico cont. não rand.	18 sujeitos saudáveis (H) - CONT. (n=8; 24±3 anos) - EXC. (n=10; 23±3 anos).	3x/semana; 18 sessões; 7 semanas. - CONT.: sem intervenção; - EXC.: exc. de TS em 2 posições (joelhos fletidos e estendidos), 6 séries de 6 rep. em cada posição, 120% de 1RM. A carga era selecionada a cada semana, no início da 1ª sessão.
Fouré <i>et al.</i> (2013)	ECA	24 sujeitos saudáveis (H) - CONT. (n=13; 20,5±1,7 anos) - EXC. (n=11; 21,2±2,7 anos).	34 sessões; 14 semanas. - CONT.: sem intervenção; - EXC.: exc. de FP com 2 exercícios: (1) FP de tornozelo em pé em um degrau, sendo a carga a massa corporal e a intensidade elevada com ↑ do número de rep. e (2) descida de uma caixa, sendo a carga a massa corporal e a intensidade elevada com ↑ da altura da caixa. Contrações exc.: perna direita ou ambas; Contrações conc.: perna esquerda.
Guilhem <i>et al.</i> (2013)	ECA	31 sujeitos saudáveis (H) - CONT. (n=10; 20±1 anos) - EXC. com carga constante (n=11; 21±2 anos) - EXC. Isocinético (n=10; 20±1 anos).	20 sessões; 9 semanas. - CONT.: sem intervenção. Fortal. exc. de quadríceps no isocinético: - EXC. com carga constante: 3-5 séries de 8 rep., 100% de 1RM na 1ª e 2ª semanas e 120% de 1RM nas outras semanas; - EXC. Isocinético: 3-5 séries de <i>n</i> rep. (o número de rep. era ajustado para igualar o trabalho realizado nas 2 modalidades de treinamento, a uma velocidade de 10°/s a 30°/s.

Hafez <i>et al.</i> (2012)	ECA	40 sujeitos com condromalácia patelar (M) - EXC. (n=20; 17,2±1,4 anos) - CONC. (n=20; 18,7±1,6 anos).	3x/semana; 12 semanas. - EXC.: exc. de quadríceps partindo de ortostatismo e sentando lentamente em uma cadeira (3 séries de 10 rep.), com mínima resistência; alongamento estático de IQS (5 séries de 30s em alongamento + 30s em relaxamento); US; - CONC.: conc. de quadríceps em CCA (3 séries de 10 rep.), com mínima resistência; alongamento estático de IQS (3 séries de 30s em alongamento + 30s em relaxamento); US.
Horstmann <i>et al.</i> (2013)	ECA	54 sujeitos com tendinopatia crônica do tendão de Aquiles (H e M) - CONT. (n=14; 44,4±7,7 anos) - EXC. (n=18; 45,7±8,5 anos) - Vibração (n=22; 46±6,9 anos).	3x/semana; 36 sessões; 12 semanas. - CONT.: sem intervenção; - EXC.: exc. de FP em um degrau, sendo o conc. (3-5s) com uma perna e o exc. (1-2s) com a perna contralateral; 3 séries de 15 rep., sendo a carga a massa corporal e pesos em mochila; - Vibração: 1 min. de aquecimento + treinamento (alternância entre FP e DF na plataforma vibratória, permanecendo 3s em cada) com duração de 4-7 min. + 1 min. de resfriamento.
Mahieu <i>et al.</i> (2008)	ECA	64 sujeitos saudáveis (H e M) - CONT. (n=29; 21,7±1,9 anos) - EXC. (n=35; 23,1±2 anos).	- Diariamente; 6 semanas. - CONT.: sem intervenção; - EXC.: exc. de FP unipodal, em um degrau, sendo a fase exc. realizada em 6s e a fase conc com perna contralateral auxiliando, 3 séries de 15 rep., sendo a carga a massa corporal.
Nelson <i>et al.</i> (2004)	ECA	69 sujeitos saudáveis (H) - CONT. (n=24; 16,2±0,8 anos) - EXC. (n=24; 16,4±0,9 anos) - Alongamento (n=21; 16,24±1,14 anos).	6 semanas. - CONT.: sem intervenção; - EXC.: exc. de IQS com theraband preto, 1 série de 6 rep., mantendo 5s na ADM final em cada rep.; - Alongamento: 1 série de 30s de alongamento estático de IQS, 3x/semana.
Potier <i>et al.</i> (2009)	ECA	22 sujeitos saudáveis (H e M) - CONT. (n=11; 29±1,2 anos) - EXC. (n=11; 27±0,8 anos).	3x/semana; 8 semanas. - CONT.: sem intervenção; - EXC.: fortal. exc. de IQS no banco flexor, iniciando com 1 rep., com a carga de 1RM e exc. de 5s. Ao final do treino, os participantes realizavam 3 séries de 8 rep., com carga de 1RM inicial.
Raj <i>et al.</i> (2012)	ECA	28 participantes idosos (H e M) - CONT. (n=13; 67±5 anos) - CONV. (n=12; 68 ± 5 anos) - EXC. (n=13; 68 ± 5 anos).	2x/semana; 16 semanas. Fortal. de FP ( <i>toe press</i> ) e quadríceps ( <i>leg press 45°</i> ): - CONT.: sem intervenção; - CONV.: 2 séries de 10 rep. conc. e exc. bilateral, 75% de 1RM; - EXC.: 3 séries de 10 rep., 50% de 1RM, conc. bilateral e exc. unilateral.
Reeves <i>et al.</i> (2009)	ECA	19 participantes idosos (H e M) - CONV. (n=9; 74±3 anos) - EXC. (n=10; 67 ± 2 anos).	- 3x/semana; 14 semanas. Fortal. de quadríceps (CCA e <i>leg press</i> ): - CONV.: conc. e exc com a mesma carga, 2 séries de 10 rep., 80% de 5RM; - EXC.: conc. sem carga e exc. com adição de carga; 2 séries de 10 rep., 80% de 5RM.

Legenda: ECA = ensaio clínico aleatorizado; cont. = controlado; rand = randomizado; H = homens; M = mulheres; IQS = isquiossurais; US = ultrassom; fortal. = fortalecimento; rep. = repetições; min. = minutos; s = segundos; ADM = amplitude de movimento; FP = flexores plantares; DF = dorsoflexão; CONT. = controle; EXC./exc. = excêntrico/excêntricas; CONC./conc. = concêntrico/concêntricas; CCA = cadeia cinética aberta; CONV. = convencional.

**Tabela 3 - Resultados dos estudos que avaliaram as adaptações musculares em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico.**

<b>Estudo</b>	<b>Variável Desfecho</b>	<b>Resultado</b>
Aijaz <i>et al.</i> (2011)	ADM de DF	↑ ADM de DF do tornozelo nos grupos EXC. e Alongamento Estático.
Baroni <i>et al.</i> (2013)	Ângulo de penação dos músculos RF e VL; Comprimento fascicular dos músculos RF e VL.	Ausência de mudanças adaptativas no ângulo de penação do RF e VL; ↑ comprimento fascicular do RF e VL após 4 sem. de treinamento, com diferença entre 4 e 8 sem. e ausência de diferença entre 8 e 12 sem..
Blazevich <i>et al.</i> (2007)	Comprimento fascicular do músculo VL; Ângulo fascicular dos músculos VL e VM; Curva torque-ângulo de quadríceps.	↑ comprimento fascicular do VL nos grupos EXC. e CONC. após 5 sem. de treinamento, sem ganho adicional após 10 sem.; ↑ ângulo fascicular apenas do VL no grupo EXC. após 10 sem.; deslocamento da curva torque-ângulo para a direita após 5 sem. de treinamento no grupo EXC.; ausência de mudanças no comprimento, ângulo fascicular e curva torque-ângulo no grupo CONT.
Brughelli <i>et al.</i> (2010)	Ângulo de pico de torque de IQS e quadríceps	↑ ângulo de pico de torque para IQS nos dois grupos, sendo significativamente maior no grupo EXC.; ↑ ângulo de pico de torque para quadríceps somente no grupo EXC.
Duclay <i>et al.</i> (2009)	Ângulo fascicular e comprimento fascicular do músculo GM.	↑ ângulo fascicular do GM em repouso e durante contração voluntária máxima a 50 e 100% e ↑ comprimento fascicular do GM em repouso para o grupo EXC.; ausência de mudanças no ângulo e comprimento fascicular do GM para o grupo CONT.
Fouré <i>et al.</i> (2013)	Comprimento fascicular e ângulo de penação dos músculos GL, GM e SO; ADM de FP com o joelho estendido, ADM de DF com o joelho estendido e ADM de DF com o joelho fletido; Relação torque passivo-ângulo de tornozelo em diversas angulações de joelho; Relação força passiva-comprimento do complexo músculo-tendão do gastrocnêmio; Rigidez passiva do músculo gastrocnêmio.	Ausência de mudanças no ângulo de penação e comprimento fascicular do GM, GL e SO; Ausência de mudanças significativas em todas as ADMs avaliadas; Ausência de mudanças na relação torque passivo-ângulo do tornozelo em qualquer ângulo de flexão do joelho; Ausência de mudanças na relação força passiva-comprimento do complexo músculo-tendão do gastrocnêmio; Ausência de mudanças na rigidez do músculo gastrocnêmio.
Guilhem <i>et al.</i> (2013)	Ângulo fascicular e comprimento fascicular do músculo VL.	↑ ângulo fascicular do VL somente no grupo com carga constante, em repouso e durante contração voluntária máxima; nenhuma mudança no comprimento fascicular do VL para ambos os grupos.

Hafez <i>et al.</i> (2012)	ADM de extensão de joelho.	↑ ADM de extensão de joelho nos grupos EXC. e CONC., sendo o grupo EXC. com melhor resultado em relação ao grupo CONC.
Horstmann <i>et al.</i> (2013)	Torque passivo de resistência durante DF.	↓ torque passivo de resistência nos ângulos 15° a 30° de DF nos grupos EXC. e Vibração.
Mahieu <i>et al.</i> (2008)	ADM de DF; Torque passivo de resistência durante DF.	↑ ADM de DF com o joelho fletido e estendido no grupo EXC.; ↓ torque passivo de resistência durante DF no grupo EXC; Ausência de mudanças significativas no grupo CONT.
Nelson <i>et al.</i> (2004)	ADM de extensão de joelho.	↑ ADM de extensão do joelho no grupo EXC. e Alongamento Estático, sem diferença significativa entre eles; ausência de mudanças significativas no grupo CONT.
Potier <i>et al.</i> (2009)	ADM de extensão de joelho; Comprimento fascicular e ângulo de penação do músculo BF.	↑ ADM de extensão do joelho e ↑ comprimento fascicular do BF no grupo EXC., sem mudanças no ângulo de penação do BF; ausência de mudanças significativas no grupo CONT.
Raj <i>et al.</i> (2012)	Ângulo de penação e comprimento fascicular dos músculos GM e VL; Ângulo de pico de torque extensor do joelho.	Ausência de mudanças significativas no ângulo de penação e comprimento fascicular do GM e VL para todos os grupos; ↓ ângulo de pico de torque extensor do joelho durante contrações a 240°/s no grupo CONT.; Ausência de mudanças significativas no ângulo de pico de torque extensor do joelho nos grupos EXC. e CONV., bem como ausência de mudanças em qualquer grupo nas outras velocidades de contração.
Reeves <i>et al.</i> (2009)	Ângulo de penação e comprimento fascicular do VL.	↑ ângulo de penação do VL somente para o grupo CONV.; ↑ comprimento fascicular do VL para ambos os grupos, sendo maior no grupo EXC. em relação ao CONV; ausência de mudanças durante o período controle.

Legenda: ADM = amplitude de movimento; ↑ = aumento; ↓ = redução; FP = flexores plantares/flexão palntar; DF = dorsoflexão; VL = vasto lateral; VM = vasto medial; GM = gastrocnêmio medial; GL = gastrocnêmio lateral; SO = sóleo; RF = reto femoral; BF = bíceps femoral; TS = tríceps surais; IQS = isquiossurais; sem. = semanas; EXC. = excêntrico; CONC. = concêntrico; CONT. = controle; CONV. = convencional.

## 4 DISCUSSÃO

Oito artigos investigaram o comprimento fascicular, sendo que cinco encontraram aumento dessa propriedade em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico a partir de sete semanas de treinamento. O aumento do comprimento fascicular tem sido relacionado ao processo de sarcomerogênese induzido pelo exercício excêntrico, ou seja, adição de sarcômeros em série no músculo (BARONI *et al.*, 2013; DUCLAY *et al.*, 2009; POTIER; ALEXANDER; SEYNNES, 2009; REEVES *et al.*, 2009). No entanto, um estudo encontrou aumento do comprimento fascicular após treino excêntrico ou concêntrico no mesmo estudo (BLAZEVIICH *et al.*, 2007). De acordo com Blazevich *et al.* (2007), o resultado semelhante obtido após treino concêntrico e excêntrico, ao invés de respostas opostas, sugere que outros fatores, além do modo de contração, poderiam influenciar no comprimento fascicular, como a ADM de treinamento, que poderia ser um estímulo dominante para a adaptação do comprimento fascicular. Nesse sentido, é sugerido que para que haja adição de sarcômeros em série, o grau de alongamento imposto ao músculo parece ser de importância primária (REEVES *et al.*, 2009). Em discordância aos cinco artigos citados acima que encontraram aumento do comprimento fascicular, três não encontraram alteração dessa propriedade e esses resultados controversos apresentam algumas hipóteses explicativas. Uma vez que o alongamento com sobrecarga é um dos fatores que favorecem mudanças na arquitetura muscular, a carga imposta ao músculo durante um estudo pode não ter sido suficiente para gerar estresse no músculo, deixando assim de modificar o comprimento fascicular em resposta ao treinamento (GUILHEM *et al.*, 2013). Além disso, segundo Raj *et al.* (2012), o fato do comprimento fascicular ter sido mensurado em apenas uma região do músculo é uma limitação, uma vez que a adaptação muscular ao treinamento pode ser heterogênea ao longo do comprimento do músculo (NORRBRAND *et al.*, 2008).

Poucos estudos têm investigado a curva comprimento-tensão ativa. No presente estudo, somente três artigos avaliaram essa variável, sendo que dois encontraram resultado positivo (BLAZEVIICH *et al.*, 2007; BRUGHELLI *et al.*, 2010), ou seja, aumento do ângulo de pico de torque. É bem estabelecido que o exercício excêntrico pode alterar o comprimento ótimo para comprimentos mais longos (BRUGHELLI *et al.*, 2010), através do deslocamento do ângulo de pico de torque

para a direita. O achado de uma relação constante de adaptação entre comprimento fascicular e curva comprimento-tensão (1% de aumento no comprimento fascicular foi associado a aproximadamente 1% de mudança na curva comprimento-tensão) poderia ser considerada uma forte evidência de que adaptações do comprimento fascicular influenciam diretamente nas relações comprimento-tensão (BLAZEVOICH *et al.*, 2007). Sendo assim, o aumento do comprimento fascicular resultante da adição de sarcômeros em série poderia estar diretamente relacionado ao deslocamento da curva comprimento-tensão para a direita, ou seja, aumento do ângulo de pico de torque, alterando o comprimento ótimo para comprimentos mais longos. Apesar do resultado positivo encontrado na maioria dos estudos, um estudo não encontrou mudanças no ângulo de pico de torque após o treinamento excêntrico e relacionou esse resultado à ausência de mudanças no comprimento fascicular (RAJ *et al.*, 2012). O autor sugeriu ainda que esse resultado poderia ser devido a um possível efeito protetor contra mudanças potencialmente prejudiciais, relacionadas à idade, na arquitetura muscular do vasto lateral (RAJ *et al.*, 2012). Esse estudo foi realizado com idosos, enquanto os outros dois contaram com uma amostra de indivíduos jovens. O envelhecimento está associado a um progressivo declínio na massa muscular, conhecido como sarcopenia (NARICI *et al.*, 2003). A sarcopenia afeta a arquitetura muscular, reduzindo o comprimento das fibras musculares (sarcômeros em série), o volume muscular (sarcômeros em paralelo) e o ângulo de penetração, além de reduzir a capacidade de produção de força (NARICI *et al.*, 2003). Essas alterações, portanto, poderiam estar relacionadas ao resultado divergente entre os estudos. Apesar do resultado positivo encontrado pela maioria dos estudos, há poucas evidências para uma conclusão definitiva a cerca do efeito do exercício excêntrico na curva comprimento-tensão ativa.

A avaliação da curva comprimento-tensão passiva também se encontra pouco abordada. Somente três artigos investigaram essa variável, sendo que dois encontraram resultado positivo (HORSTMANN *et al.*, 2013; MAHIEU *et al.*, 2008), ou seja, redução do torque passivo de resistência. A redução do torque passivo de resistência após o treino excêntrico pode ser atribuído a mudanças estruturais (MAHIEU *et al.*, 2008), como a adição de sarcômeros em série, levando ao aumento do comprimento das fibras musculares (LYNN; MORGAN, 1994). Entretanto, um artigo não apresentou mudanças na rigidez passiva (FOURÉ; NORDEZ; CORNU,

2013). O motivo desse resultado divergente não está claro, mas poderia estar relacionado a diferença na população estudada. O artigo que não encontrou mudanças avaliou somente homens, enquanto a amostra dos outros artigos foi composta também por mulheres. Essa hipótese poderia ser explicada pela tendência dos homens apresentarem maior hipertrofia muscular em relação às mulheres. Como já foi visto, a rigidez passiva apresenta relação com o comprimento muscular (HERBERT, 1988) e com o trofismo muscular (LEITE *et al.*, 2012; TAKAHASHI; ASSIS, 2008), sendo que o aumento do comprimento muscular reduz a rigidez e a hipertrofia muscular aumenta a rigidez. No caso dos artigos que encontraram redução do torque passivo (HORSTMANN *et al.*, 2013; MAHIEU *et al.*, 2008), o aumento do comprimento muscular devido à adição de sarcômeros em série pode ter superado a hipertrofia muscular, havendo a redução do torque passivo. Em contrapartida, no artigo de Fouré *et al.* (2013), a hipertrofia muscular pode ter contrabalanceado o efeito do comprimento muscular, não havendo mudanças na rigidez passiva. Além disso, a diferença de qualidade metodológica entre os artigos pode ajudar a explicar os resultados divergentes, já que os dois artigos que encontraram redução do torque passivo de resistência são de alta qualidade metodológica, enquanto o terceiro artigo possui qualidade razoável.

Seis estudos investigaram a propriedade ADM, sendo que cinco encontraram aumento dessa propriedade a partir de seis semanas de treinamento excêntrico. O mecanismo relacionado ao aumento da ADM não é considerado claro por alguns autores (AIJAZ; HAMEED; QUDDUS, 2011; NELSON; BANDY, 2004), mas outros atribuem esse resultado ao aumento do comprimento fascicular, o que sugere adição de sarcômeros em série (MAHIEU *et al.*, 2008; POTIER; ALEXANDER; SEYNNES, 2009). A adição de sarcômeros em série poderia gerar aumento do comprimento das fibras musculares (LYNN; MORGAN, 1994), o que levaria ao aumento da ADM. Em contrapartida, alguns autores sugerem um possível mecanismo neurológico, que ocorre com o alongamento, como o responsável pelo aumento da ADM (NELSON; BANDY, 2004; WEPPLER; MAGNUSSON, 2010). Esse mecanismo consiste no fato do alongamento prolongado permitir que o fuso muscular se adapte ao longo do tempo, o que geraria um relaxamento e consequente aumento da ADM (NELSON; BANDY, 2004). Porém, essa possível justificativa é logo refutada, dado que o exercício excêntrico que utiliza toda a ADM é

um movimento contínuo que dura aproximadamente 5 segundos, o fuso muscular não teria tempo de se adaptar e, portanto, essa explicação não parece ser apropriada (NELSON; BANDY, 2004). Por outro lado, estudos sugerem uma teoria sensorial, na qual o mecanismo responsável pelo aumento da ADM é a alteração da tolerância ao alongamento, ao invés de adaptações de propriedades teciduais (MAGNUSSON *et al.*, 1996; WEPPLER; MAGNUSSON, 2010). Uma mudança comumente encontrada é o aumento do ângulo articular final (MAGNUSSON *et al.*, 1996), medida baseada na sensação do indivíduo, podendo ser marcada pelo início da dor (MAGNUSSON *et al.*, 1996) ou máximo de dor tolerável (HALBERTSMA; GÖEKEN, 1994). Por essa sensação ser uma percepção individual e pessoal, a provável explicação para o aumento da ADM seria a alteração da percepção e aumento da tolerância ao alongamento (WEPPLER; MAGNUSSON, 2010). Sendo assim, fatores psicológicos podem desempenhar um papel importante no aumento da ADM (WEPPLER; MAGNUSSON, 2010). Apesar de não estabelecer qual(is) o(s) mecanismo(s) responsável(is) pelo aumento da ADM, a maioria dos artigos foi consistente em mostrar aumento da ADM após treino excêntrico. Apenas um não encontrou aumento da ADM (FOURÉ; NORDEZ; CORNU, 2013), sendo que o motivo desse resultado divergente não está claro.

Oito artigos avaliaram o ângulo de penação, mas somente três encontraram o aumento do valor dessa propriedade. Esse aumento do ângulo de penação é relacionado ao aumento concomitante da espessura muscular (BLAZEVIČH *et al.*, 2007; DUCLAY *et al.*, 2009; GUILHEM *et al.*, 2013), devido à adição de sarcômeros em paralelo durante treino de resistência (FARTHING; CHILIBECK, 2003; KAWAKAMI; ABE; FUKUNAGA, 1993; LIEBER; FRIDEN, 2000). É sugerido que o aumento do número de sarcômeros em paralelo está relacionado ao ângulo de penação, já que este último aumenta com o treino para acomodar os sarcômeros recentemente adicionados (AAGAARD *et al.*, 2001). A hipótese, portanto, é de uma forte relação entre ângulo de penação e hipertrofia muscular, porém a maioria dos artigos não encontrou aumento no valor do ângulo de penação. É difícil determinar a razão para esses resultados controversos, mas uma possível explicação pode ser um erro de medição na análise do ultrassom (BARONI *et al.*, 2013). A resposta adaptativa do ângulo de penação está usualmente dentro ou próxima à faixa de erro de medição na análise do ultrassom, o que poderia explicar porque alguns estudos

descrevem aumento da espessura muscular sem mudanças no ângulo de penação (BARONI *et al.*, 2013). Outra explicação para os resultados controversos do ângulo de penação seria que o treinamento realizado por alguns estudos (POTIER; ALEXANDER; SEYNNES, 2009; RAJ *et al.*, 2012; REEVES *et al.*, 2009) não foi suficiente para aumentar a espessura muscular, apesar do aumento da força muscular. Nessa perspectiva, o aumento de força sem mudança no ângulo de penação poderia sugerir alteração de fatores neurais ao invés de adição de sarcômeros em paralelo. Além disso, a mudança do ângulo de penação pode ser músculo-específico e mudanças significativas poderiam ser encontradas em outros músculos não avaliados de um mesmo grupo muscular treinado (POTIER; ALEXANDER; SEYNNES, 2009). Os resultados apresentam-se muito variáveis entre os estudos, o que não permite afirmar que haja mudança no ângulo de penação em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico.

O presente estudo conta com algumas limitações, como a qualidade metodológica dos artigos incluídos. Na classificação da qualidade metodológica utilizando a escala PEDro, a maioria dos artigos apresentou-se com qualidade razoável. Outra limitação seria a falta de padronização das intervenções. Os artigos apresentam intervenções muito variadas, que se diferem tanto pelos tipos de exercícios quanto pelas cargas utilizadas, fato que pode gerar resultados divergentes e dificultar a comparação dos mesmos. Observa-se que faltam estudos que comparem o efeito do treino de fortalecimento excêntrico com diferentes cargas, uma vez que cada carga gera um estímulo específico no músculo, podendo ser suficiente ou não para promover mudanças nas propriedades musculares, ocasionando resultados diferentes. Além disso, os grupos musculares investigados pelos artigos não apresentam muita variação, sendo, geralmente, flexores plantares, flexores de joelho e extensores de joelho, o que limita a aplicação dos resultados a outros grupos musculares e regiões do corpo. É importante, ainda, observar que entre os estudos incluídos, há grande quantidade que não apresenta efeito e isso pode ser devido à amostra pequena utilizada pelos artigos, prejudicando a comparação entre eles e a conclusão acerca de alguns resultados.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo constou de uma revisão da literatura para identificar as adaptações musculares descritas em resposta ao treino de fortalecimento excêntrico. Em relação à ADM e comprimento fascicular, a maioria dos artigos apresentou resultado positivo, permitindo concluir que o treinamento excêntrico promove aumento da ADM e do comprimento fascicular. É importante observar que as mudanças no número de sarcômeros em série estão relacionadas com o tipo de estímulo ao qual o músculo é submetido, e parece que esse resultado positivo do treinamento excêntrico depende da ADM em que o exercício é realizado. Já em relação às outras propriedades, ângulo de penação, ângulo de pico de torque e rigidez passiva, os resultados foram inconclusivos, o que não permite afirmar sobre o efeito do treinamento excêntrico nessas propriedades. Além disso, evidenciou-se que poucos artigos têm investigado a influência do treinamento excêntrico nas curvas comprimento-tensão ativa e passiva. É importante ressaltar que os resultados observados são aplicáveis para indivíduos saudáveis, uma vez que a maioria dos artigos utilizou amostra composta por indivíduos saudáveis e sem lesões.

## REFERÊNCIAS

AAGAARD, P. *et al.* A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: Changes in muscle architecture. **Journal of Physiology**, v. 534, n. 2, p. 613–623, 2001.

AIJAZ, S. M.; HAMEED, U. A; QUDDUS, N. A Comparative Study of Eccentric Training Using Thera- Band and Static Stretching in Improving Triceps Surae Muscle Flexibility. v. 5, n. 3, p. 155–162, 2011.

ALLISON, G. T.; PURDAM, C. Eccentric loading for Achilles tendinopathy--strengthening or stretching? **British journal of sports medicine**, v. 43, n. 4, p. 276–279, 2009.

AQUINO, C. F. *et al.* Stretching versus strength training in lengthened position in subjects with tight hamstring muscles: A randomized controlled trial. **Manual Therapy**, v. 15, n. 1, p. 26–31, 2010.

ARNASON, A. *et al.* Prevention of hamstring strains in elite soccer: An intervention study. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 18, n. 1, p. 40–48, 2008.

BANDY, W. D.; IRION, J. M.; BRIGGLER, M. **The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstrng muscles**Physical therapy, 1997.

BARONI, B. M. *et al.* Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: Rectus femoris vs. vastus lateralis. **Muscle and Nerve**, v. 48, n. 4, p. 498–506, 2013.

BLACKBURN, J. T. *et al.* Sex comparison of extensibility, passive, and active stiffness of the knee flexor. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 14, n. 6, p. 683–691, 2004.

BLAZEVICH, A. J. Effects of physical training and detraining, immobilisation, growth and aging on human fascicle geometry. **Sports Medicine**, v. 36, n. 12, p. 1003–1017, 2006.

BLAZEVICH, A. J. *et al.* Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. **Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)**, v. 103, n. 5, p. 1565–75, 2007.

BLAZEVICH, A. J.; SHARP, N. C. C. Understanding muscle architectural adaptation: Macro- and micro-level research. **Cells Tissues Organs**, v. 181, n. 1, p. 1–10, 2005.

BROCKETT, C. L.; MORGAN, D. L.; PROSKE, U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 33, n. 5, p. 783–790, 2001.

BRUGHELLI, M. *et al.* Effects of eccentric exercise on optimum length of the knee flexors and extensors during the preseason in professional soccer players. **Physical Therapy in Sport**, v. 11, n. 2, p. 50–55, 2010.

BRUGHELLI, M.; CRONIN, J. Altering the length-tension relationship with eccentric exercise: Implications for performance and injury. **Sports Medicine**, v. 37, n. 9, p. 807–826, 2007.

BUTTERFIELD, T. A. *et al.* Differential serial sarcomere number adaptations in knee extensor muscles of rats is contraction type dependent. **Journal of applied physiology**, v. 99, n. 4, p. 1352–1358, 2005.

CLARK, R. *et al.* The effects of eccentric hamstring strength training on dynamic jumping performance and isokinetic strength parameters: A pilot study on the implications for the prevention of hamstring injuries. **Physical Therapy in Sport**, v. 6, n. 2, p. 67–73, 2005.

DE BOER, M. D. *et al.* Effect of 5 weeks horizontal bed rest on human muscle thickness and architecture of weight bearing and non-weight bearing muscles. **European Journal of Applied Physiology**, v. 104, n. 2, p. 401–407, 2008.

DUCLAY, J. *et al.* Behavior of fascicles and the myotendinous junction of human medial gastrocnemius following eccentric strength training. **Muscle and Nerve**, v. 39, n. 6, p. 819–827, 2009.

FARTHING, J. P.; CHILIBECK, P. D. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. **European Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 6, p. 578–586, 2003.

FOLLAND, J. P.; WILLIAMS, A. G. The Adaptations to Strength Training Increased Strength. **Sports Medicine**, v. 37, n. 2, p. 145–168, 2007.

FOURÉ, A.; NORDEZ, A.; CORNU, C. Effects of eccentric training on mechanical properties of the plantar flexor muscle-tendon complex. **Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)**, v. 114, n. 5, p. 523–37, 2013.

GOSSMAN, M. R.; SAHRMANN, S. A; ROSE, S. J. Review of length-associated changes in muscle. Experimental evidence and clinical implications. **Physical therapy**, v. 62, n. 12, p. 1799–1808, 1982.

GUILHEM, G. *et al.* Neuromuscular adaptations to isoload versus isokinetic eccentric resistance training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 45, n. 2, p. 326–335, 2013.

HALBERTSMA, J.; GÖEKEN, L. Stretching Exercises: Effect on Passive Extensibility and Stiffness in Short Hamstrings of Healthy Subjects. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 75, p. 976–81, 1994.

HERBERT, R. The passive mechanical properties of muscle and their adaptations to altered patterns of use. **The Australian journal of physiotherapy**, v. 34, n. 3, p. 141–9, 1988.

HORSTMANN, T. *et al.* Whole Body Vibration Versus Eccentric Training or Wait-and-See Approach for Chronic Achilles Tendinopathy. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 43, n. 11, p. 794–803, 2013.

KAWAKAMI, Y. *et al.* Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 72, n. 1, p. 37–43, 1995.

KAWAKAMI, Y.; ABE, T.; FUKUNAGA, T. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. **Journal of Applied Physiology**, v. 74, n. 6, p. 2740–2744, 1993.

KENDALL, F. P. *et al.* **Muscles Testing and Function with Posture and Pain**. 5 ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2005.

KILGALLON, M.; DONNELLY, A. E.; SHAFAT, A. Progressive resistance training temporarily alters hamstring torque-angle relationship. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 17, n. 1, p. 18–24, 2007.

KUBO, K.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. **The Journal of physiology**, v. 538, n. Pt 1, p. 219–226, 2002.

LEITE, D. X. *et al.* Relação entre rigidez articular passiva e torque concêntrico dos rotadores laterais do quadril. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 16, n. 5, p. 414–421, 2012.

LIEBER, R.; FRIDEN, J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. **Muscle Nerve**, v. 23, n. DECEMBER 2000, p. 1647–1666, 2000.

LYNN, R.; MORGAN, D. L. Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibers than does incline running. **Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)**, v. 77, n. 3, p. 1439–1444, 1994.

LYNN, R.; TALBOT, J. A; MORGAN, D. L. Differences in rat skeletal muscles after incline and decline running. **Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)**, v. 85, n. 1, p. 98–104, 1998.

MAGNUSSON, S. P. *et al.* A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. **The Journal of physiology**, v. 497, n. 1, p. 291–98, 1996.

MAGNUSSON, S. P. Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 8, n. 2, p. 65–77, 1998.

MAGNUSSON, S. P.; AAGAARD, P.; NIELSON, J. J. Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 32, n. 22, p. 1160–1164, 2000.

MAHIEU, N. N. *et al.* Effect of Eccentric Training on the Plantar Flexor Muscle-Tendon Tissue Properties. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 40, n. 1, p. 117–123, 2008.

MCMAHON, J. J.; TURNER, A.; COMFORT, P. Within- and between-session reliability of medial gastrocnemius architectural properties. **Biology of Sport**, v. 33, n. 2, p. 185–188, 2016.

NARICI, M.; NARICI, M. Human skeletal muscle architecture studied in vivo by non-invasive imaging techniques: functional significance and applications. **Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology**, v. 9, n. 2, p. 97–103, 1999.

NARICI, M. V *et al.* Effect of Aging on Human Muscle Architecture. **Journal of Applied Physiology**, v. 95, n. 6, p. 2229–2234, 2003.

NELSON, R. T.; BANDY, W. D. Eccentric training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. **Journal of Athletic Training**, v. 39, n. 3, p. 254–258, 2004.

NORRBRAND, L. *et al.* Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. **European Journal of Applied Physiology**, v. 102, n. 3, p. 271–281, 2008.

O'SULLIVAN, K.; MCAULIFFE, S.; DEBURCA, N. The effects of eccentric training on lower limb flexibility: a systematic review. **British Journal of Sports Medicine**, v. 46, n. 12, p. 838–845, 2012.

POTIER, T. G.; ALEXANDER, C. M.; SEYNNES, O. R. Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. **European Journal of Applied Physiology**, v. 105, n. 6, p. 939–944, 2009.

RAJ, I. S. *et al.* Effects of eccentrically biased versus conventional weight training in older adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44, n. 6, p. 1167–1176, 2012.

REEVES, N. D. *et al.* Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. **Experimental physiology**, v. 94, n. 7, p. 825–833, 2009.

SAVELBERG, H. H. C. M.; MEIJER, K. Contribution of mono- and biarticular muscles to extending knee joint moments in runners and cyclists. **Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)**, v. 94, n. 6, p. 2241–8, 2003.

TAKAHASHI, H. C.; ASSIS, M. A. DE. Os efeitos do fortalecimento excêntrico e em posição específicas sobre as características musculares mecânicas: revisão da literatura. 2008. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Fisioterapia). Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

TAYLOR, D. C. *et al.* Viscoelastic properties of muscle-tendon units. The biomechanical effects of stretching. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 18, n. 3, p. 300-309 1990.

TAYLOR, D. C.; BROOKS, D. E.; RYAN, J. B. Viscoelastic characteristics of muscle: passive stretching versus muscular contractions. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 29, n. 12, p. 1619-24, 1997.

VAZ, D. V. *et al.* Alterações musculares em indivíduos com lesão do neurônio motor superior. **Fisioterapia E Pesquisa**, v. 13, n. 2, p. 71–82, 2006.

WEPPLER, C. H.; MAGNUSSON, S. P. Increasing Muscle Extensibility: A Matter of Increasing Length or Modifying Sensation? **Physical therapy**, v. 90, n. 3, p. 438–449, 2010.

WILLIAMS, P. E. *et al.* The importance of stretch and contractile activity in the prevention of connective tissue accumulation in muscle. **Journal of anatomy**, v. 158, n. July, p. 109–14, 1988.

WILLIAMS, P. E.; GOLDSPINK, G. Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle. **Journal of anatomy**, v. 127, n. Pt 3, p. 459–468, 1978.

WITVROUW, E. *et al.* Muscle Flexibility as a Risk Factor for Developing Muscle Injuries in Male Professional Soccer Players. A Prospective Study. **The American journal of sports medicine**, v. 31, n. 1, p. 41–46, 2003.

WORRELL, T. *et al.* Comparison of Isokinetic Strength and Flexibility Measures Between Hamstring Injured and Noninjured Athletes. **JOSPT**, v. 13, n. 3, p. 118–25, 1991.

YE, L. *et al.* Effects of rehabilitative interventions on pain , function and physical impairments in people with hand osteoarthritis : a systematic review. **Arthritis Research & Therapy**, v. R28, p. 13, 2011.