

RESUMO

A necessidade de se atingir a falha muscular momentânea durante o treinamento de força (TF) permanece como uma das questões mais debatidas na ciência do esporte. O objetivo geral desta tese foi investigar a influência da proximidade da falha muscular momentânea sobre o contínuo condicionamento-fadiga, integrando respostas fisiológicas, neuromusculares e perceptuais agudas à consolidação das adaptações crônicas de hipertrofia muscular e força. Metodologicamente, a tese foi estruturada em dois estudos originais e complementares. O primeiro estudo, um ensaio clínico randomizado com delineamento cruzado, avaliou o custo fisiológico multimodal de sessões de TF de corpo inteiro realizadas até a falha muscular momentânea (TFF; 100% de 10 repetições máximas) ou sem falha muscular momentânea (TFNF; 85% de 10 repetições máximas) em seis homens treinados ($25,5 \pm 3,3$ anos de idade; $6,3 \pm 3,8$ anos de experiência em treinamento de força). Foram monitorados marcadores neuromusculares, metabólicos, hormonais, cardiovasculares, autonômicos, perceptuais e indiretos de lesão tecidual ao longo de 72 horas. O segundo estudo, uma revisão sistemática com metanálise registrada no PROSPERO (CRD420261430235), incluiu 15 ensaios clínicos randomizados, totalizando 481 participantes para comparar os efeitos crônicos do TFF e do TFNF sobre a hipertrofia muscular e a força, bem como avaliar o rigor metodológico e a certeza da evidência disponível. No estudo experimental, o volume total da sessão não diferiu entre as condições (TFF: $14.157,67 \pm 1.560,28$ kg; TFNF: $14.558,33 \pm 2.014,94$ kg; $p = 0,631$). Apesar disso, o TFF induziu uma maior percepção subjetiva de esforço ($9,83$; IC95%: $9,40$ – $10,26$ vs. $8,00$; IC95%: $7,06$ – $8,93$; $p = 0,004$), maiores concentrações de lactato ($6,63$ vs. $5,91$ mmol·L⁻¹; $p = 0,003$) e cortisol ($19,66$ vs. $17,22$ µg·dL⁻¹; $p < 0,001$). Além disso, apresentou maiores níveis dos marcadores indiretos de lesão tecidual, como a creatina fosfoquinase ($437,58$ vs. $278,00$ U·L⁻¹; $p < 0,001$) e lactato desidrogenase ($191,78$ vs. $173,99$ U·L⁻¹; $p < 0,001$). O TFF também aumentou a dor muscular de início tardio, especialmente no quadríceps ($p < 0,001$) e retardou a recuperação neuromuscular, com menor desempenho no salto com contramovimento em comparação ao TFNF ($38,73$ vs. $40,28$ cm; $p < 0,001$). Em contrapartida, o TFNF favoreceu a recuperação percebida ao longo de 72 horas ($5,19$ vs. $3,25$; $p < 0,001$) e apresentou menor sobrecarga cardiovascular aguda. Na metanálise, conduzida por modelos de efeitos aleatórios e expressa como Hedges' *g*, o TFF não promoveu

ganhos superiores de hipertrofia muscular. A síntese de 31 estimativas mostrou efeito trivial e não significativo (estimativa = 0,03; IC 95%: -0,04 a 0,09; $p = 0,430$; $I^2 = 0\%$). Após ajuste pelo método *trim-and-fill*, a conclusão permaneceu inalterada (estimativa ajustada = -0,02; IC 95%: -0,09 a 0,04; $p = 0,463$). Para força, a síntese de 29 estimativas indicou vantagem estatisticamente significativa, porém trivial, favorecendo o TFNF (estimativa = -0,07; IC95%: -0,12 a -0,02; $p = 0,006$; $I^2 = 0\%$). Conclui-se que o TFF amplia o estresse fisiológico, perceptual e muscular agudo, prolonga a fadiga residual e não oferece benefícios adicionais para a hipertrofia muscular e força. A interrupção das séries antes da falha configura-se, portanto, como uma estratégia mais eficiente e sustentável para promover adaptações neuromusculares e morfológicas, especialmente quando o objetivo é equilibrar o estímulo, desempenho e recuperação ao longo do programa de TF em adultos saudáveis.

Palavras-chave: Biomarcadores; Esforço Físico; Força Muscular; Hipertrofia; Recuperação de Função Fisiológica.

ABSTRACT

The need to reach momentary muscular failure during resistance training (RT) remains one of the most debated issues in sports science. The overall objective of this thesis was to investigate the influence of proximity to momentary muscular failure on the fitness-fatigue continuum, integrating acute physiological, neuromuscular, and perceptual responses to the consolidation of chronic adaptations in muscle hypertrophy and strength. Methodologically, the thesis was structured into two original and complementary studies. The first study, a randomized crossover trial, evaluated the multimodal physiological cost of full-body RT sessions performed to momentary muscular failure (RTF; 100% of a 10-repetition maximum) or without momentary muscular failure (RTNF; 85% of a 10-repetition maximum) in six resistance-trained men (25.5 ± 3.3 years of age; 6.3 ± 3.8 years of resistance training experience). Neuromuscular, metabolic, hormonal, cardiovascular, autonomic, perceptual, and indirect markers of muscle damage were monitored over a 72-hour period. The second study, a systematic review and meta-analysis registered in PROSPERO (CRD420261430235), included 15 randomized controlled trials, totaling 481 participants, to compare the chronic effects of RTF and RTNF on muscle hypertrophy and strength, as well as to assess methodological rigor and the certainty of the available evidence. In the experimental study, total session volume load did not differ between conditions (RTF: $14,157.67 \pm 1,560.28$ kg; RTNF: $14,558.33 \pm 2,014.94$ kg; $p = 0.631$). Despite this, RTF induced a higher session rating of perceived exertion (9.83 ; 95% CI: 9.40 – 10.26 vs. 8.00 ; 95% CI: 7.06 – 8.93 ; $p = 0.004$), alongside higher concentrations of blood lactate (6.63 vs. 5.91 mmol·L⁻¹; $p = 0.003$) and cortisol (19.66 vs. 17.22 µg·dL⁻¹; $p < 0.001$). Furthermore, RTF presented higher levels of indirect markers of muscle damage, such as creatine kinase (437.58 vs. 278.00 U·L⁻¹; $p < 0.001$) and lactate dehydrogenase (191.78 vs. 173.99 U·L⁻¹; $p < 0.001$). RTF also exacerbated delayed-onset muscle soreness, particularly in the quadriceps ($p < 0.001$), and delayed neuromuscular recovery, presenting lower countermovement jump performance compared to RTNF (38.73 vs. 40.28 cm; $p < 0.001$). In contrast, RTNF favored perceived recovery status over 72 hours (5.19 vs. 3.25 ; $p < 0.001$) and elicited lower acute cardiovascular strain. In the meta-analysis, conducted using random-effects models and expressed as Hedges' g, RTF did not promote superior muscle hypertrophy gains. The synthesis of 31 estimates showed a trivial and non-

significant effect (estimate = 0.03; 95% CI: -0.04 to 0.09; $p = 0.430$; $I^2 = 0\%$). After adjusting via the trim-and-fill method, the conclusion remained unchanged (adjusted estimate = -0.02; 95% CI: -0.09 to 0.04; $p = 0.463$). For muscle strength, the synthesis of 29 estimates indicated a statistically significant, yet trivial, advantage favoring RTNF (estimate = -0.07; 95% CI: -0.12 to -0.02; $p = 0.006$; $I^2 = 0\%$). In conclusion, RTF amplifies acute physiological, perceptual, and muscular stress, prolongs residual fatigue, and offers no additional benefits for muscle hypertrophy and strength. Terminating sets prior to failure therefore constitutes a more efficient and sustainable strategy to promote neuromuscular and morphological adaptations, particularly when the goal is to balance the training stimulus, performance, and recovery throughout an RT program in healthy adults.

Keywords: Biomarkers; Hypertrophy; Muscle Strength; Physical Exertion; Recovery of Function.