

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCar
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS
PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FISIOLÓGICAS

SANMY ROCHA NÓBREGA

A HIPERTROFIA MUSCULAR É AFETADA PELOS MODELOS DE PROGRESSÃO
DO VOLUME DA CARGA

SÃO CARLOS - SP

2021

SANMY ROCHA NÓBREGA

**A HIPERTROFIA MUSCULAR É AFETADA PELOS MODELOS DE PROGRESSÃO
DO VOLUME DA CARGA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Fisiológicas

Discente: Sanmy Rocha Nóbrega

Orientador: Prof. Dr. Cleiton Augusto Libardi

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

SÃO CARLOS - SP

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado do candidato Sanmy Rocha Nóbrega, realizada em 29/11/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Cleiton Augusto Libardi (UFSCar)

Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Mota (UFTM)

Profa. Dra. Ana Cláudia Garcia de Oliveira Duarte (UFSCar)

Prof. Dr. Wladimir Rafael Beck (UFSCar)

Prof. Dr. Felipe Cassaro Vechin (USP)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Severino de Almeida Nóbrega e Francisca Vânia Rocha Nóbrega, fontes de inspiração, dedicação e superação.

AGRADECIMENTOS

A Deus por minha vida, família e amigos, pelos momentos de alegria, e também pelos de tristeza.

A Universidade Federal de São Carlos, seu corpo docente, direção e administração, pelo ambiente de ensino proporcionado e pela oportunidade de aqui estudar.

Ao Prof. Dr. Cleiton Augusto Libardi, por seu apoio e confiança ao me aceitar como orientando, por seu empenho e dedicação na elaboração deste trabalho, e pelas horas de sono gastas na correção e revisão deste e de outros trabalhos.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo, apoio, compreensão e sacrifícios realizados para que eu pudesse me dedicar ao mestrado e doutorado.

A minha irmã, pelo companheirismo, cumplicidade e desabafos. Por compartilhar comigo os momentos difíceis da pós-graduação, sempre torcendo pelo meu sucesso.

Aos amigos e companheiros de trabalho, que me ajudaram sempre que possível nessa jornada.

Aos voluntários da pesquisa, por assumirem o compromisso para com o projeto.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, o meu obrigado.

SUMÁRIO

CONTEXTUALIZAÇÃO	7
RESUMO	11
ABSTRACT	12
INTRODUÇÃO	13
MÉTODOS	14
Abordagem experimental para o problema	14
Participantes	15
Treinamento de força	17
Teste de força máxima dinâmica	18
Avaliação da área de secção transversa muscular	18
Volume da carga	19
Análise estatística	20
RESULTADOS	21
Comparações entre as características iniciais	21
Volume da carga	22
Força muscular máxima dinâmica	22
Área de secção transversa muscular	23
DISCUSSÃO	24
APLICAÇÃO PRÁTICA	28
AGRADECIMENTOS	28
REFERÊNCIAS	29
ANEXO 1	33

CONTEXTUALIZAÇÃO

O processo de pós-graduação junto ao Professor Dr. Cleiton Augusto Libardi teve início em meu mestrado, onde tive a oportunidade de investigar a importância da falha muscular para as adaptações ao treinamento de força. Paralelamente, tive a honra de participar e contribuir para com o desenvolvimento de outras pesquisas, cujos dados foram coletados ao longo do meu doutorado. Ao ingressar no doutorado, dedicamos parte de nossa energia para a busca de um objeto de pesquisa, enquanto outra parte foi dedicada à finalização da escrita de um artigo cujos dados foram coletados durante meu mestrado, o qual gerou a seguinte publicação:

1. NÓBREGA, S. R.; BARROSO, R.; UGRINOWITSCH, C.; COSTA, J. L. F.; ALVAREZ, I. F.; BARCELOS, C.; LIBARDI, C.A. Self-selected vs. Fixed Repetition Duration: Effects on Number of Repetitions and Muscle Activation in Resistance-Trained Men. **JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH**, Sep;32(9):2419-2424, 2018.

Outros projetos cujos dados foram coletados durante o mestrado tiveram seus artigos escritos ao longo de meu doutorado, dos quais participei efetivamente também dessa etapa:

2. BARCELOS, C.; DAMAS, F.; NÓBREGA, S. R.; UGRINOWITSCH, C.; LIXANDRÃO, M. E.; MARCELINO E. S. L.; LIBARDI, C. A. High-frequency resistance training does not promote greater muscular adaptations compared to low frequencies in young untrained men. **EUROPEAN JOURNAL OF SPORT SCIENCE**, Sep;18(8):1077-1082, 2018.
3. DAMAS, F.; BARCELOS, C.; NOBREGA, S. R.; UGRINOWITSCH, C.; LIXANDRAO, M. E.; CONCEICAO, M. S.; VECHIN, F. C.; LIBARDI, C. A.

Individual Muscle Hypertrophy and Strength Responses to High vs. Low Resistance Training Frequencies. **JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH**, 2018.

4. SANTOS, P.C.; LIBARDI, C. A; **NÓBREGA, S. R.**; CARVALHO, M. B.; GALAN, B. S. M.; DE FREITAS, E.C. Effect of Protein and Carbohydrate Combined with Resistance Training on Muscular Adaptation. **INTERNATIONAL JOURNAL OF SPORTS MEDICINE**, v. 1, p. 1-5, 2020.

Ainda enquanto buscávamos por uma pergunta a ser desenvolvida como minha tese, fomos contatados pela Professora Dr.^a Silvana Gama Florência Chachá do Departamento de Medicina da UFSCar, com uma proposta de pesquisa de alto impacto social - investigar o efeito do treinamento de força nos parâmetros de saúde e funcionalidade de indivíduos com cirrose hepática. A partir desse momento nos dedicamos à elaboração de um ensaio clínico controlado e aleatorizado envolvendo o treinamento de força de baixa intensidade com restrição do fluxo sanguíneo e seus efeitos na força, massa muscular, desempenho funcional e parâmetros relacionados à própria doença, como o nível da doença pela classificação de Child-Pugh, o escore MELD, e o nível de fadiga relatado. Esse ensaio clínico foi publicado no periódico *Trials* enquanto a triagem dos voluntários e início das coletas ocorriam.

5. **NOBREGA, S. R.**; CHACHA, S.; LIBARDI, C. A. Resistance training combined with blood flow restriction in cirrhosis: a randomized controlled trial study protocol. **Trials**, v. 23, p. 1-5, 2020.

Acredito que para a surpresa de todos os envolvidos, a realização da pesquisa se mostrou mais complicada que o esperado. Mesmo após o levantamento de 468 prontuários do Centro de Atendimento de Infecções Crônicas (CAIC) de São Carlos e Hospital Universitário

(HU) da UFSCar, o n ainda se mostrara insuficiente. Dentre as maiores dificuldades podemos citar o não atendimento dos critérios de inclusão e a não disponibilidade para realizar o programa de treinamento físico no laboratório de adaptações neuromusculares ao treinamento de força da UFSCar (MUSCULAB-UFSCar). Na tentativa de minimizar alguns desses problemas solicitamos a direção do HU um pequeno espaço para a realização do programa de treinamento dentro do próprio HU. Após a apreciação do projeto, a direção prontamente atendeu a nossa solicitação. Apesar disso, iniciamos o ensaio clínico com uma primeira entrada de somente 4 sujeitos. Enquanto pensávamos em estratégias para contornar os problemas com o recrutamento de participantes, um problema ainda maior teve início, a pandemia de COVID-19. Com o início da pandemia, todas as atividades de coleta foram paralisadas, impossibilitando inclusive a finalização dessa primeira entrada. Sem perspectiva para a continuidade do projeto com segurança, optamos pela mudança de temática. Com a impossibilidade de realização de uma pesquisa de intervenção com treinamento físico aplicado de maneira supervisionada e presencial em humanos, buscamos a solução por meio de uma abordagem até então não realizada no MUSCULAB, uma análise secundária dos dados coletados em todos os projetos já desenvolvidos no mesmo. Teve início então uma corrida contra o tempo em busca de uma pergunta inovadora, mas que pudéssemos responder de maneira adequada com os dados já coletados. Após diversas análises exploratórias, discussões e reflexões, conseguimos enfim encontrar o problema abordado nessa tese, cujo produto final se encontra em processo de revisão por pares no periódico *Journal of Strength and Conditioning Research* (FI: 3.775).

Apesar dos empecilhos já mencionados, ao longo do doutorado também tive a oportunidade de participar e contribuir nas pesquisas e artigos de outros colegas de

laboratório, desde a concepção da ideia, coleta e análise de dados, bem como na escrita e processo de revisão junto ao periódico. Tal participação resultou nos trabalhos abaixo:

6. SCARPELLI, MAÍRA C.; **NÓBREGA, S. R.**; SANTANIELO, N.; ALVAREZ, I. F.; OTOBONI, G. B.; UGRINOWITSCH, C.; LIBARDI, C.A. Muscle Hypertrophy Response Is Affected by Previous Resistance Training Volume in Trained Individuals. **JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH**, v. 27, p. 1-5, 2020.
7. SOLIGON, S. D.; DA SILVA, D.G.; BERGAMASCO, J.G.A.; ANGLERI, V.; MEDALHA JÚNIOR, R. A.; DIAS, NATHALIA FERNANDA; **NÓBREGA, S. R.**; CESAR, M. C.; LIBARDI, C. A. Suspension training vs. traditional resistance training: effects on muscle mass, strength and functional performance in older adults. **EUROPEAN JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY**, v. 1, p. 1-8, 2020.
8. SANTANIELO, N.; **NÓBREGA, S. R.**; SCARPELLI, M. C.; ALVAREZ, I.; OTOBONI, G. B.; PINTANEL, L; LIBARDI, C. A. Effect of resistance training to muscle failure vs non-failure on strength, hypertrophy and muscle architecture in trained individuals. **BIOLOGY OF SPORT**, v. 1, p. 1-8, 2020.

A seguir apresento o manuscrito cujo título é o mesmo dessa tese.

A HIPERTROFIA MUSCULAR É AFETADA PELOS MODELOS DE PROGRESSÃO DO VOLUME DA CARGA

RESUMO

Esta análise secundária de dados, de caráter exploratório, teve como objetivo comparar os efeitos dos modelos de progressão percentual de uma-repetição-máxima (%1RM) e zona alvo de repetições (RM Alvo), ambos realizados até a falha, na progressão do volume da carga (VC), força muscular e área de secção transversa (AST). A amostra foi composta por vinte e quatro homens não-treinados separados entre dois grupos : %1RM (n = 14) e RM Alvo (n = 10). Exames de ultrassonografia e testes de 1RM foram utilizados para averiguar a AST muscular e força muscular previamente ao início do treinamento (Pré) e após 24 sessões de treino (Pós). A progressão do VC (VC_{Prog}) e o volume da carga acumulado (VC_{Acu}) foram comparados entre os grupos. As relações entre VC_{Prog} , VC_{Acu} , e aumentos no 1RM e AST também foram investigados. Um nível de significância $p \leq 0,05$ foi adotado para todas as análises estatísticas. VC_{Prog} foi significativamente maior para o grupo RM Alvo quando comparado ao grupo %1RM ($2,30 \pm 4,28$ vs $1,01 \pm 5,35$ %/sessão; $p < 0,05$). Relações significativas foram identificadas entre 1RM e VC_{Prog} ($p < 0,05$), e entre AST e VC_{Prog} ($p < 0,05$). Não foram encontradas diferenças entre grupos para o VC_{Acu} ($p > 0,05$). Ambos os grupos apresentaram aumento do 1RM do Pré para o Pós (efeito principal de tempo; $p < 0,05$), sem diferença entre grupos (%1RM: $29,60 \pm 9,86$ % vs RM Alvo: $40,26 \pm 22,62$ %; $p > 0,05$). A AST aumentou em ambos os grupos, com um maior aumento para o grupo RM Alvo ($16,34 \pm 4,73$ % vs $7,58 \pm 4,64$ %; interação grupo vs tempo; $p < 0,05$). Para concluir, o modelo RM Alvo resultou em maior taxa de progressão do VC e maior aumento da AST quando comparado ao modelo %1RM, sem diferenças significativas para o VC_{Acu} e o ganho de força entre eles.

Palavras-chave: falha muscular concêntrica; prescrição do treinamento de força; sobrecarga progressiva; volume de treino.

ABSTRACT

This exploratory secondary data analysis aimed to compare the effects of a percentage of one-repetition maximum (%1RM) and repetition-zone (RM Zone) progressions models, both performed to concentric muscle failure, on volume load (VL) progression, muscle strength and cross-sectional area (CSA). The sample was composed by twenty-four untrained men separated in two groups: %1RM (n = 14) and RM Zone (n = 10). Ultrasound imaging and 1RM testing were utilized to assess muscle cross-sectional muscle area (CSA) and muscle strength before (Pre) and after 24 training sessions (Post). VL progression (VL_{Prog}) and accumulated volume load (VL_{Accu}) were compared between groups. The relationships between VL_{Prog}, VL_{Accu}, 1RM, and CSA increases were also investigated. A significance level of $p \leq 0.05$ was adopted for all statistical procedures. VL_{Prog} was greater for RM Zone compared with %1RM (2.30 ± 4.28 vs 1.01 ± 5.35 %/session; $p < 0.05$). Significant relationships were found between 1RM and VL_{Prog} ($p < 0.05$), and CSA and VL_{Prog} ($p < 0.05$). No between-groups differences were found for VL_{Accu} ($p > 0.05$). Both groups increased 1RM from Pre to Post (main time effect; $p < 0.05$), with no between-group differences (%1RM: 29.60 ± 9.86 % vs RM Zone: 40.26 ± 22.62 %; $p > 0.05$). CSA increased for both groups, with a greater increase for RM Zone (16.34 ± 4.73 % vs 7.58 ± 4.64 %; group vs time interaction; $p < 0.05$). In conclusion, RM Zone resulted in a greater VL progression rate and muscle CSA gains compared with %1RM, with no differences in VL_{Accu} and muscle strength gains between progression models.

Key words: concentric muscle failure; resistance training prescription; progressive overload; training volume.

INTRODUÇÃO

Desde o início do século até mais recentemente o volume da carga (VC = séries x repetições x carga [kg]) tem sido proposto como um dos principais responsáveis pelas adaptações ao treinamento de força (TF). Este tópico já foi amplamente discutido (10, 12), e as evidências sugerem uma relação de dose-resposta entre o número de séries semanais (e consequentemente um maior VC acumulado) e os ganhos de força e massa muscular (16, 23). Entretanto, além do VC acumulado, foi recentemente proposto que a natureza da progressão do VC durante o período de treinamento também influencia as adaptações ao TF (20). Estudos recentes não encontraram diferenças nos ganhos de força e massa muscular entre diferentes protocolos de TF quando as taxas de progressão do VC foram similares entre eles, mesmo com diferenças significantes no VC acumulado no programa de treinamento (2, 5). Tais resultados sugerem que a taxa de progressão do VC é tão importante quanto o VC acumulado durante o período de TF. Contudo, ainda não se sabe se diferentes taxas de progressão do VC afetam os ganhos na força e massa muscular.

No decorrer de um programa de TF é recomendado que o VC seja progredido individualmente, de acordo com a capacidade adaptativa de cada sujeito (10). Dois modelos de progressão podem ser utilizados para esse objetivo. O primeiro consiste na prescrição de uma carga relativa (e.g., porcentagem de uma repetição máxima [%1RM]) com a realização de repetições até a falha muscular concêntrica (i.e., incapacidade do indivíduo em realizar uma nova fase concêntrica na amplitude de movimento previamente estabelecida). Nesse modelo o VC pode aumentar sempre que o indivíduo conseguir realizar mais repetições até alcançar a falha muscular concêntrica. O segundo modelo de progressão consiste em determinar uma zona de repetições específica (e.g., 8-12 RM [RM Alvo]), na qual a carga é ajustada para garantir que a falha muscular ocorrerá dentro da zona desejada (1).

Consequentemente, o VC pode aumentar quando a carga é aumentada e também quando o número de repetições aumenta dentro da zona estabelecida. Apesar de ambos os modelos promoverem progressão do VC, atualmente não se sabe se a taxa de progressão do VC é diferentemente afetada por estes modelos de prescrição, e se as adaptações de força e hipertrofia também são afetadas.

Portanto, por meio de uma análise secundária de dados, este estudo exploratório teve como objetivo comparar os efeitos dos modelos %1RM e RM Alvo, ambos realizados até a falha muscular concêntrica, na progressão do VC, na força muscular e na área de secção transversa muscular (AST). Nossa hipótese é que maiores adaptações serão obtidas no modelo que resultar em maior progressão do VC.

MÉTODOS

Abordagem experimental para o problema

Este estudo foi conduzido como uma análise secundária de alguns dados publicados por Nóbrega et al. (14) e Barcelos et al. (2). Tais estudos possuem uma população (i.e., homens jovens não-treinados) e delineamento experimental semelhantes, com testes de 1RM e AST após o mesmo número de sessões de treinamento. Os dados de cada participante dentro de seus respectivos grupos dos estudos mencionados foram analisados com a intenção de examinar os dados brutos de maneira imparcial. Para tanto, os 14 indivíduos que compuseram o grupo treinamento de força de alta intensidade até a falha (*HIRT-F*) do estudo de Nóbrega et al. (14) foram mantidos como um grupo e o grupo foi renomeado como %1RM. De maneira similar, os 10 indivíduos que realizaram treinamento de força em zona alvo de 9-12 repetições máximas três vezes por semana (*RT3*) no estudo de Barcelos et al. (2) foram conservados como um grupo e renomados como RM Alvo. Resumidamente, previamente ao início da intervenção de treino (Pré), os participantes foram familiarizados com o teste de 1RM e o

exercício que seria realizado. Entre 48-72h depois, os testes de 1RM foram realizados, com retestes a cada 72h até que uma variação inferior a 5% fosse obtida entre os testes. Setenta e duas horas após o último reteste de 1RM, a AST do vasto lateral foi mensurada. O período de TF teve início, com os grupos realizando seus respectivos protocolos (*i.e.*, %1RM e RM Alvo). Reavaliações da 1RM e AST foram realizadas 72h após a décima segunda sessão de treinamento, e também 72h após a sessão de treinamento final (sessão número 24) (Pós). Os ajustes na carga foram realizados de acordo com o protocolo de cada estudo. Para as análises realizadas nesta análise secundária apenas os grupos *HIRT-F*, de Nóbrega *et al.* (14), e *RT3*, de Barcelos *et al.* (2), foram selecionados por compartilharem o mesmo número de sessões de treino (24 vs 24), carga relativa (~80% 1RM), e realizaram repetições até a falha muscular concêntrica. Uma visão geral do delineamento experimental e dos protocolos de cada grupo pode ser vista na Figura 1.

Participantes

A amostra deste estudo foi composta por 14 indivíduos do estudo de Nóbrega *et al.* (14) e 10 do estudo de Barcelos *et al.* (2), totalizando 24 homens jovens saudáveis e não-treinados (24 ± 5 anos, $71,5 \pm 12,5$ kg, e 173 ± 6 cm). Nenhum participante realizou treinamento de força por pelo menos 6 meses antes do início do período experimental, e nenhum possuía contra-indicações à prática dos exercícios e testes aplicados. As características dos grupos podem ser encontradas na Tabela 1. Ambos os estudos foram aprovados pelo comitê de ética local e foram conduzidos de acordo com a Declaração de Helsinque. Todos os participantes foram instruídos sobre os potenciais riscos e benefícios de sua participação, e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido após receberem explicação sobre todos os procedimentos dos estudos.

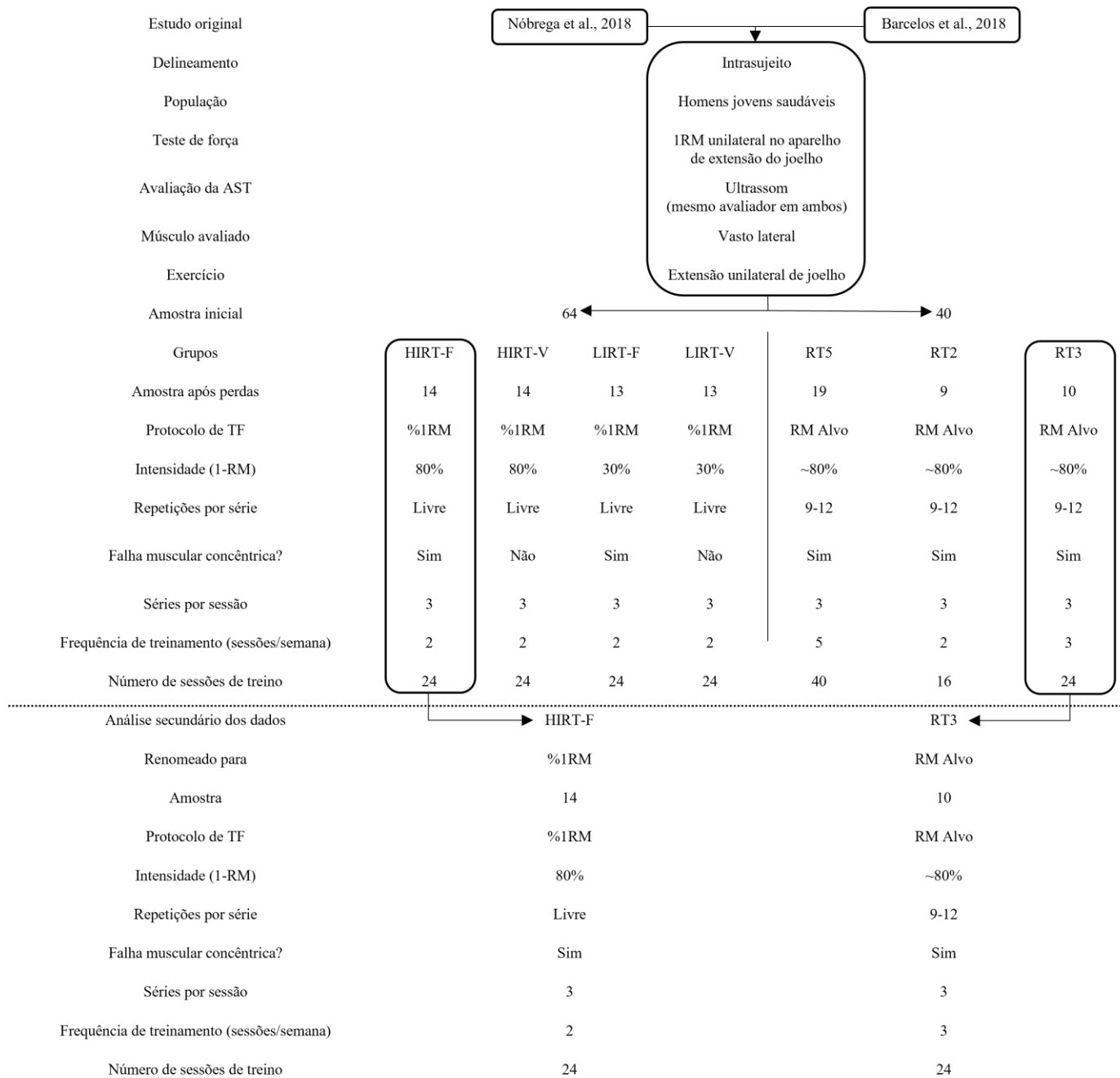


Figura 1 – Visão geral do delineamento experimental e das características dos estudos utilizados nessa análise secundária dos dados. RM, repetições máximas; 1RM, uma repetição máxima; AST, área de secção transversa muscular; HIRT-F, treinamento de força de alta intensidade até a falha; HIRT-V, treinamento de força de alta intensidade até a interrupção voluntária; LIRT-F, treinamento de força de baixa intensidade até a falha; LIRT-V, treinamento de força de baixa intensidade até a interrupção voluntária; RT5, treinamento de força 5 vezes por semana; RT3, treinamento de força três vezes por semana; RT2, treinamento de força duas vezes por semana.

Tabela 1. Características iniciais dos sujeitos por grupo.

	%1RM	RM Alvo	<i>p</i>
Idade (anos)	24 ± 2	23 ± 4	0,47
Massa corporal (kg)	71,5 ± 15,00	72,3 ± 8,20	0,88
Estatura (cm)	173 ± 6,0	174 ± 6,0	0,76
1-RM de extensão do joelho (kg)	50,07 ± 16,88	41,9 ± 11,18	0,19
AST do vasto lateral (cm ²)	22,63 ± 5,03	21,43 ± 3,31	0,58

%1RM, modelo de progressão por porcentagem de uma repetição máxima; RM alvo, modelo de progressão por zona alvo de repetições; 1-RM, uma repetição máxima; AST, área de secção transversa.

Valores expressos em média ± DP.

Treinamento de força

Os dois grupos realizaram um programa de treinamento de força para os membros inferiores composto por 24 sessões de treino unilateral dos extensores do joelho em um equipamento tradicional de extensão do joelho (Effort NKR; Nakagym, SP, Brasil), cujo incremento mínimo na carga permitido pelo equipamento era de 5 quilogramas (kg). Halteres foram utilizados para proporcionar um melhor ajustar da carga, permitindo o aumento mínimo de 1 kg. Todas as sessões de treino iniciavam com aquecimento geral em um cicloergômetro (Ergo-Fit®, Pirmasens, Rheinland-Pfalz, Alemanha) a 20 km·h⁻¹. Os grupos %1RM e RM Alvo realizaram o mesmo número de séries (3 séries) com o mesmo intervalo entre séries (2 minutos de pausa). O grupo %1RM realizou o maior número de repetições possível até o ponto de falha muscular concêntrica por série, e a carga foi ajustada após reteste de 1RM depois de 12 sessões de treino. Em média, os participantes realizaram 26 repetições por sessão

em todo o período experimental. O grupo RM Alvo treinou em zona de 9-12 RM, com a falha muscular ocorrendo em todas as séries. A carga foi ajustada série-a-série sempre que o número de repetições saía da zona delimitada, com possíveis ajustes de 1-5 kg de acordo com o número de repetições realizado pelo indivíduo e a percepção do pesquisador sobre o desempenho do participante. As características específicas de cada protocolo podem ser encontradas na Figura 1.

Teste de força máxima dinâmica

Os testes foram realizados em um equipamento de extensão do joelho (Effort NKR; Nakagym, SP, Brasil). Cada perna foi avaliada individualmente em um modelo unilateral. Procedimentos similares aos descritos por Brown e Weir (3) foram adotados. Os testes foram iniciados com aquecimento geral de 5 minutos em um cicloergômetro a $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Em seguida, um aquecimento específico para o grupo muscular que seria testado foi realizado. Os participantes realizaram 8 repetições, seguidas por três repetições com 50% e 70% da 1RM estimada, respectivamente. Uma pausa de 2 minutos foi realizada entre as séries de aquecimento. O teste de 1RM foi então iniciado, com os participantes tentando levantar a 1RM estimada na máxima amplitude verificada durante a familiarização. A maior carga levantada pelo participante dentro de 5 tentativas foi considerada como o valor de 1RM. Um descanso de 3 minutos entre tentativas foi permitido. O coeficiente de variação (CV) e erro típico (ET) para este teste foi $< 3,65\%$ e $< 1,57 \text{ kg}$, respectivamente.

Avaliação da área de secção transversa muscular

A avaliação da AST muscular foi realizada por meio de ultrassonografia, utilizando um cabeçote de 7,5 MHz (MySono U6, Samsung Industria e Comércio Ltda., São Paulo, Brasil), de acordo com o protocolo previamente validado por Lixandrão *et al.* (11). Após se

absterem de atividades físicas vigorosas por pelo menos 72h, os participantes foram posicionados em decúbito dorsal por quinze minutos para homogeneização dos fluidos. Em seguida, o comprimento do fêmur foi calculado por meio de avaliação manual e seu ponto médio, calculado como 50% da distância entre o trocanter maior e o epicôndilo lateral, foi demarcado. Na pele de cada participante marcações foram feitas no ponto identificado e a cada 2 centímetros (cm) em direção aos aspectos medial e lateral da coxa. Gel de transmissão foi aplicado para promover acoplamento acústico entre o cabeçote do ultrassom (US) e a pele sem que fosse necessário comprimir o local com pressão excessiva. O ponto onde o vasto lateral iniciava foi identificado e as marcações na pele foram utilizadas para guiar o deslocamento do cabeçote. As imagens do US foram coletadas no ponto inicial e a cada 2 cm lateralmente a esse ponto utilizando o modo B do US. Após a aquisição das imagens a AST do vasto lateral foi reconstruída no PowerPoint versão 2007 (Microsoft, Redmond, WA, EUA) de acordo com os procedimentos descritos por Reeves et al. (17) (Figura 2). Após reconstrução da AST as imagens foram exportadas para o software ImageJ. A AST muscular calculada utilizando a ferramenta poligonal, onde o tecido muscular foi delimitado e os tecidos conectivos e ósseos foram evitados. A AST muscular foi reconstruída e calculada três vezes para cada voluntário, e a média obtida foi considerada a AST verdadeira. As avaliações da AST foram realizadas pelo mesmo avaliador nos estudos de Nóbrega *et al.* (14) e Barcelos *et al.* (2). O CV e ET foram $< 1,39\%$ e $< 0,33 \text{ cm}^2$, respectivamente.

Volume da carga

Para calcular a progressão do VC (VC_{Prog}), o VC produzido durante a sessão de treino 1 foi utilizada como o valor de referência do participante e a diferença percentual no VC produzido entre as sessões 1 e 2-24 foram calculadas individualmente de acordo com a fórmula:

$$VC_{prog}(sess\tilde{a}oX) = \left[\frac{VC_{sess\tilde{a}oX} - VC_{sess\tilde{a}o1}}{VC_{sess\tilde{a}o1}} \right] \times 100,$$

onde X é a sessão de treinamento de interesse. Os valores foram registrados e utilizados para análise da inclinação da reta. Adicionalmente, o volume da carga acumulado (VC_{Acu}) foi calculado para cada participante como a soma do VC (série x repetições x carga [kg]) produzido em cada sessão de treinamento durante o período experimental (sessões 1-24)

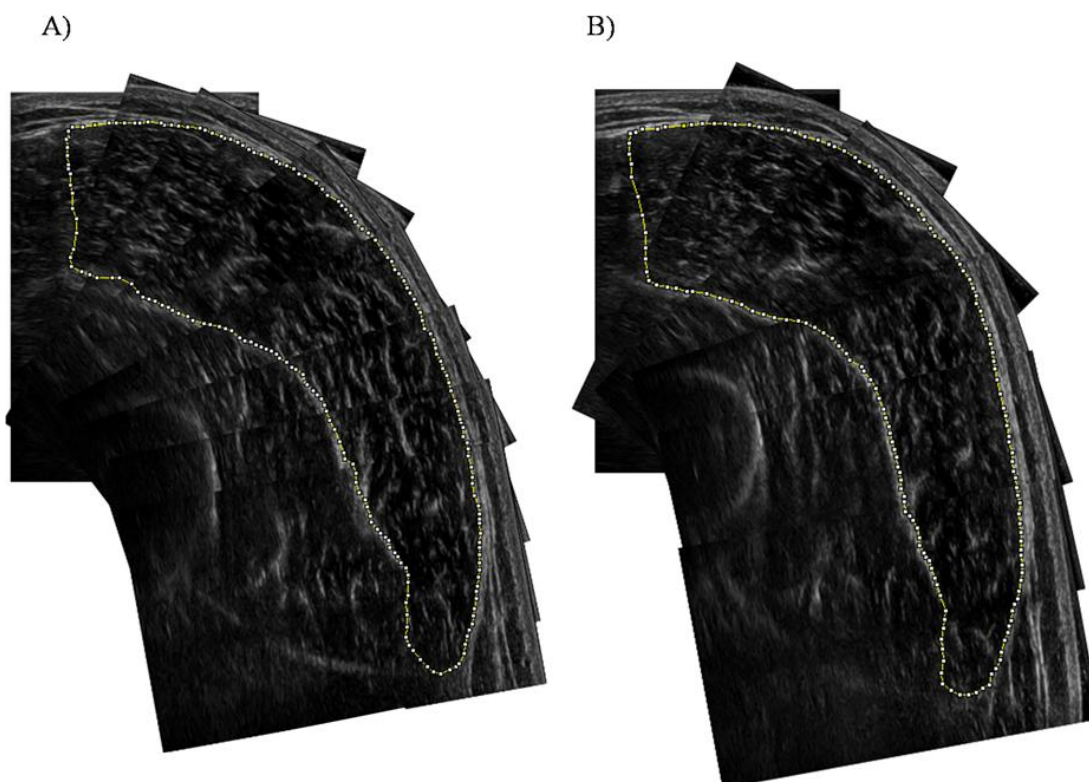


Figura 2. Imagem representativa da área de secção transversa (AST) do músculo vasto lateral de um participante após reconstrução no PowerPoint e delimitação da área muscular no ImageJ nos momentos Pré (A) e Pós (B) do período experimental.

Análise estatística

Inicialmente realizou-se a inspeção visual dos dados, seguida pelo teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*. Testes *t* não-pareados foram utilizados para comparar os

valores basais da idade, massa corporal, estatura, 1RM e AST do vasto lateral entre os grupos %1RM e RM Alvo. Um modelo de análise mista foi implementado para realizar as comparações na 1RM e AST, tendo os grupos (%1RM e RM Alvo) e tempos (Pré e Pós) como fatores fixos, e os participantes como fatores randômicos. Sempre que o modelo misto resultou em um valor F significativo o *post hoc* de Tukey foi utilizado para identificar as diferenças nas médias entre e intra protocolos. Testes t não-pareados também foram utilizados para comparar os aumentos percentuais na 1RM e AST entre %1RM e RM Alvo, bem como no VC_{Acu} . Sempre que possível, o tamanho do efeito (TE) e seu intervalo de confiança no nível 95% (IC) foram calculados utilizando o ajuste de Hedges e Olkin (8) para amostras pequenas. O TE foi considerado significativo quando os limites de confiança inferiores e superiores não cruzaram o zero. A inclinação da reta do VC_{Prog} foi gerada por meio de regressão linear e comparada utilizando um teste F bicaudal. Adicionalmente, uma análise de regressão linear simples foi aplicada para investigar possíveis relações entre o VC_{Prog} e os aumentos da 1RM e AST, bem como do VC_{Acu} com os aumentos da 1RM e AST. Os valores estão expressos como média \pm desvio padrão (DP) e o nível de significância foi determinado como $p \leq 0,05$. Todas as análises foram realizadas no programa SAS 9.4 (SAS Institute, Inc., Cary, CN), com exceção das análises de inclinação da reta do VC_{Prog} , realizadas no software Prism 5 (GraphPad Software, San Diego, CA), e a regressão linear simples, realizada no software R studio (RStudio, Boston, MA).

RESULTADOS

Comparações entre as características iniciais

Nenhuma diferença significativa entre grupos foi encontrada para as comparações dos valores basais das variáveis investigadas (Tabela 1).

Volume da carga

A estatística F da análise de regressão simples revelou relações significativas entre o VC_{Prog} e o aumento da 1RM ($p = 0,010$; Estimate = 7,28; $R^2 = 0,26$), e entre VC_{Prog} e o aumento da AST ($p = 0,015$; Estimate = 2,63; $R^2 = 0,24$). Nenhuma relação significativa foi encontrada entre o VC_{Acu} e aumento da 1RM ($p = 0,94$; Estimate = -0,03; $R^2 = 0,0002$), nem entre VC_{Acu} e aumento da AST ($p = 0,43$; Estimate = -0,0001; $R^2 = 0,03$). As análises com teste t não encontraram diferenças significativas entre grupos para o VC_{Acu} (%1RM: 26695 ± 6785 kg vs RM Alvo: 30936 ± 8391 kg; $p = 0,1850$; TE = 0,57 [95% IC: -0,26 – 1,39]) (Figura 3A). O teste F bicaudal revelou diferença significativa entre grupos para a inclinação da reta do VC_{Prog} (%1RM: $1,01 \pm 5,35$ %/sessão vs RM Alvo: $2,30 \pm 4,28$ %/sessão; $p = 0,0001$) (Figura 3B).

Força muscular máxima dinâmica

Um efeito significativo de tempo foi identificado para a variável 1RM ($F_{[1, 22]} = 114,35$; $p < 0,0001$). A análise de *post hoc* revelou aumentos significativos do Pré para o Pós (%1RM: $50,07 \pm 16,88$ para $64 \pm 18,64$ kg; RM Alvo: $41,9 \pm 11,18$ para $57,3 \pm 10,86$ kg; efeito principal de tempo, $p < 0,05$), sem diferenças significativas entre os grupos ($p > 0,05$). Não foram identificadas diferenças no aumento percentual da 1RM (%1RM: $29,60 \pm 9,86$ % vs RM Alvo: $40,26 \pm 22,62$ %; $p = 0,1295$; TE = 0,65 [95% IC: -0,18 – 1,48]) (Figura 4A).

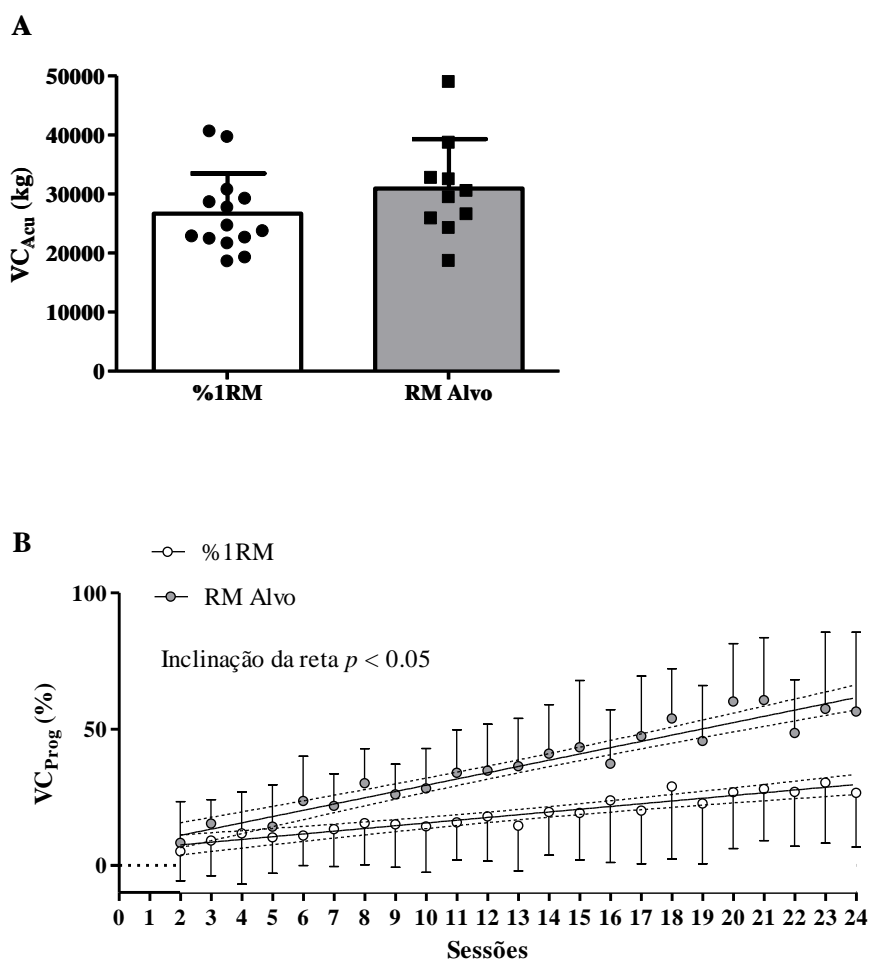


Figura 3. Volume da carga acumulado nas vinte e quatro sessões (VC_{Acu}) (A), e progressão do volume da carga (VC_{Prog}) por sessão para os modelos de progressão por percentagem de uma repetição máxima (%1RM) e por zona alvo de repetições (RM Alvo), com a inclinação da reta da VC_{Prog} (linhas retas contínuas) e o intervalo de confiança em nível de 95% (linhas pontilhadas). Valores apresentados como média \pm DP.

Área de secção transversa muscular

Uma interação significativa grupo vs tempo foi encontrada pela análise de modelo misto ($F_{[1, 22]} = 26,98$; $p < 0,0001$). O *post hoc* apontou aumento significativo na AST do Pré para o Pós tanto para o grupo %1RM (de $22,63 \pm 5,03$ para $24,23 \pm 4,94$ cm²; $p < 0,0001$) quanto para o grupo RM Alvo (de $21,48 \pm 3,31$ para $24,9 \pm 3,21$ cm², $p < 0,0001$), sem

diferenças significativas entre os grupos ($p > 0,05$). A comparação das mudanças percentuais apontou maiores mudanças na AST para o grupo RM Alvo comparado ao grupo %1RM (%1RM: $7,58 \pm 4,64$ vs RM Alvo: $16,34 \pm 4,73$ %; $p = 0,0002$; TE = 1,87 [95% IC: 0,90 – 2,84]) (Figura 4B).

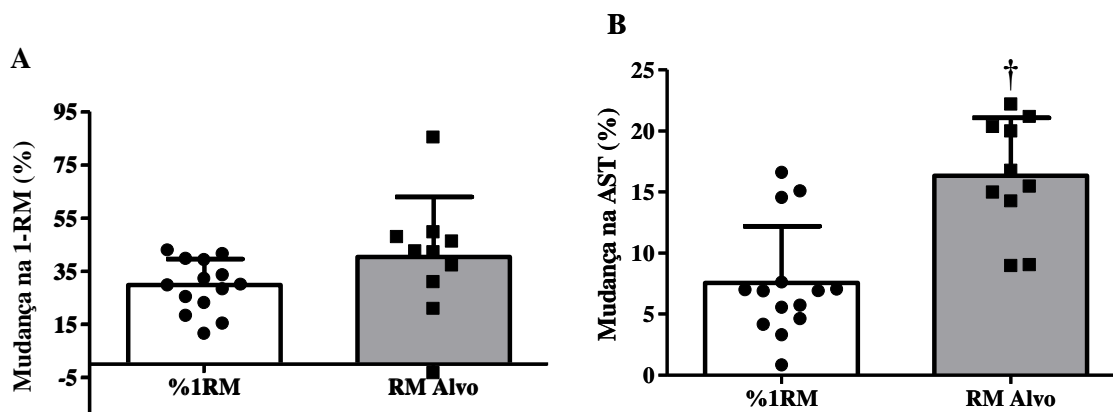


Figura 4. Mudanças percentuais na força máxima dinâmica (1RM) (A), e na área de secção transversa (AST) do vasto lateral (B) para os modelos de progressão por porcentagem de uma repetição máxima (%1RM) e por zona alvo de repetições (RM Alvo). Resultados apresentados como média \pm DP. †Diferença significativa quando comparado ao modelo de progressão por %1RM.

DISCUSSÃO

Nossos resultados revelaram que o modelo de prescrição por RM Alvo resulta em uma progressão do VC significativamente maior que a da prescrição por %1RM. Acompanhando tais achados, um aumento significativamente maior na AST do vasto lateral foi detectado também para o grupo RM Alvo em comparação ao grupo %1RM. Nenhuma diferença significativa foi encontrada entre os grupos para o aumento da 1RM. Coletivamente nós demonstramos pela primeira vez que a progressão do VC afeta a hipertrofia muscular e que o modelo de progressão do VC por RM alvo apresenta vantagem para as adaptações

hipertróficas comparado ao modelo %1RM quando ambos são realizados até a falha muscular concêntrica.

Em se tratando da força muscular, as adaptações neurais são elencadas como um dos principais contribuintes para o aumento da força após o TF (15, 18). Tal postulação é especialmente verdadeira para indivíduos iniciantes no TF, com as adaptações neurais ocorrendo durante as fases iniciais do programa de exercício (15, 18). Para o estudo atual, ambos os grupos iniciaram o treinamento com ~80% 1RM, sendo a carga ajustada série-a-série para o grupo RM Alvo. Em contrapartida, no grupo %1RM a carga foi reajusta após o restes de 1RM realizado na semana 6, na tentativa de otimizar as adaptações musculares ao protocolo. Como consequência, é provável que o grupo %1RM tenha treinado com cargas progressivamente menores até o momento de ajuste da carga, enquanto a carga foi mantida tão constante quanto possível no grupo RM Alvo. Entretanto, as evidências atuais indicam não haver diferença na magnitude dos ganhos de força entre protocolos realizados em uma zona de carga similar, ainda mais quando cargas próximas ao máximo (*i.e.*, 1RM) são levantadas até o ponto de falha muscular concêntrica ou próximo dele (12, 22). Portanto, diferenças mínimas na carga levantada por cada grupo não explicariam possíveis disparidades nos ganhos de força entre os grupos. Apesar de diferenças significativas entre grupos não terem sido identificadas para o aumento da força, a mudança percentual para o grupo RM Alvo foi 10,66 pontos percentuais (PP) acima da mudança encontrada para o grupo %1RM. Arelado a isso, o limite superior do 95% IC (-0,18 – 1,48) pode ser indicativo de um possível efeito favorável para o RM Alvo. Embora estatisticamente não significativa, tal diferença no aumento de 1RM foi quase três vezes superior ao valor de CV encontrado para os testes de 1RM ($CV < 3,65\%$), sendo altamente improvável que tenha ocorrido por um erro aleatório (9). Dessa forma, caso seja de relevância clínica ou para o desempenho físico, essa diferença não-

significativa seria um indicativo que modelos baseados na prescrição por RM Alvo podem ser melhores para os aumentos da força. De maneira similar, o protocolo RM Alvo resultou em um VC_{Acu} ~16 PP acima do encontrado após %1RM, sem diferença estatística entre eles. Assim, poderia ser questionado se essa discrepância no VC_{Acu} foi o fator responsável pela diferença não-significativa no aumento da 1RM entre os grupos. De importante consideração, a análise de regressão simples não encontrou relação significativa entre o VC_{Acu} e o aumento da força. Em contrapartida, uma relação significativa foi encontrada para o VC_{Prog} , com um R^2 de 0,26. Apesar de pequeno isoladamente, uma única variável ser capaz de explicar 26% do aumento da 1RM por meio de um modelo de regressão simples pode indicar a importância dessa variável para as adaptações ao TF. Em conjunto, esses resultados indicam que o VC_{Prog} pode estar mais relacionado aos aumentos de força muscular após um programa de TF que o VC_{Acu} , somando-se ao corpo de evidências atuais que aponta que o VC_{Acu} nem sempre determina a direção das adaptações ao TF (4-6, 13, 19).

Com relação aos resultados da AST, o grupo RM Alvo resultou em hipertrofia muscular significativamente maior (duas vezes maior) que a encontrada para o grupo %1RM, embora não tenham sido observadas diferenças significantes no VC_{Acu} . Esses achados estão alinhados com outros estudos que já demonstraram a falta de associação entre o VC_{Acu} e a hipertrofia muscular (4-6, 13, 19). Por exemplo, Barcelos *et al.* (2) compararam os ganhos de força e AST entre protocolos de TF realizados com diferentes frequências (*i.e.*, duas, três e cinco vezes por semana). Não foram encontradas diferenças significantes entre as adaptações, mesmo com o protocolo de maior frequência tendo produzido um VC_{Acu} quase três vezes maior que o de menor frequência. A análise da VC_{Prog} revelou que os três grupos progrediram de maneira semelhante, com aumento significativo do VC após o período experimental. No mesmo sentido, Damas *et al.* (5) investigaram o efeito da manipulação das variáveis do TF na

síntese proteica de indivíduos treinados em força. Os resultados não demonstraram vantagem para o protocolo com manipulação das variáveis, mesmo com o maior VC_{Acu} produzido por ele. Interessantemente, quando a inclinação da reta da VC_{Prog} foi comparada entre os grupos uma progressão similar foi encontrada. Tais achados levaram os autores do estudo a hipotetizar que, em nível de grupo, a inclinação da reta da VC_{Prog} pode ser uma variável importante para a hipertrofia. Somando-se as evidências já mencionadas, nossos resultados demonstram que a VC_{Prog} , bem como o modelo de progressão, afeta a hipertrofia muscular. O ajuste da carga realizado série-a-série no modelo RM Alvo parece garantir que a carga de treino utilizada pelo participante está sempre próxima de um valor ótimo para sua capacidade adaptativa, aparentemente promovendo uma progressão acelerada do VC. Associando esse resultado a análise de regressão simples, a qual indica que 24% do aumento na AST pode ser explicado pelo VC_{Prog} , maiores incrementos na AST poderiam ser esperados para protocolos com maior VC_{Prog} . Em contrapartida, o aumento no número de repetições realizadas pelos indivíduos parece acontecer em menor velocidade. Dados não publicados de nosso laboratório demonstram um aumento de 2-4 repetições após 12 sessões de treinamento, refletindo assim a menor inclinação da reta da VC_{Prog} observada para o grupo %1RM. Como resultado, o aumento da AST muscular parece ser negativamente afetado pela progressão mais lenta. Futuros estudos deveriam tentar identificar os possíveis mecanismos por trás desse fenômeno.

Esse estudo não é livre de limitações. 1) a análise secundária de dados aqui realizada impossibilitou a aplicação de um delineamento experimental aleatorizado desenvolvido especificamente para atacar o problema proposto. No entanto, apesar da falta de uma distribuição aleatorizada dos participantes entre os grupos aqui investigados, nenhuma diferença entre grupos foi detectada nos valores basais; 2) a análise secundária de dados também limitou o número de sujeitos disponíveis para realização das análises, resultando em

um baixo número amostral; 3) apesar de ambos os grupos terem realizado o mesmo número de sessões de treinamento, a diferença na frequência de treinamento poderia ser considerada uma limitação. Contudo, dados meta-analíticos indicam não haver diferença nos ganhos de força e massa muscular entre frequências de 2x e 3x por semana, principalmente quando diferenças no VC acumulado não são detectadas (7, 21). Por fim, nossos dados estão limitados a uma amostra composta por homens não-treinados submetidos a um período de treinamento de 24 sessões. É possível que diferentes adaptações sejam verificadas para a VC_{Prog} e aumento da AST após períodos de treinamento mais longos. Dessa forma, a extrapolação de nossos achados deve ser realizada com cautela.

Em conclusão, nossos resultados sugerem que a progressão do volume da carga (VC) influencia a magnitude da hipertrofia muscular. Adicionalmente, o modelo de prescrição por RM Alvo promove maior hipertrofia muscular quando comparado ao modelo prescrito por %1RM quando ambos são realizados até a falha muscular concêntrica, sem diferença para o ganho de força muscular.

APLICAÇÃO PRÁTICA

Os achados aqui presentes sugerem que, em se tratando de indivíduos não-treinados e iniciantes no TF, treinadores e profissionais do exercício deveriam optar por programas de treinamento de TF prescritos por RM Alvo ao invés de programas prescritos por %1RM com repetições até a falha, uma vez que o primeiro resulta em hipertrofia muscular de maior magnitude e possível benefício no aumento da força muscular. Isso pode ser especialmente relevante durante as fases iniciais do regime de TF, uma vez que a maior hipertrofia muscular pode resultar também em maior aderência do praticante.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 (#88887.634303/2021-00 para S.R.N, #88882.426904/2019-01 para M.C.S., e #88887.634297/2021-00 para T.S.C.) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (#302801/2018-9 para C.A.L.). Nós gostaríamos de agradecer a todos os participantes deste estudo. Os autores declaram que os resultados do estudo estão apresentados de maneira clara, honesta, e sem fabricação, falsificação ou manipulação imprópria dos dados. Os autores declaram não haver conflitos de interesse. Os resultados do presente estudo não constituem em endosso do produto pelos autores nem pela NSCA.

REFERÊNCIAS

1. ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 687-708, 2009.
2. Barcelos C, Damas F, Nóbrega SR, Ugrinowitsch C, Lixandrão ME, Marcelino Eder Dos Santos L, and Libardi CA. High-frequency resistance training does not promote greater muscular adaptations compared to low frequencies in young untrained men. *Eur J Sport Sci* 18: 1077-1082, 2018.
3. Brown LE and Weir JP. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. *J Exerc Physiol Online* 4: 1-21, 2001.
4. Chaves TS, Pires de Campos Biazon TM, Marcelino Eder Dos Santos L, and Libardi CA. Effects of resistance training with controlled versus self-selected repetition duration on muscle mass and strength in untrained men. *PeerJ* 8: e8697, 2020.
5. Damas F, Angleri V, Phillips SM, Witard OC, Ugrinowitsch C, Santanielo N, Soligon SD, Costa LAR, Lixandrão ME, Conceição MS, and Libardi CA. Myofibrillar protein synthesis and muscle hypertrophy individualized responses to systematically changing

resistance training variables in trained young men. *1985*) 127: 806-815. doi: 810.1152/jappphysiol.00350.02019. Epub 02019 Jul 00353., 2019.

6. Dinyer TK, Byrd MT, Garver MJ, Rickard AJ, Miller WM, Burns S, Clasey JL, and Bergstrom HC. Low-Load vs. High-Load Resistance Training to Failure on One Repetition Maximum Strength and Body Composition in Untrained Women. *J Strength Cond Res* 33: 1737-1744, 2019.

7. Grgic J, Schoenfeld BJ, Davies TB, Lazinica B, Krieger JW, and Pedisic Z. Effect of Resistance Training Frequency on Gains in Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 48: 1207-1220, 2018.

8. Hedges LV and Olkin I. Estimation of a Single Effect Size: Parametric and Nonparametric Methods. 1985.

9. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30: 1-15, 2000.

10. Kraemer WJ and Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 36: 674-688, 2004.

11. Lixandrao ME, Ugrinowitsch C, Bottaro M, Chacon-Mikahil MP, Cavaglieri CR, Min LL, Oliveira de Souza E, Laurentino GC, and Libardi CA. Vastus lateralis muscle cross sectional area ultrasonography validity for image-fitting in humans. *J Strength Cond Res*, 2014.

12. Morton RW, Colenso-Semple L, and Phillips SM. Training for strength and hypertrophy: an evidence-based approach. *Current Opinion in Physiology* 10: 90-95, 2019.

13. Morton RW, Oikawa SY, Wavell CG, Mazara N, McGlory C, Quadriatero J, Baechler BL, Baker SK, and Phillips SM. Neither load nor systemic hormones determine resistance

training-mediated hypertrophy or strength gains in resistance-trained young men. *J Appl Physiol* (1985) 121: 129-138, 2016.

14. Nóbrega SR, Ugrinowitsch C, Pintanel L, Barcelos C, and Libardi CA. Effect Of Resistance Training To Muscle Failure Versus Volitional Interruption At High- And Low- Intensities On Muscle Mass And Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 32: 162-169, 2018.

15. Pearcey GEP, Alizedah S, Power KE, and Button DC. Chronic resistance training: is it time to rethink the time course of neural contributions to strength gain? *Eur J Appl Physiol* 2021: 021-04730, 2021.

16. Ralston GW, Kilgore L, Wyatt FB, and Baker JS. The Effect of Weekly Set Volume on Strength Gain: A Meta-Analysis. *Sports Med* 47: 2585-2601, 2017.

17. Reeves ND, Maganaris CN, and Narici MV. Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol* 91: 116-118, 2004.

18. Sale DG. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 20: S135-145. doi: 110.1249/00005768-198810001-198800009., 1988.

19. Sampson JA and Groeller H. Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength? *Scand J Med Sci Sports*, 2015.

20. Schoenfeld B, Fisher J, Grgic J, Haun C, Helms E, Phillips S, Steele J, and Vigotsky A. Resistance Training Recommendations to Maximize Muscle Hypertrophy in an Athletic Population: Position Stand of the IUSCA. *International Journal of Strength and Conditioning* 1, 2021.

21. Schoenfeld BJ, Grgic J, and Krieger J. How many times per week should a muscle be trained to maximize muscle hypertrophy? A systematic review and meta-analysis of studies examining the effects of resistance training frequency. *J Sports Sci* 37: 1286-1295, 2019.

22. Schoenfeld BJ, Grgic J, Van Every DW, and Plotkin DL. Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance: A Re-Examination of the Repetition Continuum. *Sports* 9: 32, 2021.
23. Schoenfeld BJ, Ogborn D, and Krieger JW. Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci*: 1-10, 2016.

ANEXO 1