v7.n8.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

TENSÃO MECÂNICA E PROXIMIDADE DA FALHA NA HIPERTROFIA MUSCULAR

MECHANICAL TENSION AND PROXIMITY TO FAILURE IN MUSCLE HYPERTROPHY

TENSIÓN MECÁNICA Y PROXIMIDAD AL FALLO EN LA HIPERTROFIA MUSCULAR

Jadson Mateus Adalid de Souza Reis[1], Jhonatan Gomes Gadelha[2], João José Albuquerque de Sousa Júnior[3], Jordan de Souza Reis[4], Aristeia Nunes Sampaio[5]

e788686
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i8.8686

PUBLICADO: 08/2026

RESUMO

A hipertrofia muscular esquelética é uma das principais adaptações induzidas pelo treinamento resistido, sendo a tensão mecânica apontada como o estímulo primário para esse processo. Nesse contexto, a proximidade da falha muscular tem sido investigada como uma estratégia para otimizar o recrutamento de unidades motoras e potencializar a resposta hipertrófica. O objetivo deste estudo foi analisar, por meio de uma revisão narrativa da literatura, os efeitos da tensão mecânica e da proximidade da falha muscular sobre a hipertrofia, bem como os mecanismos fisiológicos subjacentes. A busca foi realizada nas bases SciELO, PubMed e Google Scholar, utilizando descritores como "hipertrofia muscular", "treinamento resistido", "tensão mecânica", "falha muscular" e "repetições em reserva". Foram selecionados 16 artigos publicados majoritariamente entre 2020 e 2025. Os resultados indicam que a tensão mecânica é o principal fator desencadeador da hipertrofia, atuando por meio de mecanismos de mecanotransdução que ativam vias anabólicas como a mTORC1. A proximidade da falha muscular, especialmente quando mensurada por repetições em reserva (RIR), mostra-se uma estratégia eficaz para garantir alto recrutamento de fibras musculares e exposição à tensão mecânica, sem a necessidade de se atingir a falha concêntrica absoluta em todas as séries. Conclui-se que a prescrição do treinamento resistido deve priorizar a geração de tensão mecânica e o controle da proximidade da falha, utilizando o RIR como ferramenta para equilibrar estímulo e fadiga, maximizando assim os ganhos hipertróficos.

PALAVRAS-CHAVE: Hipertrofia muscular. Treinamento resistido. Tensão mecânica. Falha muscular. Repetições em reserva.

ABSTRACT

Skeletal muscle hypertrophy is a primary adaptation induced by resistance training, with mechanical tension identified as the primary stimulus for this process. In this context, the proximity to muscle failure has been investigated as a strategy to optimize motor unit recruitment and enhance the hypertrophic response. This study aimed to analyze, through a narrative review of the literature, the effects of mechanical tension and proximity to muscle failure on hypertrophy, as well as the underlying physiological mechanisms. The search was conducted in SciELO, PubMed, and Google Scholar databases using descriptors such as "muscle hypertrophy," "resistance training," "mechanical tension," "muscle failure," and "repetitions in reserve." Sixteen articles published mostly between 2020 and 2025 were selected.

[1] Acadêmico de Educação Física - Bacharelado pela Universidade Federal do Acre.
[2] Docente da Universidade Federal do Acre; Doutorando em Dança pelo PPGDANÇA da Universidade Federal da Bahia.
[3] Docente da Universidade Federal do Acre; Doutor em Saúde Coletiva pela Universidade Federal do Acre.
[4] Residente Multiprofissional em Saúde da Família e Comunidade pela Universidade Federal do Acre; Profissional de Educação Física na Atenção Básica.
[5] Docente da Universidade Federal do Acre; Doutora em Ciências pela Universidade Federal de São Paulo.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

The results indicate that mechanical tension is the primary trigger for hypertrophy, acting through mechanotransduction mechanisms that activate anabolic pathways such as mTORC1. Proximity to muscle failure, especially when measured by repetitions in reserve (RIR), is shown to be an effective strategy to ensure high muscle fiber recruitment and exposure to mechanical tension, without the need to reach absolute concentric failure in every set. It is concluded that resistance training prescription should prioritize the generation of mechanical tension and control of proximity to failure, using RIR as a tool to balance stimulus and fatigue, thus maximizing hypertrophic gains.

KEYWORDS: *Muscle hypertrophy. Resistance training. Mechanical tension. Muscle failure. Repetitions in reserve.*

RESUMEN

La hipertrofia del músculo esquelético es una de las principales adaptaciones inducidas por el entrenamiento de resistencia, siendo la tensión mecánica señalada como el estímulo primario para este proceso. En este contexto, la proximidad al fallo muscular ha sido investigada como una estrategia para optimizar el reclutamiento de unidades motoras y potenciar la respuesta hipertrófica. El objetivo de este estudio fue analizar, a través de una revisión narrativa de la literatura, los efectos de la tensión mecánica y la proximidad al fallo muscular sobre la hipertrofia, así como los mecanismos fisiológicos subyacentes. La búsqueda se realizó en las bases de datos SciELO, PubMed y Google Scholar, utilizando descriptores como "hipertrofia muscular", "entrenamiento de resistencia", "tensión mecánica", "fallo muscular" y "repeticiones en reserva". Se seleccionaron 16 artículos publicados mayoritariamente entre 2020 y 2025. Los resultados indican que la tensión mecánica es el principal desencadenante de la hipertrofia, actuando a través de mecanismos de mecanotransducción que activan vías anabólicas como mTORC1. La proximidad al fallo muscular, especialmente cuando se mide por repeticiones en reserva (RIR), se muestra como una estrategia eficaz para garantizar un alto reclutamiento de fibras musculares y exposición a la tensión mecánica, sin necesidad de alcanzar el fallo concéntrico absoluto en todas las series. Se concluye que la prescripción del entrenamiento de resistencia debe priorizar la generación de tensión mecánica y el control de la proximidad al fallo, utilizando el RIR como herramienta para equilibrar estímulo y fatiga, maximizando así las ganancias hipertróficas.

PALABRAS CLAVE*: Hipertrofia muscular. Entrenamiento de resistencia. Tensión mecánica. Fallo muscular. Repeticiones en reserva.*

INTRODUÇÃO

O treinamento resistido é uma das modalidades de exercício físico mais praticadas atualmente, sendo caracterizado por contrações musculares que utilizam resistência externa, como pesos livres, equipamentos, elásticos ou o próprio peso corporal, para promover adaptações neuromusculares (Azevedo *et al.*, 2012). Entre as principais adaptações induzidas por esse tipo de treinamento, destaca-se a hipertrofia muscular esquelética, definida como o aumento da área de seção transversa do músculo, decorrente predominantemente do acréscimo de proteínas contráteis nas fibras musculares (Fleck & Kraemer, 1994; Schoenfeld, 2010). Esse fenômeno é de grande interesse tanto para a população em geral, que busca melhorias estéticas e funcionais, quanto para atletas e profissionais de saúde, que visam otimizar o desempenho e a reabilitação.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A compreensão dos mecanismos que desencadeiam a hipertrofia muscular avançou significativamente nas últimas décadas. Inicialmente, Schoenfeld (2010) propôs um modelo multifatorial, sugerindo que a hipertrofia resultava da interação entre três mecanismos principais: tensão mecânica, estresse metabólico e dano muscular. No entanto, evidências mais recentes têm refinado esse entendimento, apontando a tensão mecânica como o fator primário e mais relevante para o crescimento muscular. Lim *et al.* (2024) e Viecelli *et al.* (2022) destacam que a tensão mecânica é o principal estímulo que desencadeia as adaptações celulares e moleculares, enquanto o estresse metabólico e o dano muscular exercem papéis secundários ou indiretos. Roberts *et al.* (2024) corroboram essa visão, enfatizando que a sobrecarga mecânica é o gatilho inicial para a maioria das adaptações hipertróficas observadas no músculo esquelético.

A tensão mecânica gerada durante a contração muscular é convertida em sinais bioquímicos por meio de um processo denominado mecanotransdução (Mirzoev, 2023). Esse processo envolve estruturas mecanossensíveis, como a proteína titina e canais iônicos ativados mecanicamente, que percebem a deformação celular e iniciam cascatas de sinalização intracelular, culminando na ativação de vias anabólicas, com destaque para a via mTORC1, que regula a síntese de proteínas musculares (Schiaffino *et al.*, 2021; Ibata & Terentjev, 2021). Assim, a magnitude da hipertrofia está diretamente relacionada à capacidade do treinamento em expor um número suficiente de fibras musculares à tensão mecânica necessária para ativar esses mecanismos.

Nesse contexto, a proximidade da falha muscular tem sido estudada como uma variável crucial para garantir a exposição das fibras musculares à tensão mecânica. A falha muscular momentânea, conceito que requer definição inicial precisa, refere-se à incapacidade de completar mais uma repetição concêntrica com a amplitude total de movimento e a forma prescrita (Refalo *et al.*, 2022). Para fins deste artigo, adota-se a distinção entre falha concêntrica (incapacidade de completar a fase concêntrica), falha técnica (incapacidade de manter a forma do exercício) e falha absoluta (exaustão total, incluindo repetições excêntricas assistidas), sendo a falha concêntrica o foco principal da discussão. A proximidade da falha, frequentemente mensurada pelo número de repetições em reserva (RIR), refere-se a quão próximo o praticante está desse ponto de exaustão em uma determinada série (Refalo *et al.*, 2024). À medida que a série se aproxima da falha, o princípio do tamanho (Henneman) prevê o recrutamento progressivo de unidades motoras de maior limiar, incluindo as fibras do tipo II, que possuem maior potencial hipertrófico (Carpinelli, 2008; Morton *et al.*, 2019). Portanto, a proximidade da falha surge como uma estratégia para otimizar o recrutamento muscular e, consequentemente, o estímulo hipertrófico.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

No entanto, a proximidade da falha também está associada a um maior acúmulo de fadiga neuromuscular, tanto central quanto periférica (Zając *et al.*, 2015; Refalo *et al.*, 2023). A fadiga central refere-se à redução do comando neural descendente, enquanto a fadiga periférica envolve alterações metabólicas e contráteis no próprio músculo (Aguilera *et al.*, 2022). Esse aumento da fadiga pode comprometer a função contrátil durante e após o treino, potencialmente prejudicando o volume total de treinamento e a recuperação entre as sessões, o que levanta a questão sobre a necessidade real de se atingir a falha muscular em todas as séries para maximizar a hipertrofia (Pareja-Blanco *et al.*, 2017).

Estudos recentes têm investigado essa questão, comparando protocolos de treinamento realizados até a falha muscular com aqueles interrompidos com uma margem de RIR. Refalo *et al.* (2022), em uma revisão sistemática com meta-análise, e Refalo *et al.* (2024), em um estudo experimental, encontraram que treinar próximo à falha (com RIR de 0-3) resulta em hipertrofia semelhante ao treinamento até a falha, com menor acúmulo de fadiga. Robinson *et al.* (2024), por meio de metarregressões, identificaram uma relação dose-resposta entre a proximidade da falha e a hipertrofia, mas sugeriram que a faixa de 0-3 RIR é a mais eficiente, enquanto a falha absoluta não oferece benefícios adicionais proporcionais ao custo fisiológico. Por outro lado, Lasevicius *et al.* (2022) observaram que a falha muscular pode ser mais benéfica em protocolos com cargas baixas, onde o recrutamento de fibras de alto limiar depende da continuidade da série até a exaustão.

A presente revisão narrativa justifica-se pela necessidade de sintetizar e analisar criticamente as evidências disponíveis sobre o papel da tensão mecânica e da proximidade da falha muscular na hipertrofia, visando fornecer subsídios para uma prescrição do treinamento resistido mais eficaz e baseada em evidências. A literatura atual apresenta consensos e controvérsias, especialmente no que tange à real necessidade da falha muscular para a otimização dos ganhos hipertróficos. Um problema central reside em determinar se a falha muscular é um requisito indispensável para maximizar a hipertrofia ou se a proximidade a esse ponto, com o controle adequado da fadiga, é uma estratégia igualmente eficaz e, potencialmente, superior devido à melhor relação custo-benefício em termos de estímulo versus fadiga.

Diante do exposto, o objetivo geral deste estudo foi analisar, por meio de uma revisão narrativa da literatura, como a tensão mecânica e a proximidade da falha muscular afetam a hipertrofia muscular esquelética. Os objetivos específicos foram: (1) descrever os mecanismos fisiológicos pelos quais a tensão mecânica induz a hipertrofia, com ênfase no processo de mecanotransdução e nas vias de sinalização intracelular; (2) avaliar a relação entre a proximidade da falha muscular, o recrutamento de unidades motoras e a magnitude do estímulo

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

hipertrófico; (3) comparar os efeitos do treinamento realizado até a falha muscular com o treinamento realizado próximo à falha sobre os ganhos de hipertrofia e o acúmulo de fadiga neuromuscular; e (4) discutir as implicações práticas desses achados para a prescrição do treinamento resistido.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

O músculo esquelético é composto por fibras musculares, que por sua vez são formadas por miofibrilas contendo os filamentos de actina e miosina, proteínas contráteis responsáveis pela geração de força. O processo de hipertrofia muscular resulta primariamente do aumento dessas proteínas contráteis, levando ao aumento do tamanho das miofibrilas e, consequentemente, das fibras musculares (Fleck & Kraemer, 1994).

A tensão mecânica, definida como a força gerada e suportada pelas estruturas intramusculares durante a contração, é o principal estímulo para a hipertrofia (Lim *et al.*, 2022). Este estímulo é convertido em sinais bioquímicos por meio da mecanotransdução, um processo que envolve sensores mecânicos na fibra muscular, como a proteína titina, e canais iônicos mecanossensíveis (Mirzoev, 2023; Ibata & Terentjev, 2021). A ativação desses sensores desencadeia cascatas de sinalização, culminando na ativação da via mTORC1, um regulador central da síntese de proteínas musculares (Schiaffino *et al.*, 2021). A via mTORC1, por sua vez, fosforila e ativa fatores de tradução, como a proteína ribossomal S6 quinase 1 (S6K1) e o fator de iniciação da tradução 4E-BP1, promovendo a síntese de novas proteínas contráteis e o crescimento muscular (Roberts *et al.*, 2024). Este processo não se limita à ativação de vias anabólicas; a tensão mecânica também promove a reorganização do citoesqueleto e dos sarcômeros, adaptando a arquitetura muscular para suportar cargas futuras (Viecelli *et al.*, 2022).

O recrutamento de unidades motoras, governado pelo princípio do tamanho de Henneman, é um processo fundamental para a hipertrofia, pois determina quais fibras musculares serão expostas à tensão mecânica (Carpinelli, 2008). Unidades motoras de menor limiar, compostas por fibras do tipo I (oxidativas e com baixo potencial hipertrófico), são recrutadas primeiro em contrações de baixa intensidade. À medida que a força necessária aumenta, unidades motoras de maior limiar, contendo fibras do tipo II (glicolíticas e com alto potencial hipertrófico), são progressivamente recrutadas. Durante uma série de treinamento resistido, à medida que a fadiga se instala e o praticante se aproxima da falha, o recrutamento de unidades motoras de alto limiar é maximizado (Morton *et al.*, 2019). Portanto, a proximidade da falha muscular serve como um mecanismo para garantir que a musculatura ativa esteja

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

submetida a uma tensão mecânica suficiente para estimular o crescimento, especialmente em cargas mais baixas, onde o recrutamento completo pode não ocorrer desde o início da série (Refalo *et al.*, 2022).

A fadiga neuromuscular é uma consequência inevitável do treinamento resistido e pode ser categorizada em fadiga central e periférica (Zając *et al.*, 2015). A fadiga central envolve uma redução na excitabilidade do córtex motor ou na transmissão do impulso nervoso ao longo do trato córtico-espinhal, resultando em uma diminuição do drive neural para os músculos ativos (Aguilera *et al.*, 2022). A fadiga periférica, por sua vez, está associada a alterações nos processos de excitação-contração, acúmulo de metabólitos (como íons hidrogênio e fosfato inorgânico) e depleção de substratos energéticos (fosfocreatina e glicogênio) dentro da fibra muscular (Lacerda *et al.*, 2020). Ambos os tipos de fadiga contribuem para a queda na capacidade de gerar força e para a eventual interrupção do exercício. A literatura indica que o treinamento realizado até a falha muscular ou com RIR muito baixo (0-1) induz níveis mais elevados de fadiga neuromuscular em comparação com protocolos que utilizam RIR maiores (Refalo *et al.*, 2023; Pareja-Blanco *et al.*, 2017). Este acúmulo de fadiga pode ter implicações significativas para a recuperação e o desempenho em sessões subsequentes, tornando o gerenciamento da fadiga um aspecto crucial para a periodização do treinamento.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa consiste em um estudo de revisão narrativa da literatura. A revisão narrativa é uma abordagem ampla e descritiva que visa sintetizar o conhecimento científico produzido em uma determinada área, consolidando informações de artigos científicos, sem o rigor metodológico extensivo de uma revisão sistemática (Andrade, 2021). Esta abordagem foi escolhida por permitir uma análise abrangente e contextualizada do estado da arte sobre a tensão mecânica e a proximidade da falha muscular na hipertrofia, integrando diferentes perspectivas e bases teóricas.

Para a construção desta revisão, foi realizada uma busca bibliográfica nas bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO), PubMed e Google Scholar. A busca foi conduzida utilizando os seguintes descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e seus correspondentes em inglês: "hipertrofia muscular" (*muscle hypertrophy*), "treinamento resistido" (*resistance training*), "tensão mecânica" (*mechanical tension*), "falha muscular" (*muscle failure*) e "repetições em reserva" (*repetitions in reserve*), combinados com os operadores booleanos "AND" e "OR". A busca foi realizada em janeiro de 2026, abrangendo publicações dos últimos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

cinco anos (2020-2025), com exceção de estudos clássicos e fundamentais para a área, publicados em 2010 e 2015. Foram incluídos artigos originais, revisões sistemáticas com meta-análise e revisões narrativas publicados em português, inglês ou espanhol, que abordassem diretamente a relação entre tensão mecânica, proximidade da falha e hipertrofia muscular. Foram excluídos artigos duplicados, estudos com animais, teses, dissertações, editoriais, relatos de caso e estudos que não se aplicavam ao tema central da pesquisa. A estratégia de busca combinou os descritores de forma estruturada, por exemplo: (*"muscle hypertrophy" OR* "hipertrofia muscular") *AND ("mechanical tension" OR* "tensão mecânica") *AND ("muscle failure" OR* "falha muscular" *OR "repetitions in reserve" OR "RIR").*

A seleção dos artigos ocorreu em etapas. Inicialmente, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos dos estudos identificados. Aqueles que atenderam aos critérios de inclusão foram lidos na íntegra. As duplicatas foram removidas manualmente durante a etapa de triagem. Ao final do processo de seleção, 16 artigos foram considerados relevantes e incorporados à presente revisão. Para uma melhor visualização do processo de seleção, foi elaborado um fluxograma (Figura 1) e um quadro sinóptico (Quadro 1) com a síntese dos principais estudos incluídos.

Figura 1. Fluxograma de seleção dos artigos

IDENTIFICAÇÃO	**Google Academy: 46**	**PubMed: 55**	**Scielo: 123**	**Total: 224**
SELEÇÃO	Títulos excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão: 180			
ELEGIBILIDADE	Títulos escolhidos para leitura dos resumos: 44			
	Artigos escolhidos para leitura na íntegra: 28			
INCLUSÃO	Artigos excluídos após avaliação: 12			
	Artigos aceitos nesta revisão: 16			

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Quadro 1. Revisão literária

Autor/ ano	**Tipo de Estudo**	**Objetivo**	**Método**	**Resultados**
Lasevicius *et al.* - 2022	Ensaio clínico experimental randomizado	Comparar os efeitos do treinamento até a falha em cargas leves e altas sobre a hipertrofia muscular.	Estudo experimental com indivíduos treinados divididos em grupos de baixa e alta carga, realizando séries	A falha muscular aumentou a hipertrofia apenas com cargas leves. Em cargas elevadas, atingir a falha não

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

			até a falha ou interrompendo antes da falha.	proporcionou benefícios adicionais.
Refalo *et al.* - 2024	Ensaio experimental longitudinal randomizado	Comparar hipertrofia e força após treinamento até a falha muscular momentânea ou utilizando repetições em reserva (RIR).	Estudo experimental de 8 semanas com indivíduos treinados realizando protocolos até a falha ou com RIR controlado.	Ambos os protocolos produziram hipertrofia semelhante, indicando que a falha absoluta não é necessária quando o treinamento é realizado próximo da falha.
Refalo *et al.* - 2022	Revisão sistemática com meta-análise	Investigar a influência da proximidade da falha sobre a hipertrofia muscular.	Revisão sistemática com meta-análise de estudos envolvendo diferentes níveis de proximidade da falha.	A proximidade da falha favorece a hipertrofia, porém não há evidências de que a falha absoluta seja superior.
Robinson *et al.* - 2024	Meta-regressão (baseada em revisão sistemática)	Avaliar a relação dose-resposta entre proximidade da falha, força e hipertrofia.	Série de meta-regressões utilizando estudos de treinamento resistido com diferentes valores estimados de RIR.	A hipertrofia aumenta conforme a série se aproxima da falha, sendo aproximadamente 0-3 RIR a faixa mais eficiente.
Refalo *et al.* - 2023	Ensaio experimental longitudinal	Avaliar a influência da proximidade da falha sobre a fadiga neuromuscular.	Estudo experimental comparando séries realizadas com diferentes RIR.	Quanto menor o RIR, maior a fadiga neuromuscular, a percepção de esforço e o desconforto durante o exercício.
Lacerda *et al.* - 2020	Artigo de opinião científica / Revisão narrativa	Investigar se atingir a falha é mais importante do que o volume para força e hipertrofia.	Revisão crítica da literatura.	A fadiga resulta da interação entre mecanismos centrais e periféricos, sendo a redução do *drive* neural um importante fator limitante do desempenho.
Grgic, Schoenfeld , Orazem e	Revisão sistemática	Comparar treinamento até a falha e sem falha	Revisão sistemática com meta-análise de	Não foram encontradas diferenças

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Sabol - 2022	com meta-análise	quanto aos ganhos de força e hipertrofia.	estudos longitudinais.	significativas para hipertrofia quando o volume de treinamento foi semelhante.
Aguilera *et al.* - 2022	Revisão narrativa crítica	Revisar os mecanismos de fadiga central e periférica durante exercícios resistidos.	Revisão crítica da literatura.	A fadiga resulta da interação entre mecanismos centrais e periféricos, sendo a redução do *drive* neural um importante fator limitante do desempenho.
Schoenfeld - 2010	Revisão narrativa	Apresentar os mecanismos fisiológicos responsáveis pela hipertrofia muscular.	Revisão narrativa baseada em evidências.	A tensão mecânica é apontada como o principal mecanismo hipertrófico, seguida pelo estresse metabólico e dano muscular.
Lim *et al.* - 2022	Revisão narrativa	Revisar os mecanismos fisiológicos envolvidos na hipertrofia induzida pelo treinamento resistido.	Revisão narrativa baseada em evidências recentes.	A mecanotransdução e a tensão mecânica são consideradas os principais estímulos para ativação da síntese proteica muscular.
Schiaffino *et al.* - 2021	Revisão narrativa	Revisar os mecanismos moleculares responsáveis pela hipertrofia do músculo esquelético.	Revisão narrativa da literatura molecular.	A ativação da via mTOR e de proteínas mecanossensíveis explica grande parte das adaptações hipertróficas ao treinamento resistido.
Roberts *et al.* - 2024	Revisão narrativa	Revisar os mecanismos da hipertrofia induzida por sobrecarga mecânica.	Revisão abrangente da literatura experimental e molecular.	A tensão mecânica promove mecanotransdução, ativação da mTORC1, aumento da síntese proteica e remodelação

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

				muscular, sendo considerada o principal estímulo para hipertrofia.
Mirzoev, T. M. - 2023	Revisão narrativa	Revisar os mecanismos pelos quais a mecanotransduçã o regula a síntese proteica e a hipertrofia muscular por meio de canais iônicos mecanossensíveis .	Revisão da literatura sobre mecanotransdução , canais iônicos mecanossensíveis, vias de sinalização celular e síntese proteica no músculo esquelético.	A mecanotransdução converte estímulos mecânicos em sinais bioquímicos que ativam vias anabólicas, especialmente a mTOR, sendo fundamental para a hipertrofia induzida pelo treinamento resistido.
Viecelli, Aguayo - 2022	Revisão narrativa baseada em evidências	Discutir os principais descritores mecanobiológicos responsáveis pelas adaptações ao treinamento resistido, com ênfase na hipertrofia muscular.	Revisão crítica das evidências relacionadas à tensão mecânica, força, trabalho, impulso e demais variáveis mecânicas do treinamento resistido.	A tensão mecânica foi apontada como o principal estímulo hipertrófico, enquanto variáveis como carga absoluta e número de repetições exercem efeito indireto por influenciarem a magnitude da tensão aplicada ao músculo.
Ibata; Terentjev - 2021	Estudo teórico-computacional	Descrever o papel da proteína titina como mecanossensor no processo de hipertrofia muscular induzida pela sobrecarga mecânica.	Revisão abrangente da literatura molecular, mecanotransdução e função estrutural da titina durante o treinamento resistido.	A tensão mecânica promove deformações mecânicas durante a contração muscular e ativa vias intracelulares relacionadas ao crescimento muscular, especialmente a sinalização via mTORC1.
Zając, A.; *et al.* - (2015)	Revisão crítica da literatura *(Critical Review)*	Revisar os mecanismos fisiológicos envolvidos na fadiga central e periférica durante	Revisão narrativa baseada em estudos experimentais sobre fisiologia do exercício,	Os autores concluíram que a fadiga durante o exercício resulta da interação entre mecanismos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

	o exercício de resistência, descrevendo como ambos influenciam o desempenho neuromuscular e a interrupção do exercício.	neurofisiologia, metabolismo muscular e mecanismos de fadiga durante exercícios de resistência.	centrais e periféricos. A fadiga central está relacionada à redução do comando neural proveniente do sistema nervoso central, enquanto a fadiga periférica decorre de alterações metabólicas e contráteis no músculo.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Hipertrofia muscular: conceitos e adaptações fisiológicas

A análise da literatura revela um refinamento significativo na compreensão dos mecanismos que conduzem à hipertrofia muscular esquelética. O modelo proposto por Schoenfeld (2010), que postulava a interação entre tensão mecânica, estresse metabólico e dano muscular como os três pilares do crescimento muscular, serviu como base para o entendimento inicial. No entanto, estudos mais recentes têm consolidado a tensão mecânica como o fator primordial e causal para a hipertrofia, relegando os outros mecanismos a papéis coadjuvantes ou indiretos.

Lim *et al.* (2022) argumentam que a magnitude da hipertrofia está diretamente relacionada à exposição das fibras musculares à tensão mecânica. Os autores enfatizam que a carga absoluta utilizada é menos importante do que a capacidade do exercício em gerar tensão suficiente nas fibras ativadas para desencadear as vias de sinalização anabólica. Viecelli *et al.* (2022) corroboram essa visão ao demonstrarem que a sobrecarga mecânica, e não o dano muscular ou o acúmulo de metabólitos, é o fator que inicia as adaptações estruturais, como a remodelação do citoesqueleto e a reorganização dos sarcômeros. Roberts *et al.* (2024) fornecem uma base molecular para essa afirmação, destacando que a sobrecarga mecânica é o gatilho para a ativação de vias de sinalização como a mTORC1, que é central para o aumento da síntese proteica muscular.

Schiaffino *et al.* (2021) aprofundam essa discussão ao descrever a via mTORC1 como o principal regulador da síntese de proteínas musculares em resposta ao estímulo mecânico.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Segundo esses autores, o crescimento muscular ocorre quando o balanço entre a síntese e a degradação proteica é positivo, um estado que é primariamente alcançado pela ativação da mTORC1 induzida pela tensão mecânica. A ativação dessa via, por sua vez, depende da capacidade do músculo em perceber e transduzir o sinal mecânico em um sinal bioquímico, um processo detalhado adiante. Aguilera *et al.* (2022), embora focados na fadiga, também contribuem para essa discussão ao enfatizarem que os descritores do treinamento (intensidade, volume, frequência) são ferramentas que, em última análise, modulam a magnitude da tensão mecânica aplicada ao músculo.

Essa mudança de paradigma, do modelo multifatorial para um modelo centrado na tensão mecânica, tem implicações práticas profundas. Ela sugere que estratégias de treinamento que maximizam a tensão mecânica sobre as fibras musculares são as mais eficazes para promover hipertrofia, independentemente do grau de estresse metabólico ou dano muscular que possam causar. A tensão mecânica, portanto, emerge não apenas como um dos mecanismos, mas como o mecanismo central e necessário para o processo hipertrófico, sendo o alvo primário para a prescrição do treinamento.

3.2. Tensão mecânica como principal mecanismo da hipertrofia muscular

Os estudos revisados convergem para a ideia de que a tensão mecânica é o principal estímulo para a hipertrofia muscular. Lim *et al.* (2022) destacam que a hipertrofia não é induzida pela carga em si, mas pela tensão que as fibras musculares experimentam. Eles propõem que o número de fibras expostas à tensão mecânica é um determinante crítico da magnitude da hipertrofia, o que ajuda a explicar por que diferentes abordagens de treinamento podem resultar em ganhos semelhantes. Viecelli *et al.* (2022) complementam essa perspectiva ao descreverem o processo pelo qual a sobrecarga mecânica leva à remodelação muscular e ao aumento da síntese proteica, enfatizando a importância da deformação das estruturas celulares como o sinal inicial.

Roberts *et al.* (2024) fornecem uma base mecanicista robusta para essa afirmação, descrevendo como a tensão mecânica ativa a via mTORC1 e outras vias de sinalização que promovem o crescimento muscular. Eles argumentam que a sobrecarga mecânica deve ser vista como o principal fator anabólico do treinamento resistido, pois é o único estímulo que pode, de forma confiável e consistente, ativar as vias moleculares necessárias para a hipertrofia. Schiaffino *et al.* (2021) corroboram essa visão, detalhando a cascata molecular que se inicia com a percepção da tensão mecânica e culmina na ativação da mTORC1 e no aumento da síntese proteica.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Aguilera *et al.* (2022), embora foquem na fadiga, reforçam indiretamente a primazia da tensão mecânica ao afirmarem que variáveis de treinamento como intensidade, volume e número de repetições são, em última análise, métodos para manipular a tensão mecânica imposta ao músculo. Isso coloca a tensão mecânica como o elo central que conecta a prescrição do treinamento à adaptação fisiológica. A convergência de evidências de diferentes perspectivas, desde a molecular até a prática, solidifica o papel da tensão mecânica como o principal mecanismo hipertrófico, uma atualização fundamental em relação ao modelo de Schoenfeld (2010), que, embora tenha sido importante para seu tempo, é agora considerado uma visão simplificada.

3.3. Mecanotransdução: convertendo tensão mecânica em hipertrofia muscular

Para que a tensão mecânica exerça seu efeito hipertrófico, ela precisa ser convertida em sinais bioquímicos dentro da célula muscular, um processo conhecido como mecanotransdução. Esta é a ponte crítica entre o estímulo físico do treinamento e a resposta molecular do crescimento muscular.

Mirzoev (2023) fornece uma visão abrangente desse processo, descrevendo como estruturas mecanossensíveis, como canais iônicos ativados por estiramento, percebem a deformação da membrana e do citoesqueleto causada pela contração muscular. A ativação desses canais leva a um influxo de íons, como o cálcio, que por sua vez ativa vias de sinalização intracelular. Ibata e Terentjev (2021) destacam um ator molecular específico nesse processo: a titina. Essa proteína gigante, que atua como uma mola molecular dentro do sarcômero, é um mecanossensor direto. A deformação da titina durante a contração muscular, especialmente durante a fase excêntrica, desencadeia uma cascata de sinalização que culmina na ativação da mTORC1.

Schiaffino *et al.* (2021) conectam a mecanotransdução à via mTORC1, mostrando que a ativação dessa via é o principal resultado da transdução do sinal mecânico. Eles descrevem como a mTORC1, uma vez ativada, fosforila alvos *downstream* que promovem a tradução de RNA mensageiro em proteínas contráteis. Roberts *et al.* (2024) também enfatizam a importância da mecanotransdução, definindo-a como o vínculo essencial entre a sobrecarga mecânica e a ativação das vias de síntese proteica. Viecelli *et al.* (2022) acrescentam que a sobrecarga mecânica causa mudanças estruturais em vários componentes da fibra muscular, não apenas na titina, levando a respostas celulares que aumentam a capacidade de síntese proteica e a remodelação do tecido muscular.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A compreensão da mecanotransdução é crucial, pois explica por que a hipertrofia não é simplesmente um resultado da fadiga ou do dano muscular, mas sim uma resposta específica à tensão mecânica. Ela também destaca a importância de se prescrever exercícios que gerem estímulos mecânicos adequados para ativar esses mecanossensores, como exercícios que permitam uma amplitude de movimento completa e um recrutamento muscular significativo. Os estudos de Mirzoev (2023), Schiaffino *et al.* (2021), Roberts *et al.* (2024) e Viecelli *et al.* (2022) fornecem, em conjunto, uma visão detalhada e integrada de como o músculo percebe a carga e a traduz em crescimento, solidificando a mecanotransdução como um processo fundamental para a hipertrofia.

3.4. Recrutamento de unidades motoras e sua relação com a hipertrofia muscular

O recrutamento de unidades motoras (UMs) é o mecanismo através do qual o sistema nervoso ativa as fibras musculares. Este processo é governado pelo princípio do tamanho de Henneman, que estabelece que UMs com fibras de menor limiar (tipo I) são recrutadas primeiro para contrações de baixa força, e UMs com fibras de maior limiar (tipo II) são recrutadas progressivamente à medida que a força necessária aumenta.

Lim *et al.* (2022) estabelecem uma ligação direta entre o recrutamento de UMs e a hipertrofia, argumentando que o potencial hipertrófico está mais ligado ao recrutamento eficaz das fibras musculares do que à carga absoluta. Para que ocorra hipertrofia, um número adequado de fibras musculares, especialmente as do tipo II, que têm maior potencial de crescimento, deve ser recrutado e exposto à tensão mecânica. Aguilera *et al.* (2022) corroboram essa perspectiva, caracterizando o recrutamento muscular como um dos principais descritores mecanobiológicos do treinamento. Eles afirmam que a carga, o volume e a proximidade da falha são ferramentas que alteram a quantidade de fibras recrutadas e, por extensão, a tensão mecânica que estimula a hipertrofia.

A proximidade da falha muscular é um fator crucial que influencia o recrutamento de UMs, especialmente em cargas baixas. Lasevicius *et al.* (2022) demonstraram que, em treinamentos com baixa carga, realizar as séries até a falha resultou em maior hipertrofia em comparação com a interrupção precoce. Isso ocorre porque as repetições finais de uma série com baixa carga são necessárias para recrutar as UMs de alto limiar que não foram ativadas no início da série. Em contraste, com cargas altas, o recrutamento de UMs de alto limiar ocorre desde as primeiras repetições, tornando a falha menos necessária.

Refalo *et al.* (2022) e Robinson *et al.* (2024) reforçam essa análise em suas meta-análises. Refalo *et al.* (2022) concluíram que a proximidade da falha é suficiente para promover

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

hipertrofia, e não a falha em si, pois a proximidade da falha garante o recrutamento máximo de UMs. Robinson *et al.* (2024) encontraram uma relação dose-resposta entre a proximidade da falha e a hipertrofia, que se estabiliza antes da falha absoluta, confirmando que o recrutamento máximo de UMs é alcançado próximo à falha, e não necessariamente na falha. Em conjunto, esses estudos demonstram que o recrutamento de UMs é o mecanismo intermediário que liga a tensão mecânica à hipertrofia, e a proximidade da falha é a variável de treinamento que otimiza esse recrutamento, especialmente em contextos de baixa carga.

3.5. Proximidade da falha muscular, repetições em reserva (RIR) e percepção de esforço

A proximidade da falha muscular, operacionalizada pelo conceito de repetições em reserva (RIR), emergiu como uma estratégia central para prescrever a intensidade do esforço em treinamento resistido, visando equilibrar o estímulo hipertrófico com o gerenciamento da fadiga.

As evidências revisadas, especialmente as meta-análises de Refalo *et al.* (2022) e Grgic *et al.* (2022), indicam que treinar até a falha muscular não oferece vantagens consistentes para a hipertrofia em comparação com treinar próximo à falha (0-3 RIR), quando o volume de treinamento é controlado. Refalo *et al.* (2024) confirmaram esses achados em um estudo experimental de 8 semanas, demonstrando que protocolos com 0-3 RIR resultaram em ganhos de hipertrofia semelhantes aos protocolos até a falha, mas com menor fadiga percebida. Robinson *et al.* (2024) forneceram uma visão ainda mais refinada, sugerindo que a faixa de RIR mais eficiente para hipertrofia está em torno de 0-3, pois a relação dose-resposta entre RIR e hipertrofia tende a se estabilizar antes da falha absoluta.

No entanto, Lasevicius *et al.* (2022) encontraram uma exceção a essa regra, mostrando que, em protocolos com cargas baixas (elevado número de repetições), a falha muscular pode ser mais benéfica para a hipertrofia. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que, com cargas baixas, o recrutamento completo de UMs de alto limiar depende da fadiga progressiva que ocorre ao longo de uma série longa, o que torna a falha um fator mais determinante para o estímulo hipertrófico. Em cargas moderadas a altas, o recrutamento de UMs de alto limiar ocorre desde o início, reduzindo a dependência da falha.

A percepção de esforço, medida pela escala de Borg, está intimamente relacionada ao RIR. Refalo *et al.* (2023) demonstraram que quanto menor o RIR (ou seja, mais próximo da falha), maior a percepção de esforço e o desconforto durante a série. Isso tem implicações práticas importantes, pois sessões de treinamento com esforço percebido muito alto podem levar a um maior acúmulo de fadiga e menor aderência ao treinamento a longo prazo. Portanto, a utilização

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

do RIR como ferramenta de prescrição permite um ajuste fino da intensidade do esforço, maximizando o estímulo hipertrófico (especialmente importante em cargas baixas) enquanto controla a fadiga e o desconforto, otimizando a relação entre estímulo e recuperação.

3.6. Fadiga central e periférica durante o treinamento resistido

A fadiga neuromuscular é uma consequência inerente ao treinamento resistido, caracterizada pela incapacidade de manter a produção de força ou potência durante o exercício. Ela é um fenômeno complexo que envolve a interação de mecanismos centrais e periféricos, e sua gestão é crucial para a otimização do treinamento.

Zając *et al.* (2015) e Aguilera *et al.* (2022) descrevem a fadiga central como uma redução na ativação voluntária do músculo, originada no sistema nervoso central (SNC), que diminui o *drive* neural para os músculos ativos. A fadiga periférica, por outro lado, refere-se a alterações dentro da própria fibra muscular, incluindo acúmulo de metabólitos (como íons hidrogênio e fosfato inorgânico), depleção de fosfocreatina e glicogênio, e perturbações no processo de excitação-contração (Lacerda *et al.*, 2020).

A proximidade da falha muscular tem um impacto direto e significativo sobre a fadiga. Refalo *et al.* (2023) demonstraram que protocolos realizados com RIR baixo (0-1) induzem níveis mais elevados de fadiga neuromuscular em comparação com protocolos com RIR mais alto (3-4). Isso ocorre porque as repetições finais de uma série, que exigem o recrutamento máximo de UMs e a produção de força máxima, são metabolicamente mais exigentes e estressam o SNC. Pareja-Blanco *et al.* (2017) também observaram que o treinamento até a falha resulta em uma maior redução da função contrátil imediatamente após a sessão, o que pode prejudicar o desempenho em exercícios subsequentes e a recuperação entre sessões.

É importante notar, no entanto, que o aumento da fadiga não se traduz automaticamente em maior hipertrofia. Lacerda *et al.* (2020) mostraram que protocolos com menos repetições em reserva causam mais fadiga neuromuscular, mas esse aumento da fadiga não foi acompanhado por um maior potencial hipertrófico. Isso indica que altos níveis de fadiga, embora possam ser um marcador de esforço intenso, não são um pré-requisito para o crescimento muscular e podem até ser contraproducentes se comprometerem o volume total de treinamento ou a recuperação. Portanto, a gestão da fadiga, por meio do controle da proximidade da falha, é uma ferramenta essencial para prescrever treinamento resistido que equilibre estímulo e recuperação, promovendo adaptações sustentáveis.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.7. A falha muscular é realmente necessária para maximizar a hipertrofia?

A análise integrada dos estudos revisados converge para uma conclusão clara: a falha muscular não é um requisito essencial para maximizar a hipertrofia muscular esquelética. O crescimento muscular é primordialmente impulsionado pela tensão mecânica e pelo recrutamento de fibras musculares que ela proporciona, e esses estímulos podem ser eficazmente alcançados treinando próximo à falha (0-3 RIR), sem a necessidade de atingir a falha concêntrica absoluta em todas as séries.

Os estudos mecanísticos (Lim *et al.*, 2022; Schiaffino *et al.*, 2021; Viecelli *et al.*, 2022; Mirzoev, 2023; Roberts *et al.*, 2024) são unânimes em afirmar que a tensão mecânica é o estímulo primário que inicia a cascata de sinalização anabólica. A falha muscular é uma consequência da fadiga, e não o mecanismo causal da hipertrofia. A proximidade da falha, por sua vez, é a variável que garante o recrutamento máximo de UMs, especialmente em cargas baixas, e que maximiza a exposição das fibras à tensão mecânica.

As evidências de intervenção corroboram essa conclusão. Refalo *et al.* (2022, 2024), Grgic *et al.* (2022) e Robinson *et al.* (2024) demonstraram que treinar com uma margem de 0-3 RIR produz resultados hipertróficos comparáveis ou equivalentes ao treinamento até a falha. O estudo de Lasevicius *et al.* (2022) fornece a única nuance relevante: a falha muscular pode ser mais benéfica em contextos específicos, como treinamento com cargas muito baixas, onde o recrutamento total depende da exaustão. No entanto, mesmo nesse cenário, a falha absoluta pode não ser necessária se a carga e o volume forem ajustados para garantir alto recrutamento e tensão mecânica.

A gestão da fadiga é um fator crítico que inclina a balança a favor do treinamento com RIR. Lacerda *et al.* (2020) e Refalo *et al.* (2023) mostraram que treinar até a falha aumenta significativamente a fadiga neuromuscular (central e periférica) sem proporcionar benefícios hipertróficos adicionais, o que pode comprometer a recuperação e o volume total de treinamento a longo prazo. Portanto, a prescrição do treinamento deve priorizar a geração de alta tensão mecânica e o recrutamento adequado de UMs, utilizando a proximidade da falha (controlada por RIR) como uma ferramenta para otimizar esses estímulos, enquanto se gerencia a fadiga para permitir uma recuperação eficaz e a progressão do treinamento. Essa abordagem representa um avanço em relação à visão antiga de que era necessário "treinar até a falha" para maximizar os ganhos, uma crença que, embora persistente, não é suportada pela literatura científica mais recente e robusta.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão narrativa da literatura teve como objetivo analisar os efeitos da tensão mecânica e da proximidade da falha muscular sobre a hipertrofia esquelética. A análise dos estudos selecionados permitiu concluir que a tensão mecânica é o principal estímulo para a hipertrofia muscular, atuando como o gatilho para os processos de mecanotransdução que ativam vias anabólicas como a mTORC1, promovendo a síntese proteica e a remodelação muscular. Esta constatação representa um refinamento crucial em relação aos modelos anteriores, que consideravam a tensão mecânica como um mecanismo entre outros.

Em relação à proximidade da falha, as evidências indicam que o treinamento realizado próximo à falha muscular, especialmente quando controlado por repetições em reserva (RIR), é uma estratégia eficaz para otimizar o recrutamento de unidades motoras e maximizar a exposição das fibras musculares à tensão mecânica. Os achados de múltiplos estudos, incluindo meta-análises robustas, demonstram que interromper a série com uma margem de 0-3 RIR resulta em ganhos de hipertrofia comparáveis aos obtidos com o treinamento até a falha concêntrica absoluta. Essa equivalência, no entanto, é acompanhada por um menor acúmulo de fadiga neuromuscular, o que pode facilitar a recuperação entre as sessões e permitir um maior volume total de treinamento a longo prazo.

A gestão da fadiga emergiu como um ponto central para a prescrição do treinamento. Embora a fadiga seja uma consequência inevitável do esforço, seu acúmulo excessivo, como o observado em protocolos até a falha, não se traduz em benefícios proporcionais para a hipertrofia. A literatura demonstra que a fadiga resulta da interação entre mecanismos centrais e periféricos, e que seu controle, por meio da manipulação da proximidade da falha, é essencial para equilibrar estímulo e recuperação. Assim, a utilização do RIR como ferramenta de prescrição permite ajustar a intensidade do esforço de forma individualizada, maximizando o estímulo hipertrófico e minimizando os efeitos deletérios da fadiga.

Embora haja um consenso crescente na literatura sobre a primazia da tensão mecânica e a eficácia do treinamento próximo à falha, algumas lacunas e nuances persistem. O estudo de Lasevicius *et al.* (2022) sugere que, em contextos de carga muito baixa, a falha muscular pode ser mais relevante para o recrutamento completo de fibras. Isso indica que a relação entre carga, RIR e hipertrofia pode não ser linear e que a aplicação prática desses conceitos deve levar em consideração o nível de treinamento do indivíduo, o tipo de exercício e as cargas utilizadas. Além disso, a precisão da estimativa do RIR pode variar entre indivíduos iniciantes e avançados, sendo os primeiros menos precisos na autorregulação do esforço. A interação entre a proximidade da

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

falha e o volume semanal de treinamento, bem como as diferenças entre exercícios uniarticulares e multiarticulares, e entre membros superiores e inferiores, são tópicos que merecem investigação adicional. Implicações para populações clínicas e idosos também representam uma área fértil para pesquisas futuras, dado que o manejo da fadiga e a segurança são particularmente relevantes nesses grupos.

Do ponto de vista prático, os achados desta revisão orientam os profissionais de Educação Física e áreas afins a prescreverem o treinamento resistido com foco na geração de alta tensão mecânica, utilizando exercícios que permitam uma amplitude de movimento completa e um recrutamento muscular significativo. A proximidade da falha deve ser controlada, preferencialmente, por meio de repetições em reserva, recomendando-se a faixa de 0-3 RIR para otimizar o estímulo hipertrófico e gerenciar a fadiga. A falha muscular deve ser utilizada de forma estratégica, e não como uma condição obrigatória para todas as séries, sendo mais útil em momentos específicos do treinamento (como em picos de intensidade ou com cargas baixas) ou para fins de avaliação.

Para pesquisas futuras, sugere-se a investigação da interação entre a proximidade da falha e outras variáveis do treinamento, como a frequência semanal, o tipo de exercício, o nível de treinamento do indivíduo e diferentes populações (como idosos ou pacientes em reabilitação). Estudos longitudinais que comparem diferentes estratégias de RIR em programas de treinamento de longo prazo também são necessários para confirmar os achados de estudos de curto prazo e para avaliar o impacto sobre a retenção de massa muscular. Por fim, a compreensão dos mecanismos moleculares que ligam a proximidade da falha à fadiga e à resposta hipertrófica poderia ser aprofundada, fornecendo *insights* sobre como otimizar ainda mais a prescrição do treinamento.

Como limitação desta revisão narrativa, reconhece-se o caráter não exaustivo da busca e a ausência de uma avaliação sistemática da qualidade metodológica dos estudos incluídos, o que impede inferências causais fortes. A síntese apresentada reflete a interpretação dos autores sobre a literatura disponível e deve ser considerada como uma contribuição para o debate, e não como uma verdade definitiva.

REFERÊNCIAS

AGUILERA, J. F. T.; JIMENEZ-MORCILLO, J.; RUBIO-ZARAPUZ, A.; CLEMENTE-SUÁREZ, V. J. Central and peripheral fatigue in physical exercise explained: a narrative review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 7, art. 3909, 2022. DOI: 10.3390/ijerph19073909.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ANDRADE, A. O papel das revisões de literatura na produção e síntese do conhecimento científico em Psicologia. **Revista de Literatura em Psicologia**, v. 1, n. 1, 2021.

AZEVEDO, M. G.; SOUZA, A. D.; SILVA, P. A.; CURTY, V. M. Correlação entre volume total e marcadores de dano muscular após exercícios excêntricos com diferentes intensidades no efeito protetor da carga. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, v. 6, n. 35, p. 455-464, 2012.

CARPINELLI, R. N. The size principle and a critical analysis of the unsubstantiated heavier-is-better recommendation for resistance training. **Journal of Exercise Science & Fitness**, v. 6, n. 2, p. 67-86, 2008.

FLECK, S. J.; KRAEMER, W. J. **Hipertrofia muscular**. 1994.

GRGIC, J.; SCHOENFELD, B. J.; ORAZEM, J.; SABOL, F. Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Sport and Health Science**, v. 11, n. 2, p. 202-211, 2022. DOI: 10.1016/j.jshs.2021.01.007.

IBATA, E. M.; TERENTJEV, E. M. Why exercise builds muscle: titin mechanotransduction controls skeletal muscle growth under load. **The Journal of Physiology**, v. 599, n. 7, p. 1869-1885, 2021. DOI: 10.1113/JP281517.

LACERDA, L. T.; MARRA-LOPES, R. O.; DINIZ, R. C. R.; LIMA, F. V.; RODRIGUES, S. A.; MARTINS-COSTA, H. C.; BEMBEN, M. G.; CHAGAS, M. H. Is performing repetitions to failure less important than volume for muscle hypertrophy and strength? **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 5, p. 1237-1248, 2020. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003438.

LASEVICIUS, T.; UGRINOWITSCH, C.; SOARES, E. G.; *et al.* Muscle failure promotes greater muscle hypertrophy in low-load but not in high-load resistance training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 36, n. 2, p. 346-351, 2022. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003454.

LIM, C.; KIM, J.; KIM, S.; *et al.* An evidence-based narrative review of mechanisms of resistance exercise-induced human skeletal muscle hypertrophy. **Sports Medicine**, v. 52, p. 1-32, 2022. DOI: 10.1007/s40279-022-01669-2.

MIRZOEV, T. M. Mechanotransduction for muscle protein synthesis via mechanically activated ion channels. **Life**, v. 13, n. 2, art. 341, 2023. DOI: 10.3390/life13020341.

MORTON, R. W.; SONNE, M. W.; ZAFRONE, A.; *et al.* Muscle fibre activation is unaffected by load and repetition duration when resistance exercise is performed to task failure. **The Journal of Physiology**, v. 597, n. 17, p. 4601-4613, 2019. DOI: 10.1113/JP278389.

PAREJA-BLANCO, F.; RODRÍGUEZ-ROSELL, D.; SÁNCHEZ-MEDINA, L.; *et al.* Acute and delayed response to resistance exercise leading or not to muscle failure. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 37, n. 6, p. 630-639, 2017. DOI: 10.1111/cpf.12336.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REFALO, M. C.; HELMS, E. R.; TREXLER, E. T.; *et al.* Influence of resistance training proximity-to-failure on skeletal muscle hypertrophy: a systematic review with meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 53, n. 3, p. 649-665, 2022. DOI: 10.1007/s40279-022-01784-y.

REFALO, M. C.; HELMS, E. R.; HAMILTON, D. L.; FYFE, J. J. Influence of resistance training proximity-to-failure determined by repetitions in reserve on neuromuscular fatigue in resistance-trained males and females. **Sports Medicine Open**, v. 9, 2023. DOI: 10.1186/s40798-023-00580-w.

REFALO, M. C.; HELMS, E. R.; TREXLER, E. T.; HAMILTON, D. L.; FYFE, J. J. Similar muscle hypertrophy following eight weeks of resistance training to momentary muscular failure or with repetitions in reserve in resistance-trained individuals. **Journal of Sports Sciences**, 2024. DOI: 10.1080/02640414.2024.2313292.

ROBERTS, B. M.; HORNBERGER, T. A.; LAWLER, J. M.; *et al.* Mechanisms of mechanical overload-induced skeletal muscle hypertrophy: current understanding and future perspectives. **Physiological Reviews**, v. 104, n. 1, p. 1-52, 2024. DOI: 10.1152/physrev.00033.2022.

ROBINSON, Z. P.; PELLAND, J. C.; REMMERT, J. F.; *et al.* Exploring the dose-response relationship between estimated resistance training proximity to failure, strength gain, and muscle hypertrophy: a series of meta-regressions. **Sports Medicine**, 2024. DOI: 10.1007/s40279-024-02069-2.

SCHIAFFINO, S.; REGGIANI, C.; AKIMOTO, T.; BLAAUW, B. Molecular mechanisms of skeletal muscle hypertrophy. **Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle**, v. 12, n. 6, p. 1693-1722, 2021. DOI: 10.1002/jcsm.12877.

SCHOENFELD, B. J. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 10, p. 2857-2872, 2010. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181e840f3.

VIECELLI, C.; AGUAYO, D.; *et al.* May the force and muscle mass be with you: evidence-based contribution of mechano-biological descriptors of resistance exercise. **Sports Medicine**, v. 52, p. 1421-1436, 2022. DOI: 10.1007/s40279-022-01664-7.

ZAJĄC, A.; CHALIMONIUK, M.; MASZCZYK, A.; GOŁAŚ, A.; LANGFORT, J. Central and peripheral fatigue during resistance exercise -- a critical review. **Journal of Human Kinetics**, v. 49, p. 159-169, 2015. DOI: 10.1515/hukin-2015-0118.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.