

**INFLUÊNCIA DO ESTRESSE METABÓLICO NA HIPERTROFIA MUSCULAR:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Geison Fiochi¹, Pedro Pugliesi Abdalla², Nilo Cesar Ramos³, Anderson dos Santos Carvalho⁴
Jair Rodrigues Garcia Júnior¹

RESUMO

Introdução: O treinamento resistido é utilizado para diversos fins, sendo praticado pela população em geral, desde jovens até idosos, pessoas com enfermidades até atletas de variados esportes. Entre os resultados do treinamento resistido, o ganho de força gera manutenção dessa capacidade em idosos, mas também a hipertrofia muscular é evidenciada, notoriamente pelo público jovem afeito ao seu valor estético. Para tal finalidade, o protocolo define a utilização de cargas equivalentes a 80% de uma repetição máxima (RM). Recentemente, têm sido estudadas alternativas ao protocolo de treinamento resistido para hipertrofia. As novas propostas com alterações da sobrecarga relativa, da intensidade e do volume têm sido testadas, porém ainda sem resultados conclusivos. **Objetivo:** Verificar na literatura o papel da indução do estresse metabólico na hipertrofia muscular. **Materiais e Métodos:** Trata-se de uma revisão sistemática da literatura, realizado nas bases de dados Lilacs, SciELO, MedLine - PubMed e Google Acadêmico, considerando os anos de 2000 a 2021. **Resultados:** No treinamento resistido, o estresse mecânico e/ou o acúmulo de metabólitos são gatilhos com papel essencial. A partir do estímulo da sobrecarga, o sistema imune, a inflamação local, os fatores de crescimento, os hormônios sistêmicos e as células satélites são mobilizados e ativados para promover a reparação tecidual e hipertrofia muscular. **Conclusão:** O treinamento resistido com sobrecargas moderadas, com ou sem a restrição do fluxo sanguíneo, tem se mostrado eficiente para promoção da hipertrofia, desde que induza elevado grau de desequilíbrio muscular caracterizado pelo estresse metabólico.

Palavras-chave: Estresse fisiológico. Estresse mecânico. Treinamento.

1 - Universidade do Oeste Paulista-UNOESTE, Presidente Prudente-SP, Brasil.

2 - Universidade de São Paulo-USP, Ribeirão Preto-SP, Brasil.

ABSTRACT

The influence of metabolic stress on muscle hypertrophy: a systematic literature review

Introduction: Resistance training is used for several purposes, being practiced by the general population, from young people to the elderly, people with illnesses to athletes of various sports. Among the results of resistance training, the gain in strength generates maintenance of this capacity in the elderly, but also muscle hypertrophy is evidenced, notably by the young public used to its aesthetic value. **Objective:** For this purpose, the protocol defines the use of loads equivalent to 80% of one maximum repetition (RM). **Materials and Methods:** This is a systematic literature review, carried out in the Lilacs, SciELO, MedLine - PubMed and Academic Google databases, considering the years 2000 to 2021. **Results:** Recently, alternatives to the resistance training protocol for hypertrophy have been studied. The new proposals with changes in relative overload, intensity and volume have been tested, but still with no conclusive results. The aim of this study was to verify in the literature the role of the induction of metabolic stress in muscle hypertrophy. In resistance training, mechanical stress and / or the accumulation of metabolites are triggers with an essential role. From the stimulation of overload, the immune system, local inflammation, growth factors, systemic hormones and satellite cells are mobilized and activated to promote tissue repair and muscle hypertrophy. **Conclusion:** Resistance training with moderate overloads, with or without blood flow restriction, has been shown to be efficient for promoting hypertrophy, as long as it induces a high degree of muscle imbalance characterized by metabolic stress.

Key words: Physiological stress. Mechanical stress. Physical exercise.

3 - Coastal Carolina University-CCU. Conway-SC, Estados Unidos da América.

4 - Universidade Paulista-UNIP, São José do Rio Preto-SP, Brasil.

INTRODUÇÃO

A procura pelo treinamento resistido tem aumentado em razão da maior conscientização sobre os benefícios que a prática desse tipo de exercício pode proporcionar (Antunes e colaboradores, 2006).

O número de academias e de profissionais especializados para esse tipo de treinamento também tem aumentado progressivamente (Ide, Lazarim, Maced, 2011).

O treinamento resistido abrange diferentes métodos de treinamentos que podem ser adequados para prática desde jovens até idosos (Ide, Lazarim, Maced, 2011).

Os benefícios desse treinamento estão relacionados à saúde, tais como melhora do sono, da composição corporal com aumento da massa muscular e diminuição do tecido adiposo, melhora da capacidade dos sistemas cardiovascular, imunológico, nervoso motor e cognitivo. Outros benefícios são decorrentes das adaptações musculoesqueléticas, como a melhora da flexibilidade, tônus musculares, força, rigidez e resistência dos ossos e articulações (Ide, Lazarim, Maced, 2011; Silverman, Deuster, 2014; Khoo e colaboradores, 2015).

Neste sentido, o treinamento resistido pode ser um importante fator na prevenção e controle das doenças crônico-degenerativas, tais como hipertensão arterial, diabetes, obesidade, cardiopatias e osteoporose (Gonçalves e colaboradores, 2015).

Aspectos psicossociais como autoestima e depressão também podem estar positivamente relacionados com os benefícios do treinamento resistido (Antunes e colaboradores, 2006).

A hipertrofia muscular (aumento do volume muscular) é uma das principais adaptações proporcionadas pelo treinamento resistido aonde dois dos princípios básicos do treinamento esportivo devem ser respeitados: sobrecarga progressiva e da adaptação (Bacurau, Navarro, Uchida, 2009).

As sobrecargas do treinamento resistido representam o estímulo e a tensão que geram adaptações morfológicas, fisiológicas e metabólicas (Oliveira, 2014).

Para obter hipertrofia muscular as sessões devem incluir exercícios com três a quatro séries e sete a 12 repetições com cargas de 80 a 90% de uma repetição máxima (RM) e pausas de 1,5 min a dois min entre as séries (Lima e colaboradores, 2006).

O treinamento com esses parâmetros e duração de 40 a 60 min promove grande produção de lactato, íons de hidrogênio e hipóxia muscular, resultando em uma condição de estresse metabólico, sendo responsável pelas adaptações hipertróficas (Ozaki e colaboradores, 2016).

O estudo sobre o treinamento resistido surgiu no século XX e existe a mais de 100 anos (Barbanti, Tricoli, Ugrinowitsch, 2004).

Treinadores e alguns pesquisadores começaram a reunir informações e sistematizá-las suas experiências com o propósito de facilitar o processo e aumentar o rendimento esportivo, ou seja, condicionamento físico (Barbanti, Tricoli, Ugrinowitsch, 2004).

A princípio da história, o treinamento resistido, tinha como objetivo e prática voltados somente para os atletas, ao contrário do que se pode observar atualmente. Assim, com a nova sociedade e a procura por um estilo de vida mais ativo, o treinamento resistido passou a ser disseminado para todos atuando em novas áreas, como saúde e reabilitação (Oliveira, 2019).

Nas últimas duas décadas, houve uma atenção grande sobre a hipertrofia muscular, aonde se tenta investigar os melhores parâmetros para a otimização do exercício e hipertrofia (Barbanti, Tricoli, Ugrinowitsch, 2004). O estudo sobre o estresse metabólico vem sendo feito paralelamente ao estudo da hipertrofia nos últimos 10 anos.

Nesse tempo, grandes descobertas foram feitas sobre as melhores maneiras de se treinar. A literatura sugere que o estresse metabólico promovido durante o treinamento resistido favorece o anabolismo muscular (Uchida e colaboradores, 2006; Lima, Barros, 2007).

O estresse metabólico não precisa ser resultante apenas do treinamento com cargas elevadas, mas também pode ser advindo da intensidade do trabalho com cargas menores, provocando adaptações semelhantes e resultando também na hipertrofia muscular (Ozaki e colaboradores, 2016; Krzysztofik e colaboradores, 2019).

Evidências sugerem pelo menos um estresse mecânico de 65% de 1RM para promover hipertrofia (Ozaki e colaboradores, 2016).

Porém, o treinamento com movimentos lentos e intensidade de 50% de 1RM também resulta em hipertrofia semelhante ao protocolo

tradicional com 80% de 1RM e cadência normal (Ide, Lazarim, Maced, 2011).

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi verificar na literatura o papel da indução do estresse metabólico na hipertrofia muscular.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foi adotado método analítico, com abordagem qualitativa. O estudo foi realizado por meio de pesquisa de revisão de literatura com a busca, seleção, leitura e análise da bibliografia relativa ao tema.

O período de publicação dos artigos selecionados para a busca foi de 2000 a 2021, pois a intenção foi verificar o papel da indução do estresse metabólico na hipertrofia muscular nos últimos vinte anos. Uma vez que a literatura demonstra que o estudo do estresse metabólico vem sendo feito paralelamente ao estudo da hipertrofia nos últimos 10 anos (Uchida e colaboradores, 2006; Oliveira, 2019).

Os descritores utilizados para a busca dos artigos foram “metabolic stress” (estresse metabólico) AND “resistance training” (treinamento de força) AND “hypertrophy” (hipertrofia) e seus correspondentes em português e inglês. Foram incluídos: a) estudos clínicos, de caso, aleatorizados e de revisão relacionados ao treinamento resistido e metabólico; b) estudos publicados no idioma português e inglês. As bases de dados (Literatura Latino-Americana e do Caribe em

Ciências da Saúde [LILACS], Scientific Electronic Library Online [SciELO], National Library of Medicine [MedLine-PubMed] e Google Acadêmico.), como o idioma (português e inglês) foram definidos com base no objeto de estudo. Foram excluídos artigos com informações incompletas, ineficientes ou com irrelevância nos critérios metodológicos. Também, foram excluídos artigos repetidos, teses, dissertações, livros, capítulos de livros, artigos de revisão, reflexão, relatos de experiência e carta ao editor.

A princípio os artigos científicos passaram por três fases conforme critérios descritos acima. A primeira foi a consulta às bases de dados, segundo a seleção dos artigos foi estruturado por meio de um banco de dados no software Microsoft Office Excel 2010, onde armazenou-se as informações (ano de publicação, título do artigo, delineamento do estudo, objetivos e conclusão) dos artigos científicos selecionados pela leitura do título e resumo.

Por fim, após essa seleção inicial foi realizada análise crítica de conteúdo, considerando o mérito científico de cada artigo e possíveis relações de similaridades ou conflitos entre eles.

Todas estas três etapas processo foram realizadas por dois pesquisadores de forma independente. Por fim, foi organizado um fluxograma com o propósito de sistematização (Figura 1).

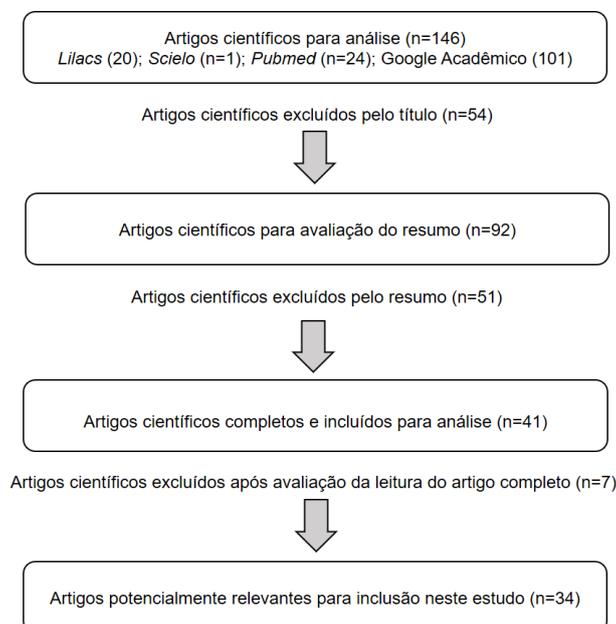


Figura 1 - Fluxograma da seleção dos artigos científicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Exercício resistido

O exercício resistido é caracterizado como esforço intermitente, com contração muscular que gera força, em oposição a uma resistência (carga) externa mecânica ou livre (Câmara, Bastos, Volpe, 2012).

Neste sentido, há um estímulo de tensão nos músculos que resulta em aumento da força, proporcionalmente ao grau de tensão imposto (Baechle, Earle, 2010).

Para aumentar a força, os músculos devem ser estimulados com sobrecargas e níveis de tensão progressivos, estimulando recrutamento das fibras musculares e a hipertrofia.

Além da força, os exercícios aumentam a resistência muscular, ou seja, a capacidade do músculo para realizar grande número de repetições de um exercício com sobrecarga moderada para músculos específicos ou grupos musculares (Gonçalves e colaboradores, 2015).

A potência é outra variável desenvolvida por meio do treinamento resistido quando, juntamente com a sobrecarga, está presente o fator velocidade na execução dos movimentos. A potência está relacionada com a hipertrofia e a força, porém depende também da capacidade neuromuscular de recrutamento e das unidades motoras compostas principalmente pelas fibras musculares do tipo II (MCardle, Katch, Katch, 2016).

O treinamento resistido tem sido amplamente recomendado pelo American College of Sports Medicine (ACSM) e American Heart Association (AHA) em razão de seus benefícios, segurança e eficácia para populações saudáveis, portadores de doenças crônicas e pacientes debilitados (Anuniação e colaboradores, 2012).

Entre os benefícios está o aumento da seção transversal e da força muscular, manutenção ou melhora da densidade óssea, melhora da autoestima e da qualidade de vida (Antunes e colaboradores, 2006; Lima e colaboradores, 2011).

O ACSM recomenda que o programa de treinamento resistido seja dividido em sessões alternadas de exercícios para os membros inferiores e para os membros superiores (Lima e colaboradores, 2011).

Ao longo dos meses de treinamento com sobrecargas crescentes, ocorrem

progressivas modificações da composição corporal devido ao ganho de massa muscular e perda de tecido adiposo (Menon, Santos, 2012).

Hipertrofia

A hipertrofia muscular ocorre em consequência do crescimento da área da seção transversal (diâmetro) das fibras musculares (Oliveira, 2014).

Os dois fatores que contribuem para a hipertrofia muscular são o aumento do conteúdo sarcoplasmático e do conteúdo miofibrilar.

O conteúdo sarcoplasmático envolve maior armazenamento de glicogênio, creatina e água nas fibras sendo uma adaptação relativamente rápida nos primeiros meses de treinamento.

O conteúdo miofibrilar está relacionado com uma maior síntese de acúmulo de proteínas específicas da contração, que compõem a miofibrila. Trata-se de uma adaptação mais lenta e gradativa que ocorre com sobrecargas crescentes (Bacurau, Navarro, Uchida, 2009).

A hipertrofia muscular depende de dois fatores: treinamento e alimentação adequada. O treinamento deve representar um estímulo suficiente para depletar parte do conteúdo dos músculos e causar microlesões, promovendo um processo inflamatório local. Sinais químicos a nível celular (de forma parácrina, de atuação localizada) com moléculas inflamatórias denominadas prostaglandinas são fundamentais para estimular o processo subsequente de secreção de fatores de crescimento e reparação do tecido muscular em condição de repouso (Tiidus, 2008; Wackerhage e colaboradores, 2019).

Além dessa sinalização natural das células musculares, outros fatores, como os nutrientes provenientes da alimentação devem estar presentes para promover a completa reparação desse tecido. As refeições subsequentes ao treinamento devem fornecer proteínas com os aminoácidos para a síntese dessas e de outras moléculas intermediárias ao processo de reparação (Shamim, Hawley, Camera, 2018).

É importante destacar que, além dos aminoácidos, outros nutrientes são necessários diretamente ou indiretamente para o processo de reparação. A falta de outros macronutrientes (carboidratos-energia, gorduras-membranas

celulares) e micronutrientes (minerais e vitaminas) impedem que o processo ocorra adequadamente, prolongando a reparação, adaptação e supercompensação (Marques, Liberali, 2012).

O músculo estriado cardíaco também se adapta com as cargas crescentes do treinamento, excedendo a capacidade pré-existente das fibras. Com a hipertrofia do músculo cardíaco há maior eficácia para difusão do sangue nas câmaras e manter o débito cardíaco proporcional às demandas impostas pelo esforço (Pithon-Curi, 2013).

Processo de hipertrofia

O músculo esquelético tem a capacidade de contração para exercer três funções: proporcionar movimento ou locomoção, estabilidade postural e a capacidade de gerar força (Tiidus, 2008).

O treinamento resistido é uma forma intencional de submeter os músculos a demandas de contração não rotineiras, por meio de sobrecargas crescentes. As sobrecargas permitem executar movimentos apenas de forma intermitente, devido à fadiga.

A tensão da contração, as alterações metabólicas, fisiológicas e morfológicas localizadas e sistêmicas representam um estresse ao músculo esquelético, impondo que, posteriormente, ele se adapte.

Nesse processo, para possibilitar suportar um maior estímulo em sessões futuras, há uma compensação das moléculas utilizadas durante o esforço atual e, em condições adequadas de recuperação, há também uma super compensação (acúmulo de quantidades adicionais das várias moléculas presentes na fibra muscular, incluindo proteínas contráteis) (Junior, Lopes, 2008; Oliveira, 2014) (Figura 2).

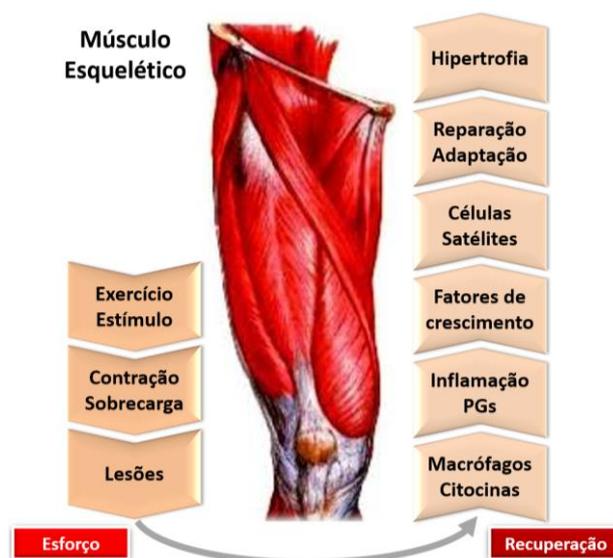


Figura 2 - Sequência dos eventos desde o estímulo até a hipertrofia muscular. PGs – prostaglandinas.

As células satélites localizadas na superfície externa da fibra muscular, entre o sarcolema e a lâmina basal, são ativadas por fatores de diferenciação e crescimento quando ocorre o micro lesões nessas fibras. Elas se proliferam e se fundem com as fibras danificadas doando seus núcleos tendo papel no crescimento (não significa o surgimento de mais fibras musculares), manutenção e na regeneração desse tecido danificado (Foschini, Ramalho, Bicas, 2004; Silva, 2009).

Há o aumento do tamanho e do número de proteínas contráteis (actina e miosina) dentro das fibras reparadas. Este período de ativação e proliferação celular por satélite dura até 48 horas após o estímulo da sessão de treinamento (Foschini, Ramalho, Bicas, 2004).

A quantidade de células satélites nos músculos varia conforme a proporção das fibras tipo I e II. As fibras tipo I possuem número de células satélites cinco a seis vezes maiores do que as fibras tipo II. Isso porque as fibras tipo I têm maior capilaridade e são usadas com

maior frequência, tendo maior susceptibilidade a pequenas lesões (Silva, 2009).

As diferenças neuromusculares, metabólicas e morfológicas entre os dois tipos de fibras resultam em respostas diversas de hipertrofia (Rowell, Shepherd, 1996; MCardle, Katch, Katch, 2016).

Fibras tipo I sofrem hipertrofia em menor grau em resposta a sobrecarga progressiva imposta pelo treinamento resistido e de endurance (Bacurau, Navarro, Uchida, 2009).

As fibras tipo II são aptas à maior produção de força por períodos curtos, portanto, mais utilizadas e mais responsivas ao treinamento resistido.

O sistema imune também tem papel no músculo após a lesão, pois contém parte dos danos, retira produtos residuais da área lesionada e inicia o processo de reparação. Os macrófagos migram para o local da lesão e iniciam a fagocitose dos detritos celulares. Ao mesmo tempo, secretam citocinas que estimulam o processo inflamatório e a chegada de outras células do sistema imune, tais como linfócitos, neutrófilos e outras células para reparação tecidual. As três citocinas frequentemente envolvidas no processo são a Interleucina-1 (IL-1), Interleucina-6 (IL-6) e fator de necrose tumoral alfa (TNF- α), que são responsáveis pela resposta inflamatória (Mayer e colaboradores, 2010; Teodoro e colaboradores, 2010; Azizbeigi e colaboradores, 2015; Costa, Werutsky, 2015).

Os fatores de crescimento, assim como as citocinas, são proteínas locais e específicas envolvidas no processo de reparação, adaptação e hipertrofia muscular, pois estimulam a proliferação e diferenciação das células satélites. O fator de crescimento semelhante à insulina (IGF), fator de crescimento de fibroblastos (FGF) e fator de crescimento de hepatócitos (HGF) estão entre os principais envolvidos na reparação e hipertrofia muscular (Costa, Rosa, 2013).

Os fatores de crescimento semelhantes à insulina IGF-I e IGF-II têm efeito semelhante à insulina no metabolismo da glicose e por isso recebem essa nomenclatura. Além disso, induzem a proliferação e diferenciação de células satélites. A concentração de IGF-I aumenta sensivelmente em resposta as cargas progressivas e contribui para hipertrofia do músculo esquelético. O FGF e o HGF são liberados no músculo em proporção ao grau de

trauma ou lesão muscular e induzem a proliferação e diferenciação de células satélites para reparação tecidual (Ide, Lazarim, Maced, 2011).

Há também os hormônios secretados por glândulas que têm efeitos nos músculos. O hormônio do crescimento (GH) estimula a produção do IGF no músculo e por isso está relacionado com a hipertrofia. A testosterona é um esteroide androgênico com efeito anabólico de estímulo da síntese protéica (MCardle, Katch, Katch, 2016).

Na fibra muscular, a proteína sinalizadora c-Jun N-terminal kinase (JNK) tem papel essencial na capacidade de adaptação e remodelação, sendo estimulada pelo estresse mecânico do exercício resistido para fosforilar e ativar o fator de transcrição SMAD2 que, por sua vez, inibe a proteína miostatina, supressora do crescimento muscular (Lessard e colaboradores, 2018).

Estresse metabólico e hipertrofia

É estabelecido recorrentemente que o treinamento resistido promove a hipertrofia muscular (Marques, Liberali, 2012; Oliveira, 2014). Há indícios que o estresse mecânico seja o principal fator indutor dos processos de reparação anabólicos e da resposta muscular adaptativa (Ozaki e colaboradores, 2016).

O treinamento resistido pode ser realizado com diferentes intensidades (sobrecargas e pausas) e durações, que resultam em respostas agudas locais e sistêmicas diversas, ou seja, graus variados de estresse metabólico. Em princípio, esse é o fator inicial que induz lesões e desencadeia os processos de reparação e hipertrofia. As condições no período de recuperação, tais como o tempo total de repouso, qualidade da dieta e frequência das refeições são também de grande relevância (Menon, Santos, 2012).

Atualmente, há indicações de que o treinamento resistido com sobrecargas moderadas (50 a 60% de 1RM) pode resultar em acúmulo de metabólitos, lesões e ativação de todos os processos que caracterizam o estresse metabólico, de forma semelhante ao protocolo tradicional com cargas de 80 a 90% de 1RM (Figura 3).

Desse modo, o aumento progressivo da força não seria condição necessária para o aumento da hipertrofia (Ide, Lazarim, Maced, 2011).

Protocolo	Tradicional	Carga moderada	Restrição Fluxo sanguíneo
Carga	80-90% 1RM	50-60% 1RM	30-40% 1RM
Séries	3-5	6-10	5-8
Repetições	6-10	15-20	15-30
Veloc. mov.	Média	Lenta	Lenta
Fadiga	Estresse mecânico elevado	Repetições elevadas	Remoção de metabólitos diminuída
Efeito	Estresse metabólico		
Resultado	Inflamação	Reparação	Adaptação
			Hipertrofia

Figura 3 - Características dos protocolos de treinamentos utilizados para hipertrofia. 1RM - uma repetição máxima; Veloc. mov. - Velocidade do movimento

De acordo com o conceito tradicional, o treinamento resistido de alta intensidade é essencialmente anaeróbio e depende muito da via metabólica da glicólise para ressíntese do trifosfato de adenosina (ATP), havendo grande produção e acúmulo de metabólitos, particularmente lactato e íons H^+ . Estes, juntamente com a diminuição do pH, são os agentes do estresse metabólico muscular durante o exercício. Assim, a determinação da concentração de lactato e do pH intracelular (ou sanguíneo) podem ser meios para mensurar a intensidade da sessão de treinamento e o grau do estresse metabólico (Ozaki e colaboradores, 2016).

O treinamento resistido, seja com cargas elevadas ou cargas moderadas, pode ser realizado até a fadiga. Nesta condição, há acúmulo no músculo de metabólitos como o lactato, amônia, radicais livres, íons H^+ , CO_2 , ADP, AMP, IMP, metil-xantinas e vários outros (Pithon-Curi, 2013).

O estresse mecânico de alta intensidade provoca o estresse metabólico de grau elevado que, por sua vez, desencadeia os processos que resultam na hipertrofia em proporção direta ao estímulo inicial (Ozaki e colaboradores, 2016).

Dessa forma, mais importante que a carga é o nível de fadiga ao final, que depende de variáveis como número de repetições, tempo de pausas entre as séries e velocidade de execução. Manipulando tais variáveis, o

grau de estresse metabólico pode ser maior que aquele obtido com o estresse mecânico de cargas mais elevadas (Ozaki e colaboradores, 2016).

Um método que passou a ser utilizado nos últimos anos para obtenção de hipertrofia e que tem como provável mecanismo o estresse metabólico é a restrição do fluxo sanguíneo muscular e consequente hipóxia tecidual (Nishimura e colaboradores, 2010). Na prática do treinamento resistido são utilizados manguitos com pressão mecânica ou pneumática que restringem principalmente o retorno venoso e, conseqüentemente, a remoção dos metabólitos. O procedimento é utilizado em protocolos com cargas moderadas e execução lenta dos movimentos. Há estudos demonstrando aumento da força e da hipertrofia mais rapidamente que o treinamento tradicional com cargas mais elevadas (Nishimura e colaboradores, 2010; Lowery e colaboradores, 2014).

O treinamento com restrição do fluxo sanguíneo, desde que executado até a fadiga, promove o mesmo grau da hipertrofia do treinamento tradicional, mesmo com carga total de trabalho menor que e sem provocar o mesmo grau de lesão muscular (Wilson e colaboradores, 2013; Farup e colaboradores, 2015).

Assim, há evidências de que o estresse metabólico induzido pelo acúmulo de metabólitos é um gatilho para a adaptação e

hipertrofia muscular (Wilson e colaboradores, 2013).

Porém, ainda não há estudos longitudinais de longo prazo com o protocolo de restrição do fluxo sanguíneo para verificar se há: 1) continuidade do processo de hipertrofia; 2) aumento da força de modo relativo à hipertrofia; 3) necessidade de aumento progressivo da sobrecarga para manter as adaptações e; 4) possibilidade e vantagens de alternar esse protocolo com o tradicional para a continuidade da hipertrofia/ganhos de força (Lowery e colaboradores, 2014; Farup e colaboradores, 2015).

CONCLUSÃO

A hipertrofia muscular é um processo complexo estimulado de diversas formas que alteram o equilíbrio muscular de forma significativa.

No treinamento resistido, o estresse mecânico e/ou o acúmulo de metabólitos, seja pelo caráter fatigante da exigência muscular ou pela restrição do fluxo sanguíneo e da remoção dos metabólitos, são gatilhos com papel essencial.

O sistema imune, a inflamação, os fatores de crescimento, os hormônios sistêmicos e a células satélites são mobilizados e ativados a partir do estímulo da sobrecarga para promover reparação tecidual e hipertrofia muscular.

Alternativas de treinamento resistido com sobrecargas moderadas têm se mostrado eficientes para promoção da hipertrofia, desde que induzam elevado grau de desequilíbrio muscular caracterizado pelo estresse metabólico.

REFERÊNCIAS

- 1-Antunes, H. K. M.; Santosi, R. F.; Cassilhas, R.; Santos, R. V. T.; Buenoi, O. F. A.; Mello, M. T. D. Exercício físico e função cognitiva: uma revisão. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 12. Num. 2. 2006. p. 108-114.
- 2-Anuniação, P. G.; Poton, R.; Szytko, A.; Polito, M. D. Comportamento cardiovascular após o exercício resistido realizado de diferentes formas e volumes de trabalho. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 18. Num. 2. 2012. p. 117-121.
- 3-Azizbeigi, K.; Azarbayjani, M. A.; Atashak, S.; Stannard, S. R. Effect of Moderate and High Resistance Training Intensity on Indices of Inflammatory and Oxidative Stress. *Research in Sports Medicine*. Vol. 23. Num. 1. 2015. p. 73-87.
- 4-Bacurau, R. F.; Navarro, F.; Uchida, M. C. Hipertrofia-hiperplasia: fisiologia, nutrição e treinamento do crescimento muscular. São Paulo. Phorte. 2009.
- 5-Baechle, T. R.; Earle, R. W. Fundamentos do treinamento de força e do condicionamento. Barueri. Manole. 2010.
- 6-Barbanti, V. J.; Tricoli, V.; Ugrinowitsch, C. Relevância do conhecimento científico na prática do treinamento físico. *Revista Paulista de Educação Física*. Vol. 18. Num. 1. 2004. p. 101-109.
- 7-Câmara, L. C.; Bastos, C. C.; Volpe, E. F. T. Exercício resistido em idosos frágeis: uma revisão da literatura. *Fisioterapia em Movimento*. Vol. 25. Num. 2. 2012. p. 435-443.
- 8-Costa, E. M. D.; Werutsky, C. A. IL-6: Sinalização na Hipertrofia Muscular e efeitos Metabólicos Sistêmicos. *International Journal of Nutrology*. Vol. 8. Num. 4. 2015. p. 95-100.
- 9-Costa, L. P. P. D.; Rosa, M. S. A importância do intervalo de recuperação entre as séries no treinamento resistido: sua relevância para a hipertrofia muscular em adultos saudáveis. *Universidade Estadual do Pará*. Vol. 1. Num. 1. 2013. p. 1-16.
- 10-Farup, J.; Paoli, F. D.; Bjerg, K.; Riis, S.; Ringgard, S.; Vissing, K. Blood flow restricted and traditional resistance training performed to fatigue produce equal muscle hypertrophy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. Vol. 25. Num. 6. 2015. p. 754-763.
- 11-Foschini, R. M. S. A.; Ramalho, F. S.; Bicas, H. E. A. Células satélites musculares. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*. Vol. 67. Num. 4. 2004. p. 681-687.
- 12-Gonçalves, A. C. C. R.; Vanderlei, L. C. M.; Monteiro, B. M. M.; Carvalho, T. D. D.; Rossi, R. C.; Fernandes, R. A.; Pastre, C. M.; Abreu, L. C. D. Effect of Acute Resistance Exercise in Different Intensities and Body Segments on

Cardiovascular Variables. *International Archives of Medicine*. Vol. 8. Num. 134. 2015. p. 1-12.

13-Ide, B. N.; Lazarim, F. L.; Maced, D. VOL. D. Hipertrofia muscular esquelética humana induzida pelo exercício físico/Exercise-induced human skeletal muscle hypertrophy. *Revista Ciências em Saúde*. Vol. 1. Num. 2. 2011. p. 1-10.

14-Junior, S. L. P. S.; Lopes, J. G. C. Otimização no ganho de massa magra através da ingestão de carboidratos após o treinamento de força. *Revista Digital EFdportes*. Ano 13. Num. 124. 2008. p. 1-10.

15-Khoo, J.; Dhamodaran, S.; Chen, D.-D.; Yap, S.-Y.; Chen, R. Y.-T.; Tian, R. H.-H. Exercise-Induced Weight Loss Is More Effective Than Dieting for Improving Adipokine Profile, Insulin Resistance, and Inflammation in Obese MeNum. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Vol. 25. Num. 6. 2015. p. 566-575.

16-Krzysztofik, M.; Wilk, M.; Wojdała, G.; Gołaś, A. Maximizing Muscle Hypertrophy: A Systematic Review of Advanced Resistance Training Techniques and Methods. *International Journal Environmental Research Public Health*. Vol. 16. Num. 24. 2019. p. 4897.

17-Lessard, S. J.; Macdonald, T. L.; Pathak, P.; Han, M. S.; Coffey, VOL. G.; Edge, J.; Rivas, D. A.; Hirshman, M. F.; Davis, R. J.; Goodyear, L. J. JNK regulates muscle remodeling via myostatin/SMAD inhibition. *Nature Communications*. Vol. 9. Num. 1. 2018. p. 3030.

18-Lima, A. H. R. D. A.; Forjaz, C. L. D. M.; Silva, G. Q. D. M.; Meneses, A. L.; Silva, A. J. M. R.; Ritti-Dias, R. M. Acute effect of resistance exercise intensity in cardiac autonomic modulation after exercise *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. Vol. 96. Num. 6. 2011. p. 498-503.

19-Lima, F. V.; Chagas, M. H.; Corradi, E. F. F. Silva, G. F. D.; Souza, B. B. D.; Júnior, L. A. M. Análise de dois treinamentos com diferentes durações de pausa entre séries baseadas em normativas previstas para a hipertrofia muscular em indivíduos treinados. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 12. Num. 4. 2006. p. 175-178.

20-Lima, G. G. D.; Barros, J. J. D. Efeitos da suplementação com carboidratos sobre a resposta endócrina, hipertrofia e a força muscular. *Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício*. São Paulo. Vol. 1. Num. 2. p. 74-89. 2007.

21-Lowery, R. P.; Joy, J. M.; Loenneke, J. P.; Souza, E. O. D.; Machado, M.; Dudeck, J. E.; Wilson, J. M. Practical blood flow restriction training increases muscle hypertrophy during a periodized resistance training programme. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. Vol. 34. Num. 4. 2014. p. 317-321.

22-Marques, G. C.; Liberali, R. Consumo de proteínas na prática do treinamento de força: Revisão sistemática. *Revista Brasileira de Nutrição Esportiva*. São Paulo. Vol. 6. Num. 32. 2012. p. 158-164.

23-Mayer, L. E.; Bon, K. S.; Abdalla, F. H.; Almeida, F. L.; Pozzobon, R. C. R.; Al, M. F. C. E. Perspectivas laboratoriais na avaliação da resposta inflamatória. *Revista Brasileira de Farmacologia*. Vol. 91. Num. 4. 2010. p. 149-161.

24-Mcardle, W. D.; Katch, F. I.; Katch, V. L. *Fisiologia do Exercício: nutrição, energia e desempenho humano*. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan. 2016.

25-Menon, D.; Santos, J. S. D. Consumo de proteína por praticantes de musculação que objetivam hipertrofia muscular. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 18. Num. 1. 2012. p. 8-12.

26-Nishimura, A.; Sugita, M.; Kato, K.; Fukuda, A.; Sudo, A.; Uchida, A. Hypoxia Increases Muscle Hypertrophy Induced by Resistance Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. Vol. 5. Num. 4. 2010. p. 497-508.

27-Oliveira, R. A. Efeitos de uma dieta rica em carboidratos na hipertrofia muscular em praticantes de treinamento de força. *Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício*. São Paulo. Vol. 8. Num. 47. 2014. p. 435-444.

28-Oliveira, S. A. D. *Treinamento Resistido e Síndrome Metabólica: Revisão de Lietartura*. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de

Ciências da Educação e Saúde. Centro Universitário de Brasília - UniCEUB. Brasília. 2019.

29-Ozaki, H.; Loenneke, J. P.; Buckner, S. L.; Abe, T. Muscle growth across a variety of exercise modalities and intensities: Contributions of mechanical and metabolic stimuli. *Medical Hypotheses*. Vol. 88. 2016. p. 22-26.

30-Pithon-Curi, T. C. *Fisiologia do exercício*. Rio de Janeiro. Guanabara-Koogan. 2013.

31-Rowell, L. B.; Shepherd, J. T. *Handbook of physiology*. Section 12. Exercise: regulation and integration of multiple systems. Oxford. Oxford University Press. 1996.

32-Shamim, B.; Hawley, J. A.; Camera, D. M. Protein Availability and Satellite Cell Dynamics in Skeletal Muscle. *Sports Medicine*. Vol. 48. Num. 6. 2018. p. 1329-1343.

33-Silva, E. D. Microlesões celulares induzidas pelo exercício físico e respostas adaptativas no músculo esquelético. *Revista Digital EFDportes*. Vol. 14. Num. 135. 2009. p. 1-10.

34-Silverman, M. N.; Deuster, P. A. Biological mechanisms underlying the role of physical fitness in health and resilience. *Interface Focus*. Vol. 4. Num. 5. 2014. p. 1-12.

35-Teodoro, B. G.; Moreira, O. C.; Peluzio, M. D. C. G.; Natali, A. J. Resposta das citocinas ao exercício físico. *Revista Digital EFDportes*. Vol. 15. Num. 144. 2010. p. 1-10.

36-Tiidus, P. M. *Skeletal muscle damage and repair*. Champaign. Human Kinetics. 2008.

37-Uchida, M. C.; Aoki, M. S.; Navarro, F.; Tessutti, V. D.; Bacurau, R. F. P. Efeito de diferentes protocolos de treinamento de força sobre parâmetros morfofuncionais, hormonais e imunológicos. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 12. Num. 1. 2006. p. 21-26.

38-Wackerhage, H.; Schoenfeld, B. J.; Hamilton, D. L.; Lehti, M.; Hulmi, J. J. Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 126. Num. 1. 2019. p. 30-43.

39-Wilson, J. M.; Lowery, R. P.; Joy, J. M.; Loenneke, J. P.; Naimo, M. A. Practical Blood Flow Restriction Training Increases Acute Determinants of Hypertrophy Without Increasing Indices of Muscle Damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 27. Num. 11. 2013. p. 3068-3075.

E-mail dos autores:

geisonfiochi@hotmail.com
pedroabdalla11@gmail.com
niloramos@hotmail.com
ander_uai@hotmail.com
jgjunior@unoeste.br

Autor correspondente:

Jair Rodrigues Garcia Júnior.
jgjunior@unoeste.br
Curso de Educação Física.
UNOESTE - campus II.
Rod. Raposo Tavares, Km 572, Limoeiro.
Presidente Prudente-SP, Brasil.
CEP: 19067-175.

Recebido para publicação em 11/08/2021
Aceito em 13/12/2021