

Papel das ações musculares excêntricas nos ganhos de força e de massa muscular

The role of eccentric muscle actions in the increase of strength and muscle mass

Valmor Tricoli

Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo

Contato do autor: vtricoli@usp.br

Resumo. Os principais ajustes ao treinamento de força são o aumento da massa e da força dos músculos esqueléticos. O grau de tensão da ação muscular é determinante destes ajustes e ele é influenciado pelo tipo da ação. Na ação excêntrica o músculo gera tensão com aumento de seu comprimento resultando em danos à musculatura. Visto que o treinamento excêntrico causa grande hipertrofia e ganho de força, o dano também pode ser considerado um estímulo de treinamento. Neste artigo serão apresentadas as características mecânicas e neurais das ações excêntricas e como elas podem contribuir para o que músculo esquelético se ajuste de maneira mais eficiente aos estímulos oferecidos pelo treinamento de força.

Palavras-chave. *Dano muscular; Hipertrofia; Treinamento de força.*

Abstract. An increased muscle mass and strength are the main adjustments to strength training. It seems that the tension level of the muscle action plays a major role. It has been demonstrated that tension is affected by muscle action type. During an eccentric action the muscle produces tension with increase of its length resulting in damage to the muscle structure. Considering that eccentric training causes greater changes in strength gains and muscle mass, exercise induced damage has been seen as training stimulus. This paper will present mechanical and neural characteristics of the eccentric actions and how they may contribute to the skeletal muscle adaptations to the strength training stimuli.

Keywords. *Hypertrophy; Muscle damage, Strength training.*

Recebido 22mar12

Aceito 23out12

Publicado 15jan14

Introdução

O músculo esquelético é o tecido mais abundante do corpo humano. Existem aproximadamente 660 músculos totalizando 40-45% da massa corporal. Estes músculos possuem funções vitais na locomoção, na produção de calor, na reprodução e no metabolismo em geral. Além disso, eles apresentam uma alta capacidade de ajuste aos estímulos oferecidos pelo meio ambiente. Dentre os diferentes estímulos, será abordado o treinamento físico, e em especial, o treinamento de força.

Quando um músculo ou grupo muscular é submetido ao treinamento de força (também chamado musculação), os principais ajustes são o aumento da capacidade de produção de força e da massa muscular (hipertrofia). Existe uma relação direta e linear entre o tamanho da massa muscular e o desempenho de força, ou seja, quanto maior a área de secção transversa de um músculo maior a sua capacidade de gerar força. Assim, a hipertrofia dos músculos esqueléticos possui, além de um aspecto estético, um caráter funcional importante.

Hipertrofia pode ser definida como um aumento no tamanho das fibras musculares ou de um músculo devido

a um maior acúmulo de proteínas contráteis no interior da célula muscular. Um aumento na síntese proteica, uma diminuição na taxa de degradação proteica ou uma combinação destes dois fatores é responsável pela hipertrofia muscular (Toigo e Boutellier, 2006). Posto desta forma, o “mecanismo” de hipertrofia parece de fácil compreensão; porém, este é um processo complexo com inúmeros fatores hormonais, mecânicos e metabólicos envolvidos.

Dentre os fatores mencionados, o mecânico parece ser o preponderante, estando diretamente relacionado com o grau de tensão exercido pela musculatura. Tradicionalmente, a intensidade do exercício, o número de séries e de repetições executadas, o intervalo de descanso entre séries e a frequência de treinamento são as variáveis consideradas no estudo das adaptações ao treinamento de força. No entanto, recentemente tem sido demonstrado que o tipo da ação muscular e a velocidade de execução do movimento são variáveis importantes e que também devem ser consideradas (Farthing e Chillibeck, 2003; Paddon-Jones e col., 2005, Shepstone e col., 2005).

Neste texto, iremos abordar o papel das ações excêntricas (AE) nos ganhos de força e de massa muscular após a estimulação oferecida pelo treinamento de força.

Esta ação muscular parece apresentar vantagens de ajuste sobre os outros tipos de ação (Barroso e col., 2005). Estas vantagens estão intimamente relacionadas com as características mecânicas e neurais das AE. Porém, antes disso, precisamos esclarecer alguns aspectos conceituais relacionados aos tipos de ação muscular e as características intrínsecas das AE.

Ações musculares

A terminologia “ação muscular” foi proposta no final dos anos 80 por um grupo de pesquisadores que acreditava que a palavra “contração” não representava apropriadamente os eventos que ocorriam na musculatura esquelética nas diferentes situações durante uma tarefa motora (Cavanagh, 1988). Afinal, a palavra *contrair* denota encurtar, encolher, tornar mais estreito ou mais curto; portanto, *contração* significa uma diminuição de comprimento ou de tamanho. Desta forma, os termos “contração excêntrica” e “contração isométrica” não estariam corretos uma vez que eles envolvem o aumento e a manutenção do comprimento muscular, respectivamente. Por outro lado, a palavra “ação” significa fazer alguma coisa, mover, exercer, o que parece representar melhor todas as variações da atividade muscular.

Quando um músculo gera tensão, mas não há alteração externa visível no comprimento muscular ou no

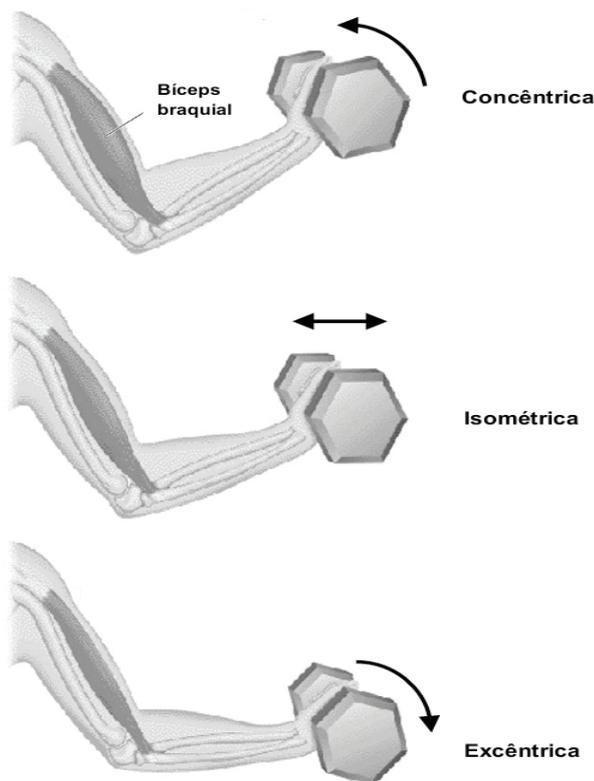


Figura 1. Tipos de ações musculares. Na ação concêntrica o músculo se encurta levantando o objeto. Na ação isométrica o músculo não altera seu comprimento e o objeto fica estático. Na ação excêntrica o músculo se alonga e o objeto é abaixado. Nos três casos o músculo envolvido é o biceps braquial o qual é responsável pelo movimento de flexão do cotovelo.

ângulo da articulação envolvida no movimento, temos a chamada ação “isométrica” (AI) (Figura 1). A força interna produzida pelo músculo se iguala a resistência externa e não há movimentação das partes corporais. Isso corresponde ao ato de ficar carregando um objeto, com os músculos tensionados, sem levantá-lo ou abaixá-lo. Se a geração de tensão resultar num visível encurtamento no comprimento muscular ou numa diminuição do ângulo articular temos uma ação “concêntrica” (AC) (Figura 1). A força gerada pela musculatura esquelética é aplicada na mesma direção do deslocamento e produz um trabalho positivo. Essa situação corresponde, por exemplo, ao ato de levantar o corpo enquanto fazemos o exercício suspensão na barra. Já na chamada ação “excêntrica” (AE) o músculo gera tensão com visível alongamento de seu comprimento ou aumento do ângulo articular (Figura 1). Neste caso, a direção da força aplicada pelo músculo é oposta à direção do deslocamento e corresponde, por exemplo, ao movimento de abaixar o corpo quando fazemos o exercício suspensão na barra. Deve ser lembrado que a ação isométrica também é chamada de ação estática enquanto as outras duas são chamadas de ações dinâmicas.

Por último, devemos esclarecer o conceito de área de secção transversa muscular. Esta é a área de uma secção (ou corte) de um determinado músculo ou grupo muscular perpendicular à orientação de suas fibras. É uma medida utilizada para verificar a alteração no tamanho ou espessura da massa muscular.

Características mecânicas e neurais da ação excêntrica

A ação muscular excêntrica possui características mecânicas e neurais peculiares (Enoka, 1996). Neste tópico, trataremos apenas das características que possuem implicações nos ganhos de força e de massa muscular.

Durante uma AE, o músculo é capaz de gerar maior quantidade de força quando comparada às ações concêntrica e isométrica. Isso significa que se alguém consegue levantar um peso máximo do chão e colocá-lo sobre uma mesa (AC), essa mesma pessoa conseguirá abaixar da mesa até o chão (AE) um peso um pouco maior. Isto ocorre porque além de uma contribuição ativa dos elementos contráteis, a AE apresenta uma contribuição passiva dos elementos constituintes da estrutura muscular na geração de tensão (Barroso e col., 2005). Em qualquer ação muscular, a produção de força é oriunda de um processo ativo resultante da interação dos filamentos de miosina com os de actina. Esta interação forma as chamadas pontes cruzadas, as quais são individualmente capazes de gerar uma determinada quantidade de força. Quanto maior a quantidade formada de pontes cruzadas, maior a quantidade de força gerada. Quando um músculo é alongado, existe a resistência oferecida pelos elementos elásticos os quais constituem a estrutura do músculo esquelético. Esta resistência gera uma tensão passiva, a qual aumenta na medida em que o músculo é alongado. Então, a tensão passiva soma-se com a tensão ativa gerada durante uma AE, resultando numa maior produção total de força (Figura 2).

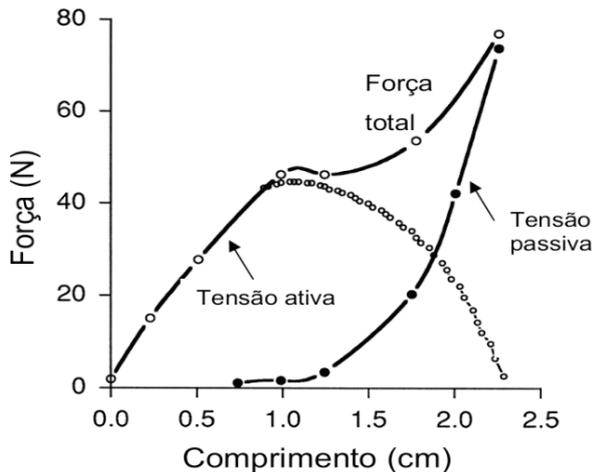


Figura 2. Contribuição das tensões ativa e passiva para a geração total de força de acordo com a curva força-comprimento (adaptado de ENOKA, 2002). A tensão ativa gerada pela formação das pontes cruzadas na musculatura esquelética aumenta até um comprimento ótimo e a partir disso declina. Já a tensão passiva, dependente dos elementos elásticos da musculatura, aumenta progressivamente com o aumento do comprimento. A somatória das duas tensões resulta numa maior produção total de força durante as ações excêntricas.

É importante destacar que a velocidade da ação muscular também afeta a produção de força. Durante uma AC, o aumento da velocidade de movimento diminui a força produzida pelo músculo, pois reduz o tempo disponível para a formação das pontes cruzadas (elementos contráteis). Já com a diminuição da velocidade, a força gerada aumenta e níveis máximos de força são alcançados quando a velocidade da ação muscular é igual à zero (AI). Já durante as AE, a força muscular gerada supera os níveis obtidos na AI, aumenta progressivamente e depois se mantém relativamente constante apesar do aumento na velocidade de execução (Figura 3).

Outra característica interessante das AE diz respeito à atividade neuromuscular. Nas AC e AI, a amplitude do sinal eletromiográfico (EMG), o qual representa a atividade elétrica das unidades motoras de um músculo, apresenta uma relação direta e quase linear com a força produzida. Em contrapartida, nas AE, a EMG é menor para os mesmos níveis de força absolutos e relativos, quando comparada aos outros tipos de ação muscular, indicando que existe uma menor ativação das unidades motoras do músculo (Figura 4). Este aspecto acaba por afetar o custo energético da tarefa, o qual é também menor nas atividades motoras envolvendo predominantemente as AE. Como exemplo, podemos mencionar porque subir escadas, uma atividade com predominância das AC, gera um cansaço maior do que descer escadas, tarefa com maior participação das AE.

Além disso, existem indícios de que o padrão de recrutamento muscular (isto é, a ativação das diferentes unidades motoras) durante as AE não respeita o chamado “princípio do tamanho” (Enoka, 1996). O princípio do tamanho afirma que, durante uma atividade física, as

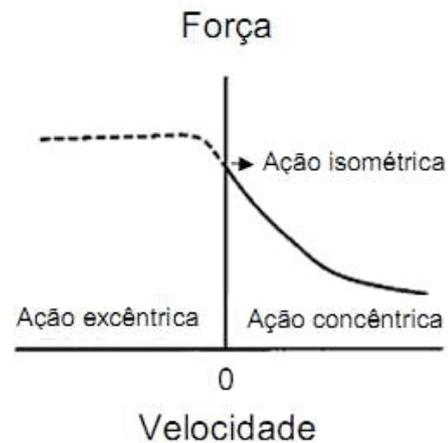


Figura 3. Curva força-velocidade para os diferentes tipos de ação muscular. Na ação concêntrica, há uma diminuição progressiva na produção de força com o aumento da velocidade da ação. Na ação isométrica, a velocidade é igual à zero. Na ação excêntrica ocorre um aumento na produção de força com os aumentos iniciais da velocidade da ação.

unidades motoras menores, com limiar de ativação mais baixo e menor capacidade de produção de força são recrutadas primeiramente. Com a necessidade de aumentar a produção de força para executar a tarefa, unidades maiores de limiar mais alto e mais fortes são recrutadas posteriormente. Porém, nas AE, esse padrão parece se reverter, com o recrutamento das unidades de alto limiar ocorrendo no início da tarefa (Nardone e col., 1989). Estas unidades motoras são compostas por fibras musculares do tipo II, as quais respondem muito bem aos estímulos do treinamento de força quando comparadas as fibras do tipo I. As fibras do tipo I, também conhecidas como fibras de contração lenta, são basicamente responsáveis pela manutenção da postura corporal diária. Estas fibras geram menor tensão, mas por longos períodos de tempo. Já as fi-

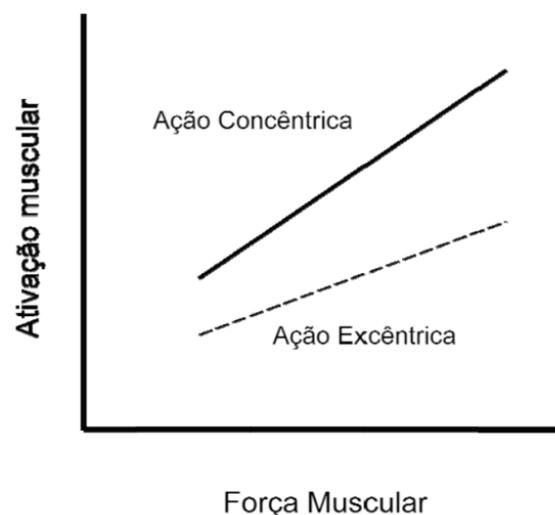


Figura 4. Nível de força e grau de ativação das unidades motoras nas ações musculares concêntrica e excêntrica.

bras do tipo II são conhecidas como as fibras de contração rápida as quais produzem alto grau de tensão mas entram rapidamente em fadiga. É interessante notar que a hipertrofia decorrente do treinamento com predominância das AE se manifesta especialmente neste tipo de fibra. Assim, essa maior resposta hipertrofica pode estar associada ao recrutamento seletivo das unidades motoras compostas por fibras musculares do tipo II durante as AE.

Outro aspecto interessante é que a maior tensão muscular gerada nas AE está associada a ativação de um menor número de unidades motoras (Figura 4) o que impõe um maior estresse mecânico sobre cada uma das fibras musculares ativas. Isto resulta na maior ocorrência de danos à estrutura do músculo esquelético. O dano muscular induzido pela execução de AE se caracteriza por micro-rupturas no tecido conectivo que dá sustentação as fibras musculares e garante a organização estrutural hierárquica de um músculo.

Outros fatores como a velocidade da AE e o comprimento inicial e final do músculo envolvido também podem contribuir para a ocorrência e magnitude do dano (Morgan e Partridge, 2003). As AE executadas com alta velocidade ou com grande amplitude articular (maior alongamento da musculatura esquelética) causam maiores danos à estrutura das fibras musculares (Chapman e col., 2006). A seguir discutiremos a relação entre a execução de AE em diferentes velocidades, a possibilidade de dano muscular e a ativação do processo de hipertrofia muscular.

Ações excêntricas, ganhos de força e de massa muscular

Pesquisas referentes à importância das AE nas adaptações oriundas do treinamento de força tiveram início nos anos 90. A maioria dos resultados demonstrou superioridade das AE em estimular os ganhos de força e de hipertrofia muscular em comparação às AC e AI. Inicialmente, uma possível explicação para esta superioridade seria a maior tensão desenvolvida pelas fibras musculares durante as AE quando comparada com as AC e AI.

O próximo passo foi a investigação dos efeitos da velocidade de execução das AE. Interessantemente, descobriu-se que as AE de alta velocidade resultaram em maiores ganhos de força e de hipertrofia quando comparadas com as AE executadas em baixa velocidade e com as AC (Farthing e Chillibeck, 2003; Paddon-Jones e col., 2005). Neste ponto vale esclarecer que a medida da velocidade de execução das AE é feita em graus por segundo. Assim, exercícios executados abaixo de 60º/segundo são considerados de baixa velocidade, enquanto acima de 180º/segundo são considerados exercícios de alta velocidade.

Tem sido sugerido que a maior velocidade de execução durante as AE aumenta a força produzida devido ao aumento da tensão passiva sobre as estruturas elásticas do músculo esquelético. Este aumento “extra” da tensão, associado à alta tensão própria das AE, resultaria num maior grau de dano muscular induzido pelo exercício. Devido ao fato do treinamento com AE causar maior hipertrofia dos músculos exercitados, o dano muscular induzido pelo

exercício excêntrico passou a ser incluído como um dos estímulos relevantes para o ganho de força, e em particular, de massa muscular (Shepstone e col., 2005).

O dano muscular está associado com a ativação, proliferação e diferenciação de células satélites e com a liberação de fatores de crescimento pelo músculo esquelético. As células satélites estão localizadas, em estado dormente, na superfície externa da membrana da célula muscular (daí o nome células satélites). Em caso de dano aos componentes da estrutura da célula muscular, as células satélites saem do estado dormente (ativação), se dividem (proliferação) e se diferenciam numa tentativa de “consertar” o dano causado. É importante ressaltar que as satélites não dão origem a uma nova célula muscular, mas podem contribuir para aumentar a síntese proteica no interior da célula muscular. Isso seria feito pela infiltração de células satélites no interior da célula muscular, o que aumentaria a quantidade de material genético disponível para a síntese de proteínas com consequente aumento no tamanho da célula muscular.

Com relação aos fatores de crescimento, a alta tensão causada pelas AE na estrutura da célula muscular afeta positivamente a liberação de IGF-1 (*insulin like growth factor-1* ou fator de crescimento semelhante à insulina) e a ativação da sinalização das vias de hipertrofia. Além disso, outro fator de crescimento, o MGF, (*mechano growth factor* ou fator de crescimento mecânico) o qual é sintetizado pelo próprio músculo esquelético, é sensível à tensão produzida no tecido muscular. Desta forma, foi demonstrado que as AE são mais potentes estimuladoras para o aumento da expressão e liberação de MGF do que as AC. Este fator de crescimento exerce um papel importante, uma vez que é um dos iniciadores da cascata de sinalização das vias de sinalização da hipertrofia.

Recentemente tem-se dado grande importância ao estudo das vias de sinalização de síntese proteica, e dentre elas, a sinalização intracelular da hipertrofia muscular recebeu destaque. Uma via bastante comum de sinalização celular acionada pelo exercício físico, em particular pelo treinamento de força, é a fosfatidil-inositol 3-quinase (PI3K). A via da PI3K/Akt/mTOR/p70^{S6K} tem sido amplamente atribuída como uma das principais controladoras do crescimento celular. Estimulada pelo aumento nas concentrações de IGF-1 e MGF ela aciona, em forma de cascata, outras proteínas (proteína quinase B [Akt], proteína alvo de rapamicina em mamíferos [mTOR] e proteína ribossomal 70 quinase S6 [p70^{S6K}]) responsáveis pelo desencadeamento da síntese proteica e do crescimento celular (Roschel e col., 2011).

Também tem sido mostrado que o tipo de ação muscular afeta a atividade das vias de sinalização. As AE causam um aumento significativo na fosforilação (neste caso ativação) da p70^{S6K} em comparação a outros tipos de ação muscular, e a fosforilação tem relação positiva e direta com o aumento da massa muscular resultante do treinamento de força. De maneira geral, as AE parecem ser mais capazes de estimular a via PI3K/Akt/mTOR/p70^{S6K} em detrimento das AC, permitindo inferir a importância da tensão muscular no processo de ativação desta via de

hipertrofia muscular.

Conclusão

O trabalho muscular feito contra uma sobrecarga externa progressiva resulta no aumento da força e da massa muscular. Contudo, ainda não está totalmente elucidado qual é o mecanismo por trás destes fenômenos. De forma genérica, podemos afirmar que o estímulo mecânico oferecido pelo processo de treinamento físico, e em particular, o grau de tensão na musculatura esquelética é o principal fator envolvido. Neste caso, o treinamento com AE parece proporcionar uma estimulação superior para o desenvolvimento da força e da hipertrofia quando comparada às ações concêntrica e isométrica.

Continua sendo motivo de investigação como o estímulo tensional gerado pela carga externa é interpretado pelo músculo esquelético resultando na ativação dos mecanismos intracelulares responsáveis pela síntese proteica. A liberação de fatores de crescimento e a ativação das vias de sinalização de crescimento celular estão diretamente relacionadas ao grau de tensão muscular e ao aumento da massa muscular e da capacidade de produção de força. Outro fator associado e também resultante da aplicação de cargas excêntricas é o dano causado à estrutura muscular. Portanto, a associação entre AE, grau de tensão, dano muscular e ativação das vias de sinalização da hipertrofia oferece uma explicação plausível para o aumento da massa muscular decorrente do treinamento de força.

Todavia, a ocorrência de dano muscular induzido pela realização das AE diminui com a repetição sucessiva de sessões de treinamento, ou seja, existe um tipo de efeito protetor promovido pela execução das AE. Com o passar do tempo, o efeito protetor diminuiria progressivamente o dano à estrutura muscular e isto prejudicaria o desenvolvimento da hipertrofia em longo prazo. Como o processo hipertrófico não é interrompido após poucas sessões de treinamento, parece haver outros mecanismos responsáveis pela maior hipertrofia muscular observada com a utilização de AE em alta velocidade que não o dano muscular.

Em conclusão, podemos afirmar que as características mecânicas e neurais das AE são determinantes para o que músculo esquelético se ajuste de maneira mais intensa aos estímulos oferecidos pelo treinamento de força excêntrico.

Referências bibliográficas

- Barroso R, Tricoli V e Ugrinowitsch C. 2005. Adaptações neurais e morfológicas ao treinamento de força com ações excêntricas. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento* 13:111-122.
- Cavanagh PR. 1988. On muscle action vs. muscle contraction. *Journal of Biomechanics* 21:69.
- Chapman D, Newton M, Sacco P e Nosaka K. 2006. Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *International Journal of Sports Medicine* 27:591-598.

- Enoka RM. 1996. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *Journal of Applied Physiology* 81:2339-2346.
- Enoka RM. 2002. *Neuromechanics of human movement*. Champaign: Human Kinetics.
- Farthing JP e Chillibeck PD. 2003. The effects of concentric and eccentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology* 89:578-586.
- Morgan JE e Partridge T. 2003. A. Muscle satellite cells. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology* 35:1151-156.
- Nardone A, Romano C e Schieppati M. 1989. Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *Journal of Physiology* 409:451-471.
- Paddon-Jones D, Keech A, Lonergan A e Abernethy P. 2005. Differential expression of muscle damage in humans following acute fast and slow velocity eccentric Exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport* 8:255-263.
- Roschel H, Ugrinowitsch C, Barroso R, Batista MAB, Souza EO, Aoki MS, Siqueira-Filho MA, Zanuto R, Carvalho CRO, Neves JR M, Mello MT e Tricoli V. 2011. Effect of eccentric exercise velocity on Akt/mTOR/ p70^{s6k} signaling in human skeletal muscle. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 36:283-290.
- Shepstone TN, Tang JE, Dallaire S, Schuenke MD, Staron RS e Phillips SM. 2005. Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *Journal of Applied Physiology* 98:1768-1776.
- Toigo M e Boutellier U. 2006. New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European Journal of Applied Physiology* 97: 643-663.