



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

RAFAEL RAUL PAPST

**EFEITO DOSE RESPOSTA DO TREINAMENTO RESISTIDO
PARA HIPERTROFIA E FORÇA MUSCULAR:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE**

Londrina
2021

RAFAEL RAUL PAPST

**EFEITO DOSE RESPOSTA DO TREINAMENTO RESISTIDO
PARA HIPERTROFIA E FORÇA MUSCULAR:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-graduação Associado em Educação Física UEM/UEL, como requisito à obtenção do título de Doutor em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Doederlein Polito.

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Papst, Rafael Raul .

EFEITO DOSE RESPOSTA DO TREINAMENTO RESISTIDO PARA HIPERTROFIA E FORÇA MUSCULAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE / Rafael Raul Papst. - Londrina, 2021.
105 f. : il.

Orientador: Marcos Doederlein Polito.

Tese (Doutorado em Educação Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Educação Física e Esportes, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Treinamento resistido, revisão sistemática, meta-análise. - Tese. I. Polito, Marcos Doederlein . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Educação Física e Esportes. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

CDU 796

RAFAEL RAUL PAPST

**EFEITO DOSE RESPOSTA DO TREINAMENTO RESISTIDO
PARA HIPERTROFIA E FORÇA MUSCULAR:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-graduação Associado em Educação Física UEM/UEL, como requisito à obtenção do título de Doutor em Educação Física.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Marcos Doederlein Polito
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Ademar Avelar de Almeida Junior
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. Jefferson Rosa Cardoso
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Andreo Fernando Aguiar
Universidade do Norte do Paraná - UNOPAR

Prof. Dr. Raphael Mendes Ritti-Dias
Universidade Nove de Julho - UNINOVE

Londrina, 06 de dezembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus pela saúde, persistência e perseverança;

Agradeço ao Professor Marcos Doederlein Polito pela contribuição, paciência e toda orientação prestada ao longo desses anos;

Agradeço aos Membros da Banca Avaliadora, que se dispuseram em compartilhar seus conhecimentos, revisar e contribuir para melhoria deste trabalho;

Agradeço a minha família pelo apoio, e em especial a minha esposa e companheira Josiane Medina Papst, que sempre me incentivou e auxiliou nos estudos, e aos meus filhos João Pedro e Miguel pelo carinho e compreensão por esperar o papai para brincar;

Agradeço a todos colegas da pós-graduação que diretamente ou indiretamente contribuíram com esse trabalho.

“Aprenda a aceitar que a vida não é uma série de eventos ao acaso e sim uma jornada de crescimento. Se você viver todos os dias com esta consciência, nunca envelhecerá, apenas continuará a se desenvolver.”

Louise Hay

PAPST, Rafael Raul. **Efeito dose resposta do treinamento resistido para hipertrofia e força muscular:** uma revisão sistemática com meta-análise. 2021. Tese (Doutorado em Educação Física) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

Diversas meta-análises foram publicadas sobre o efeito do treinamento resistido (TR) na força e na hipertrofia de adultos. Contudo, esses estudos usualmente investigaram uma única variável da prescrição do TR ou um único desfecho (força ou hipertrofia). Além disso, faltam informações sobre o risco de viés e qualidade das evidências dessas investigações. Nesse contexto, a presente tese possui dois objetivos a serem contemplados em dois estudos: Estudo 1) realizar uma revisão sistemática com meta-análise de ensaios clínicos aleatórios (ECAs) que abordaram o TR sobre força e hipertrofia; Estudo 2) revisar sistematicamente as evidências meta-analíticas disponíveis que examinaram os efeitos do TR na força e / ou hipertrofia muscular de adultos saudáveis e avaliar o risco de viés e a qualidade da evidência. **Estudo 1 - Métodos:** As buscas foram realizadas nas bases *PubMed*, *Web of Science*, *Scopus*, *Cochrane* e *SportDiscus*. Critérios de inclusão / exclusão foram pré-estabelecidos para a seleção dos estudos. O *effect size* (ES) foi calculado utilizando o modelo de efeito aleatório. A meta-regressão verificou a influência de variáveis moderadoras. ANOVA baseada em teste Q foi usado para identificar possíveis diferenças em subgrupos. **Resultados:** Foram identificadas 11338 referências e 119 foram selecionadas para compor a revisão sistemática com meta-análise. Tamanhos de efeito (TE) demonstraram melhorias na força e massa muscular encontrados para todos moderadores em jovens (YG) e sujeitos mais velhos (OG) (TE 0,25 a 1,72; $P < 0,05$) respectivamente. **Estudo 2 - Métodos:** As buscas foram feitas nas bases *Pubmed*, *Web of Science* e *Cochrane*. Como critérios de inclusão, revisões sistemáticas com meta-análises sobre TR em força e / ou hipertrofia de adultos jovens saudáveis publicadas em inglês. Foram excluídos estudos com idosos, atletas ou com análise de força / hipertrofia sob intervenção medicamentosa, suplementos, dietas controladas ou ergogênicos. Foram avaliados a qualidade metodológica e qualidade de evidências das meta-análises. A correlação de *Pearson* verificou a correlação entre o escore de qualidade metodológica e evidência total e demais variáveis. **Resultados:** As buscas totalizaram 1915 referências. Após aplicado os critérios de inclusão e exclusão, 19 foram incluídas para compor o estudo. Correlações moderadas foram observadas na avaliação da qualidade AMSTAR 2 com avaliação da qualidade da evidência (0,64; $P = 0,003$) e com ano de publicação dos estudos (0,57; $P = 0,03$). A avaliação GRADE verificou de muito baixa a alta qualidade de evidência. **Conclusões:** No estudo 1, diferentes combinações dos fatores de TR melhoraram a força e a massa muscular em YG e OG. Em OG, isso foi favorecido por maior frequência e duração do TR. No segundo estudo, observamos revisões sistemáticas com meta-análises de razoável a excelente qualidade metodológica e muito baixa a alta de evidências, contudo, seguir um plano padronizado de relatórios para meta-análises são fundamentais para a melhoria da qualidade dessas pesquisas.

PAPST, Rafael Raul. **Dose-response effect of resistance training for muscle hypertrophy and strength**: a systematic review with meta-analysis. 2021. Thesis (Doctorate in Physical Education) - State University of Londrina, Londrina. 2021.

ABSTRACT

Introduction: Several meta-analysis have been published on the effect of resistance training (RT) on strength and hypertrophy in adults. However, these studies usually investigated a single RT prescription variable or a single outcome (strength or hypertrophy). In addition, there is a lack of information on the methodological quality and evidence of these investigations. In this context, this thesis has two objectives to be contemplated in two studies: Study 1) perform a systematic review with meta-analysis of randomized clinical trials (RCTs) that addressed the RT on strength and hypertrophy; Study 2) systematically review the available meta-analytic evidence that examined the effects of RT on muscle strength and/or hypertrophy in healthy adults and assess the methodological and quality of evidence. **Study 1 - Methods:** Searches were performed in PubMed (*Medline*), SPORTDiscus, Scopus (*Embase*) and Web of Science databases. Inclusion/exclusion criteria were pre-established for the selection of studies. The effect size (ES) was calculated using the random effect model. The meta-regression verified the influence of moderating variables. ANOVA based on Q test was used to identify possible differences in subgroups. **Results:** 11338 references were identified and 119 were selected to compose the systematic review and meta-analysis. Effect sizes (ES) demonstrated improvements in strength and muscle mass found for all moderators in young (YG) and older (OG) individuals (ES 0,25 to 1,72; $P < 0,05$). **Study 2 - Methods:** Searches were performed in Pubmed, Web of Science and Cochrane databases. As inclusion criteria, systematic reviews with meta-analysis on RT in strength and/or hypertrophy in healthy young adults published in English. Studies with elderly people, athletes or with analysis of strength / hypertrophy under drug intervention, supplements, controlled or ergogenic diets were excluded. The methodological quality and quality of evidence of the meta-analysis were evaluated. Pearson's correlation verified the association between the methodological quality score and total evidence and other variables. **Results:** The searches totaled 1915 references. After applying the inclusion and exclusion criteria, 19 were included to compose the study. Moderate correlations were observed in the AMSTAR 2 quality assessment with assessment of the quality of evidence (0,64; $P = 0,003$) and with the year of publication of the studies (0,57; $P = 0,03$). The GRADE assessment checked very low to high quality of evidence. **Conclusions:** In study 1, different combinations of RT factors improved strength and muscle mass in YG and OG. In OG, this was favored by higher frequency and duration of RT. In the second study, we observed systematic reviews with meta-analysis ranging from reasonable to excellent methodological quality and very low to high evidence quality, however, following a standardized reporting plan for meta-analysis is essential to improve the quality of these studies.

LISTA DE FIGURAS

ESTUDO 1

- Figura 1** - Diagrama de fluxo detalhando a busca e sistemática de relatórios potenciais (*k*) e processo de seleção de ensaios de TR incluídos. 23
- Figura 2** - Risco de viés para força muscular em ensaios com sujeitos jovens..27
- Figura 3** - Risco de viés para força muscular em ensaios com sujeitos mais velhos 28
- Figura 4** - Risco de viés para massa muscular em ensaios com sujeitos jovens..... 28
- Figura 5** - Risco de viés para massa muscular em ensaios com sujeitos mais velhos 28

ESTUDO 2

- Figura 1** - Diagrama de fluxo para inclusão dos estudos de meta-análise que foram inclusos 43

LISTA DE TABELAS

ESTUDO 1

- Tabela 1** - Tamanho do efeito, estatística I^2 e τ^2 , para força e massa muscular após o TR em indivíduos jovens ($k = 96$)..... 25
- Tabela 2** - Tamanho do efeito, estatística I^2 e τ^2 , para força e massa muscular após o TR em indivíduos mais velhos ($k = 85$) 26
- Tabela 3** - O mínimo e melhores recomendações de variáveis de treinamento resistido para melhorar a força e massa muscular em jovens e indivíduos mais velhos com base no cálculo do TE ($k=96$)..... 29

ESTUDO 2

- Tabela 1** - Características gerais das meta-análises incluídas..... 45
- Tabela 2** - Correlação de *Pearson* entre a qualidade metodológica, qualidade da evidência dos 14 estudos selecionados e demais características..... 48
- Tabela 3** - Resultados da avaliação de classificação de recomendações, desenvolvimento e avaliação (GRADE) 49

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

TR	treinamento resistido
TE	tamanho do efeito
1-RM	uma repetição máxima
DEXA	absortometria radiológica de dupla energia
MRI	ressonância magnética
DC	dobras cutâneas
MCM	massa corporal magra
MM	massa muscular
CSA	área de seção transversa
ESP	espessura
MVC	contração voluntária máxima
%	porcentagem
Kg	quilogramas
cm²	centímetro quadrado
cm³	centímetros cúbico
mm	milímetro
mm²	milímetro quadrado
µm²	micrômetro quadrado
N	Newton
N.m	Newton metros
psi	libra-força
ES	tamanho de efeito
DP	desvio padrão
EP	erro padrão
IC	intervalo de confiança
N	número
X	sinal de multiplicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	JUSTIFICATIVA	14
2	OBJETIVOS	15
3	ESTUDO 1	16
3.1	INTRODUÇÃO	17
3.2	MÉTODOS	19
3.3	RESULTADOS	22
3.4	DISCUSSÃO	30
4	ESTUDO 2	37
4.1	INTRODUÇÃO	38
4.2	MÉTODOS	39
4.3	RESULTADOS	43
4.4	DISCUSSÃO	54
4.5	CONCLUSÃO	59
5	REFERÊNCIAS	60
	ANEXO I	76
	ANEXO II	79
	APÊNDICE I	80
	APÊNDICE II	90

1 INTRODUÇÃO

O treinamento resistido (TR) tem sido amplamente pesquisado há vários anos em virtude de inúmeros benefícios que podem ser observados a médio e longo prazo em indivíduos de ambos os sexos, com diferentes condições de aptidão física¹, saúde² e faixas etárias³.

O TR tem sido utilizado, principalmente, para o desenvolvimento e manutenção de vários componentes morfológicos, funcionais e neuromotores, influenciando diretamente alguns atributos da aptidão física relacionada à saúde, mais especificamente, a composição corporal, a força e a resistência muscular^{4,5}. Adicionalmente, os benefícios do TR para a saúde se estendem à redução de fatores de risco para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares⁶, melhoria no quadro de diabetes mellitus tipo II⁷, prevenção da osteoporose⁸ e aumento da autonomia de movimentos em idosos⁹. Nesse contexto, além dos fins competitivos, estéticos e de condicionamento físico, o TR também pode ser utilizado para fins profiláticos e/ou terapêuticos^{2,3}.

Entre as principais modificações ocorridas na composição corporal obtida em decorrência do TR, destaca-se a hipertrofia muscular. A hipertrofia muscular pode ser definida como o aumento da área de secção transversa do músculo¹⁰ devido ao aumento continuado na síntese de proteínas contráteis e não contráteis^{11,12}. O aumento da síntese de proteínas musculares, por sua vez, depende de diferentes variáveis, tais como alimentação¹³, repouso¹⁴, características genéticas¹⁵ e estímulo do treinamento¹⁶. Assim, uma única sessão de TR pode induzir aumentos na síntese proteica, via eventos pós-transcricionais iniciados nas primeiras quatro horas após o treinamento^{16,17}, atingindo o seu pico nas 24 horas pós-exercício^{4,16} e podendo se elevar nas 36-48 horas subsequentes^{4,18,19}.

Em longo prazo, o TR desencadeia um aumento da área de secção transversa majoritariamente nas fibras do tipo II^{16,20}. Embora esse mecanismo ainda não tenha sido totalmente elucidado, postula-se que as fibras do tipo I resistem à tendência de se hipertrofiar, parcialmente em resposta ao treinamento de força, por um mecanismo de *down-regulation* em seus receptores de testosterona^{16,21}.

Independentemente de o estímulo de síntese de proteínas ocorrerem nas primeiras sessões de TR, a magnitude do aumento da área da secção transversa é dependente da continuidade do treinamento. Nesse contexto, durante períodos de treinamento de curto prazo, principalmente em indivíduos não-treinados, a hipertrofia muscular não deve ser observada de forma significativa. Por outro lado, a força muscular tende a aumentar significativamente^{22,23}.

A força muscular pode ser caracterizada como a capacidade de o sistema nervoso motor estimular os músculos envolvidos contra uma resistência. Assim, a capacidade do sistema neuromotor de gerar força é necessária para todos os tipos de movimentos, desde as atividades cotidianas ao esporte de alto rendimento.

Basicamente, a unidade estrutural que possibilita a ação muscular é a unidade motora, que consiste de um motoneurônio, seu axônio motor, e as fibras musculares por ele inervadas. As fibras musculares, classificadas de acordo com suas características contrátil e metabólica, mostram uma relação linear entre sua área de secção transversal e a quantidade máxima de força que eles podem gerar^{24,25}. Nesse sentido, a geração da força muscular é dependente da ativação da unidade motora, e as unidades motoras são ativadas de acordo com seu limiar de recrutamento que, tipicamente, envolve a ativação das menores unidades motoras (menor produção de força) antes das unidades motoras mais rápidas, as quais geram maior produção de força²⁵. Contudo, o recrutamento das unidades motoras é determinado geralmente pelo tamanho de seu motoneurônio²⁶, que se destaca por agrupar um número aproximado de 10 a 180 fibras por unidade motora de fibras lentas e de 300 a 800 fibras por unidade motora de fibras rápidas²⁷.

Aumentos de força muscular decorrentes do TR podem ocorrer de duas formas. Inicialmente, tem-se o aumento da ativação neural do músculo, otimizando o aumento do recrutamento de unidades motoras e o aumento da frequência de estimulação^{28,29,30}. Em longo prazo, o aumento da força muscular também se relaciona com a hipertrofia, uma vez que a maior quantidade de proteínas contráteis no músculo favorece os mecanismos neurais de contração^{30,31,32}.

Em se tratando de variáveis da prescrição do TR, a intensidade e o volume do treinamento são os principais parâmetros moduladores do processo da hipertrofia muscular. De acordo com o Colégio Americano de Medicina do Esporte⁴, o TR de intensidade moderada, suficiente para desenvolver e manter a massa corporal magra (MCM) deve fazer parte de um programa de aptidão física de um adulto. Assim, uma série de 8 a 12 repetições, com oito a dez exercícios que condicionem os principais grupos musculares pelo menos duas vezes por semana são o mínimo recomendado⁴. Nesse sentido, o treinamento de intensidade moderada a alta (6 a 12 repetições máximas - RM), com alto volume (múltiplas séries e exercícios) parece ser adequado para a hipertrofia muscular, uma vez que permite a estimulação tanto das unidades motoras de baixo quanto de alto limiar, o que favorece a maximização dos ganhos de massa muscular²⁰.

Contudo, treinamento de alta intensidade, ou seja, com carga suficientemente elevada para não possibilitar a execução de mais de seis repetições, o qual é frequentemente utilizado para o desenvolvimento da força muscular, estimula principalmente a hipertrofia das fibras do tipo II, provocando pequenas modificações nas fibras do tipo I^{20,22}. Assim, cargas de 70 a 80% de 1-RM, são utilizadas para hipertrofia muscular¹⁵, enquanto aquelas mais intensas, acima de 80% de 1-RM, são mais adequadas para a melhoria da força máxima²².

Com relação às informações produzidas na literatura sobre o TR, seja quanto à hipertrofia muscular ou força, vale ressaltar que existe uma relativa dificuldade de interpretação de seus resultados. Isso se explica pelo fato de as investigações utilizarem: 1) sujeitos com diferentes condições ou experiência de treinamento e com diferentes faixas etárias; 2) protocolos experimentais diferenciados (número de exercícios, séries e repetições, frequência semanal, velocidade de execução, intervalos de recuperação entre as séries e carga utilizada) e 3) duração do treinamento variada.

Na tentativa de melhor compreensão dos resultados dos diferentes estudos originais, estudos de revisão sistemática com meta-análise foram conduzidos a fim de investigar o efeito de diferentes variáveis da prescrição do TR sobre a força³³, hipertrofia muscular³⁴ ou ambos^{35,36}. Porém, a maioria das revisões sistemáticas com meta-análise analisaram a influência

das variáveis de prescrição do TR de maneira isolada, sem levar em consideração a interdependência existente entre todas as variáveis do treinamento^{33,36,37}. Por exemplo, Grgic et. al.³³, verificaram em uma revisão sistemática com meta-análise o efeito da frequência semanal de TR sobre a força muscular. Os autores destacaram que a frequência semanal parece estabelecer efeitos significativos para o aumento da força muscular. No entanto, ressaltam que esses efeitos parecem ser impulsionados pelo volume de treinamento. No mesmo sentido, os autores apontaram não estar claro se a frequência de treinamento por si só tenha efeitos significantes para aumentos da força muscular. Ou seja, o estudo de uma única variável (como a frequência semanal) parece não ser suficiente para um razoável entendimento sobre o melhor protocolo de treinamento. Já Benito et al.,³⁴ ao analisarem em uma recente revisão sistemática com meta-análise os efeitos do TR sobre a hipertrofia muscular de homens adultos saudáveis, concluíram que o número de séries em relação as características do treinamento foi a única variável que modera inversamente os ganhos em hipertrofia, mostrando que o excesso de séries por exercício afeta negativamente o crescimento muscular. No entanto, sugere futuras análises mais detalhadas, nas quais todas as variáveis relacionadas ao volume e intensidade de treinamento sejam estratificadas, na tentativa de obter melhor compreensão de qual a dose ideal para hipertrofia.

Embora os achados citados anteriormente sejam relevantes, seus apontamentos demonstram certa limitação nos resultados, restringindo uma prescrição adequada do TR para potencializar o desfecho o qual se pretende observar. Para além disso, os estudos originais que integraram as revisões sistemáticas de hipertrofia muscular não são necessariamente os mesmos que integraram as revisões sistemáticas de força. Esse fato não permite concluir como ambos os desfechos se manifestam em relação às variáveis do TR. Dessa forma, seria interessante a condução de estudos que analisassem simultaneamente tanto hipertrofia muscular quanto a força. Nesse sentido, o estudo de Schoenfeld et al.³⁶ teve como objetivo realizar uma revisão sistemática com meta-análise para comparar modificações tanto na hipertrofia muscular quanto na força em relação ao TR realizados com diferentes cargas. Porém, além de os autores analisarem isoladamente a carga como variável moderadora (limitando a influência das demais variáveis), os estudos originais

incluídos não foram os mesmos para hipertrofia muscular e força. Assim, diferenças individuais poderiam ter influenciado os resultados, uma vez que hipertrofia e força foram analisadas em sujeitos diferentes.

Além do mais, os resultados de uma meta-análise podem ser influenciados por itens de maior ou menor risco de viés, como busca e critérios de inclusão / exclusão de artigos, viés de publicação, análise de sensibilidade, heterogeneidade, exploração de heterogeneidade e modelo de cálculo do tamanho do efeito³⁸. Então, qualificar metodologicamente uma meta-análise, ou seja, definir como a probabilidade de que o desenho experimental gere resultados imparciais, pode auxiliar no entendimento dos desfechos. Além da qualidade metodológica, é importante classificar a qualidade das evidências dos estudos com meta-análise por meio da classificação do desenho do estudo, risco de viés, imprecisão, inconsistência, evidências indiretas e magnitude do efeito³⁹.

Nesse contexto, há a necessidade: 1) conduzir estudos de revisão sistemática com meta-análise que permitam análises criteriosas e detalhadas das diversas variáveis envolvidas na prescrição do TR seja para estimular a hipertrofia ou a força muscular e 2) conduzir revisões sobre as meta-análises publicadas a fim de investigar suas qualidades metodológicas e de evidências.

1.1 JUSTIFICATIVA

Estudos de revisão sistemática com meta-análise são de extrema relevância, uma vez que analisam de forma integrada os resultados de pesquisas selecionadas por meio de critérios rigorosos de busca. Além disso, esse modelo de estudo permite identificar variáveis com maior associação ao desfecho que se pretende observar e também possibilita identificar temas que necessitem de maior evidência (auxiliando na orientação de futuras investigações). Contudo, até o presente momento, não foi realizado um estudo de revisão sistemática com meta-análise que permitisse a análise integrada das diferentes variáveis moderadoras sobre a força e hipertrofia muscular (por exemplo: tempo de intervenção, número de exercícios, número de séries e repetições, intensidade, intervalo de recuperação e progressão no treinamento), deixando uma lacuna a ser explorada.

Além disso, inúmeros estudos de revisão sistemática com meta-análises têm sido publicados envolvendo força e hipertrofia muscular. Contudo, parece viável o empenho em verificar tanto a qualidade metodológica quanto o grau de evidência. Dessa forma, revisar revisões sistemáticas com meta-análise é um procedimento cientificamente importante para uma análise qualitativa de trabalhos publicados. Porém, não identificamos estudos que revisaram meta-análises sobre força / hipertrofia muscular em adultos jovens, o que abre uma possibilidade inédita de investigação.

2 OBJETIVO

A presente tese teve dois objetivos: 1) realizar uma revisão sistemática de ensaios clínicos aleatórios que abordaram o TR nos desfechos de força muscular e hipertrofia e por meio do tratamento meta-analítico, analisar a influência de potenciais variáveis do treinamento sobre os resultados; 2) revisar sistematicamente as evidências meta-analíticas disponíveis que examinaram os efeitos do treinamento resistido na força e / ou hipertrofia muscular de adultos saudáveis e abordar o risco de viés, a qualidade da evidência, pontos fortes e limitações da evidência meta-analítica. Para a colimação dos objetivos propostos, foram conduzidos dois estudos independentes, cujos procedimentos metodológicos estão descritos separadamente.

3 ESTUDO 1

Moderadores de ganhos de força e hipertrofia no treinamento resistido: uma revisão sistemática com meta-análise

Resumo

Esta meta-análise investigou o papel dos moderadores do treinamento resistido (TR) sobre os ganhos de força e massa muscular em jovens não treinados (YG) e adultos mais velhos (OG) (CRD42020156505). Foram pesquisados em bancos de dados eletrônicos, ensaios clínicos aleatórios que avaliaram simultaneamente a força e a massa muscular e análises que incorporaram suposições de efeitos aleatórios. Os ensaios incluídos foram 56 com YG (96 intervenções, N = 1077) e 63 com OG (85 intervenções, N = 856). Após a análise inicial, os moderadores definidos foram; repetições até a falha, número de repetições, periodização, intervalos de descanso entre séries e exercícios, frequência semanal e duração. Tamanhos de efeito (TE) demonstraram melhorias na força e massa muscular encontrados para todos moderadores em YG e OG (ES 0,25- a 1,72; $p < 0,05$), exceto a massa muscular no YG após a realização do TR com < 3 séries/exercício. Os ganhos de força ($p < 0,001$) foram maiores no TR não periodizado vs. periodizado em YG [ES (95% IC); 1,72 (1,41–2,03) vs. 1,05 (0,85–1,23)] e OG [1,40 (1,16–1,64) vs. 0,74 (0,49–0,98)]. TE no OG foi maior ($p < 0,04$) quando TR incluiu repetições sem falha vs. falha [1,35 (1,09–1,62) vs. 0,96 (0,77–1,16)], 3 vs. > 3 séries / exercício [1,30 (1,06–1,53) vs. 0,90 (0,70–1,08)], ≥ 3 vs. < 3 dias / semana [1,70 (1,37–2,03) vs. 0,78 (0,64–0,93)], e ≥ 12 vs. < 12 semanas [1,48 (1,17–1,79) vs. 0,92 (0,76–1,09)]. Um efeito moderador dos fatores de TR na massa muscular não foi detectado no YG, enquanto maior TE foi encontrado no OG para TR com ≥ 3 vs. < 3 dias/semana [0,50 (0,30–0,69) vs. 0,25 (0,11–0,39)]. Concluindo, diferentes combinações dos fatores de TR melhoraram a força e a massa muscular em YG e OG. Em OG, isso foi favorecido por maior frequência e duração, embora dificultada pelo volume excessivo.

PALAVRAS-CHAVE: hipertrofia; exercício resistido; treinamento; força muscular; meta-análise.

3.1 Introdução

O treinamento resistido (TR) aumenta a força e a massa muscular, o que melhora a capacidade funcional e a saúde (*American College of Sports Medicine*⁵). De acordo com *American College of Sports Medicine*⁵, a quantidade mínima de TR para adultos saudáveis devem incluir séries únicas ou múltiplas de 8 a 10 exercícios para os principais grupos musculares, realizados pelo menos duas vezes por semana com 8 a 12 repetições e intensidade correspondente de 70 a 80% da repetição máxima (1-RM). Apesar dessas recomendações, diferentes combinações de variáveis de treinamento foram reconhecidas para moderar os efeitos do TR^{40,41,42}. No entanto, sua combinação ideal para produzir ganhos de força e hipertróficos permanecem indefinidos,

Recentemente, várias revisões sistemáticas e metanálises foram conduzidas para resolver esse problema^{33,34,35,36,41}. Em geral, elas se concentraram na influência de componentes isolados do TR, desconsiderando o fato de serem interdependentes. Silva et. al⁴¹ investigaram a dose-resposta de TR em adultos mais velhos considerando apenas exercícios de extensão dinâmica de joelho. Mesmo que muitas combinações das variáveis de treinamento resultaram em aumentos de força, a meta-regressão mostrou que apenas a "duração do treinamento" teve uma contribuição exclusiva. Grgic et. al³³ encontraram um efeito significativo da frequência de TR nos ganhos de força, mas análises de subgrupos incluindo potenciais moderadores revelaram que este efeito foi impulsionado por fatores relacionados ao volume de treinamento.

Uma meta-análise recente (Benito et. al³⁴) mostraram que excessivas séries por exercício podem afetar negativamente a hipertrofia muscular, enquanto os efeitos do treinamento sobre a massa muscular não se relacionaram com nenhum fator de TR isoladamente. No geral, estes resultados confirmam que as variáveis relacionadas à intensidade do treinamento e ao volume desempenham um papel na melhoria da força e massa muscular em adultos saudáveis. No entanto, eles falharam em informar sobre o peso específico dos componentes de TR para melhorar esses

resultados. Uma análise combinando vários fatores parece ser necessária para determinar relações consistentes entre a dose e a resposta.

Além disso, os efeitos do TR na força e hipertrofia foram investigados isoladamente^{34,40,41,42,43,44}. Faltam análises integradas mesmo nos poucos estudos que abordaram ambos os resultados (Borde et. al³⁵; Schoenfeld et. al³⁶). Schoenfeld et. al³⁶ comparou as adaptações na força e massa muscular entre os TRs realizados com carga baixa vs. alta. Normalmente, o efeito moderador das cargas foi testado em desconexão com outras variáveis de treinamento. Borde et. al³⁵ investigaram os efeitos gerais do TR na força muscular e morfologia para descrever as relações dose-resposta de fatores de treinamento em adultos mais velhos. Ganhos na força muscular estavam principalmente relacionados às categorias predefinidas de "período de treinamento", "intensidade" e "tempo sob tensão", enquanto as mudanças na morfologia dependeram da ampla categoria de "volume de treinamento". Em suma, os tamanhos de efeito anteriores (TE) da força e massa muscular foram calculados a partir de diferentes tentativas, levando a resultados de intervenções em amostras diferentes.

Não foi possível encontrar estudos anteriores investigando o efeito simultâneo do TR na força e massa muscular, aplicando uma perspectiva integrada para avaliar o papel relativo das variáveis de treinamento nos mesmos indivíduos. Por outro lado, para resumir os dados de ensaios experimentais usando esta abordagem, poderia ajudar a elucidar um problema pendente; qual seria a quantidade mínima de TR para aumentar a força e a massa muscular? A evidência acumulada parece ser insuficiente para informar os médicos e profissionais para projetar programas de TR eficazes para melhorar esses resultados em adultos saudáveis de diferentes idades. Dada esta lacuna no conhecimento atual, os objetivos desta revisão sistemática com meta-análise foram investigar a eficácia do TR no aumento da força e massa muscular em adultos jovens e idosos de ambos os sexos, e analisar a influência dos moderadores de treinamento relatado pelos estudos incluídos nestes resultados. Nossa hipótese é que diferentes combinações de fatores de TR seriam capazes de melhorar a força e a massa muscular, mas que seu papel específico seria diferente em indivíduos jovens e idosos. Em resumo, testamos a premissa de que a melhor combinação de fatores de TR para

produzir ganhos simultâneos na força e massa muscular de indivíduos não treinados estariam relacionadas à idade.

3.2 Materiais e métodos

Estratégia de busca e critérios de seleção

Esta meta-análise é consistente com o Relatório de Itens Preferenciais para Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA) (Moher et. al⁴⁵) e foi registrado no Registro Prospectivo Internacional de Revisões Sistemáticas (PROSPERO) como CRD42020156505. A lista de verificação PRISMA está disponível no ANEXO 1. As buscas estruturadas incluíram artigos até abril de 2020, publicados em inglês. Os bancos de dados eletrônicos *PubMed* (incluindo *Medline*), *Web of Science*, *Scopus* (incluindo *EMBASE*), *Cochrane* e *SportDiscus* foram consultados. Operadores booleanos foram utilizados para identificar estudos relevantes, usando termos *Mesh* relacionado a "treinamento resistido", "força", "hipertrofia" e "massa muscular", isolada ou combinada. A combinação desses termos resultou na seguinte estratégia de pesquisa completa para PubMed:

("Resistance training"[title/abstract] OR "resistance training"[title/abstract] OR "strength-training"[title/abstract] OR "strength training"[title/abstract] OR "weight training"[title/abstract] OR "weight-training"[title/abstract] OR "resistive training"[title/abstract] OR "resistive training"[title/abstract] OR "circuit training"[title/abstract] OR "circuit-training"[title/ abstract] OR weightlifting [title/abstract] OR "weight-lifting" [title/abstract] OR "resistance exercise"[title/abstract]) AND (hypertrophy[title/abstract] OR "cross-sectional area"[title/ abstract] OR hypertrophic[title/abstract] OR "muscle mass"[title/ abstract] OR "lean body mass"[title/abstract] OR "muscle fiber" hypertrophy"[title/abstract] OR "muscle size"[title/ abstract]) NOT (cancer[title/abstract] OR HIV[title/abstract] OR AIDS[title/abstract] OR diabetes[title/abstract] OR hypertension [title/abstract] OR rat[title/abstract] OR mouse[title/abstract] OR children[title/abstract] OR haemodialysis[title/abstract] OR heart failure[title/abstract] OR obesity[title/abstract] OR osteoporosis[title/abstract]).

Os ensaios de TR incluíram o seguinte: população de adultos saudáveis (> 18 anos), intervenção mínima de 6 semanas de TR, grupo controle sem exercício físico, medidas pré e pós-treinamento de força muscular e massa muscular nos grupos de TR e controle, e componentes FITT relatados (frequência, intensidade, tempo e tipo) de intervenções de TR. Excluímos estudos transversais e epidemiológicos e ensaios incluindo indivíduos com obesidade, doenças crônicas (cardiovasculares ou metabólicas) ou populações muito específicas altamente treinadas (atletas, soldados, astronautas, pilotos, policiais e bombeiros). Quando os ensaios envolveram programas de perda de peso, uso de medicamentos ou terapia dietética além do TR, apenas os grupos não tratados por essas intervenções foram incluídos na análise (grupos controle e apenas TR).

Extração dos dados e análises

Dois pesquisadores extraíram independentemente as informações dos estudos com alta confiabilidade em todas as dimensões (média de Cohen $k = 0,93$). Todas as discordâncias foram resolvidas por consenso. Os dados foram extraídos conforme relatado pelos autores e incluíram características do estudo (por exemplo, aleatorização e qualidade metodológica do estudo), características da amostra (por exemplo, número de participantes, sexo e idade), mudanças na força e massa muscular (pré e pós intervenção de TR vs. controle). As análises foram realizadas dentro de grupos de idade previamente definidos: jovens (18 a 55 anos) e adultos mais velhos (> 55 anos). Variáveis de intervenção de TR incluídos foram: repetições (número e se realizadas até a falha), número de séries por exercício, duração do treinamento, frequência semanal, intervalos de descanso entre as séries e exercícios, cargas de treinamento e periodização. A qualidade metodológica do estudo foi avaliada com a escala Testex (Smart et. al⁴⁶), uma lista de verificação de 12 pontos com pontuações mais altas (máximo de 15 pontos) indicando melhor qualidade do estudo ANEXO 2. A análise de sensibilidade foi usada para verificar a influência de estudos que usaram carga de treinamento inferior a 50% 1-RM.

Cálculo do tamanho do efeito e análise do moderador

Diferença média padronizada corrigida pelo viés (Hedges 'g) foi usado para quantificar a eficácia do TR, definida como a diferença média na força muscular e massa muscular entre grupo TR e controle pós-versus pré-intervenção com base no desvio padrão ponderado combinado. Valores positivos de *g* indicaram aumentos na massa muscular ou força vs. grupo controle. Os cálculos de TE assumiram o modelo de efeito aleatório. Para cada intervenção de TR, os cálculos TE consideraram uma única medida de força e massa muscular. Se os ensaios relatassem mais de um valor, um TE colapsado foi calculado. Inconsistências em *gs* foram estimados pela estatística *Q* transformada em I^2 e seus intervalos de confiança de 95%. Os valores I^2 variam de 0% (homogeneidade) a 100% (maior heterogeneidade); um IC que não inclui 0% indicou que a hipótese de homogeneidade é rejeitada, e a inferência de heterogeneidade é merecida.

O viés de publicação foi avaliado usando figuras de funil por meio do teste de *Egger* (ou seja, os valores de *g* observados foram plotados em contraste com seus erros padrão), que foram examinados visualmente para assimetria e presença de *outliers*. Além disso, o método não paramétrico "*trim and fill*" de Duval e Tweedie também foi usado para testar e corrigir possíveis vieses de publicação (Duval & Tweedie⁴⁷). Na presença de heterogeneidade significativa, ANOVA baseada em teste *Q* foi usada para explicar a variabilidade nas respostas de massa e força muscular dentro de grupos de idade. Características de TR (por exemplo, variáveis de treinamento) e qualidade do estudo foram incluídos como moderadores potenciais. Todos os termos de interação foram gerados com moderadores e testados independentemente para significância. Em todos os casos, os cálculos foram realizados usando o *software Comprehensive Meta-Analysis* versão 2.2.064 (*BiostatTM, Englewood, NJ, EUA*), com significância estabelecido em 5%.

3.3 Resultados

Características do estudo

A FIGURA 1 resume a busca sistemática e o processo de seleção dos ensaios de TR incluídos. No total, 119 estudos foram qualificados para inclusão nesta meta-análise. Uma lista dos ensaios incluídos e suas características metodológicas estão disponíveis no APÊNDICE 2. Cinquenta e seis estudos, totalizando 96 intervenções, incluindo amostras jovens (895 homens e 182 mulheres), enquanto 63 estudos totalizaram 85 intervenções foram realizados com adultos mais velhos (199 homens e 657 mulheres). Em geral, os participantes exibiram baixos níveis de atividade física (sedentarismo ou baixa atividade). No geral, o risco de viés dos estudos foi moderado, satisfazendo 53% ou 8 pontos na escala Testex com considerável variabilidade (4 a 12 pontos; $7,5 \pm 1,6$). Apenas três ensaios foram considerados de qualidade superior, demonstrando menor risco de viés (70% dos itens satisfeitos) (Cadore et. al⁴⁸; Walker et. al^{49,50}), enquanto três ensaios foram de qualidade muito baixa, satisfazendo menos de 30% dos itens (Chilibeck et. al⁵¹; Kemi et. al⁵²; Pipes⁵³).

Características das intervenções de TR e métodos de avaliação

A maioria das intervenções não foi periodizada, com apenas 15 ensaios com amostras de jovens e 21 ensaios com indivíduos mais velhos aplicando algum tipo de periodização (consulte a lista completa de ensaios e respectivas características no APÊNDICE 2). Em média, TR em ensaios com participantes jovens foi realizada 3 ± 0 dias / semana por 16 ± 5 semanas, incluindo 4 ± 3 exercícios, 3 ± 0 séries / exercício, 11 ± 3 repetições (58% dos ensaios com repetições realizadas até a falha), cargas de $72 \pm 15\%$ de 1-RM, e intervalos de descanso de 103 ± 21 s. Nos ensaios com participantes mais velhos, TR ocorreu 3 ± 1 dias / semana durante 19 ± 8 semanas e incluiu 7 ± 3 exercícios, 3 ± 0 séries / exercício, 11 ± 2 repetições (30% dos ensaios com

repetições realizadas até a falha), cargas correspondentes a $71 \pm 9\%$ de 1-RM e intervalos de descanso de 96 ± 21 s. Na maioria dos casos, testes de 1-RM (95 ensaios) e dinamometria (18 ensaios) foram usados para avaliar a força máxima. A massa muscular foi medida diretamente (ultrassom, planimetria, ressonância magnética e tomografia computadorizada) em 39 ensaios, indiretamente estimada em 76 ensaios (absortometria de raios-X de dupla energia, dobras cutâneas, bioimpedância, pesagem hidrostática e pletismografia de deslocamento de ar), e medida in vitro em 4 ensaios (análise histoquímica e biópsia). Detalhes relacionados aos métodos de avaliação da força e massa muscular também estão disponíveis no APÊNDICE 2.

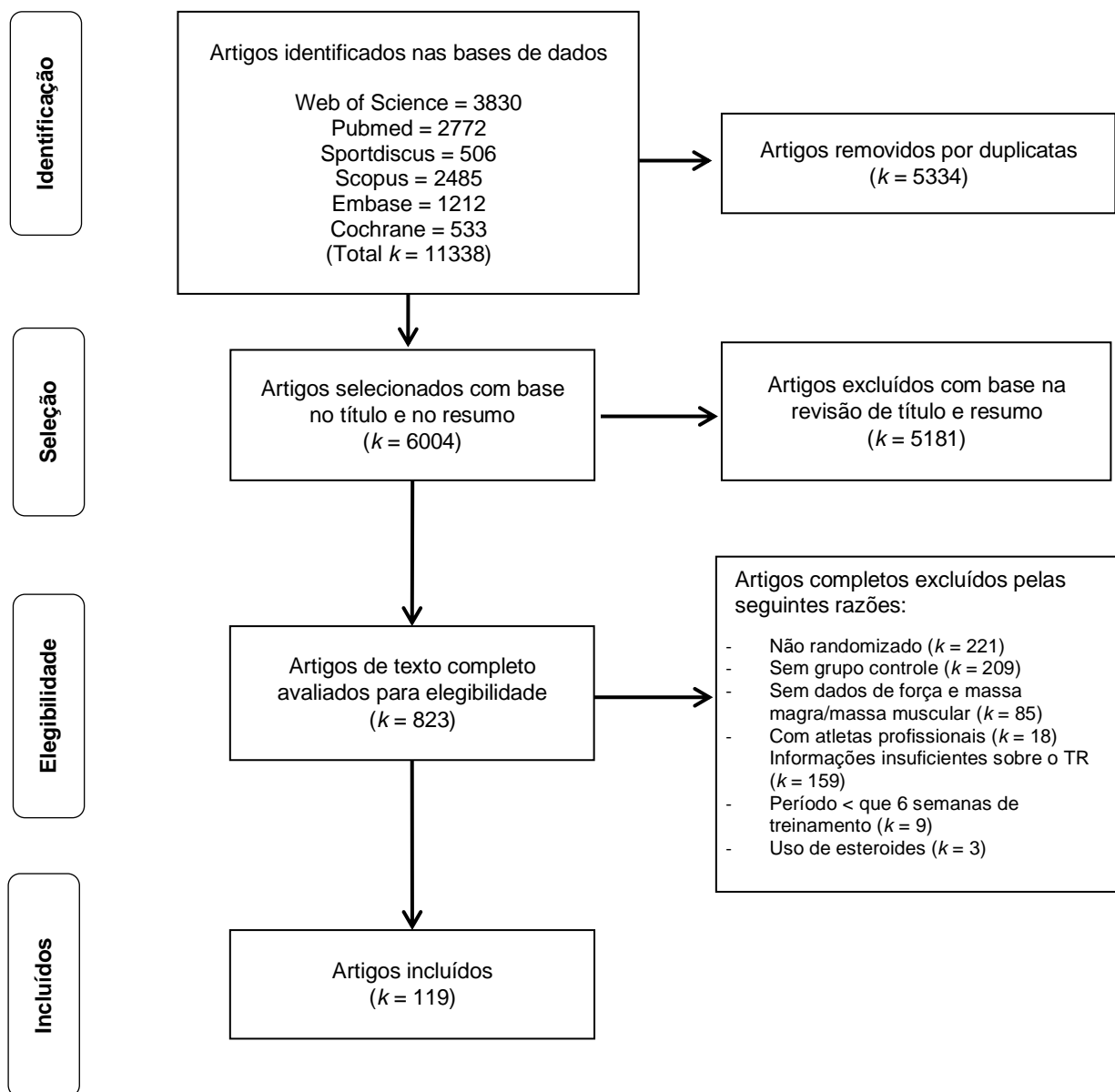


Figura 1. Diagrama de fluxo detalhando a busca e sistemática de relatórios potenciais (k) e processo de seleção de ensaios de TR incluídos.

Tamanhos de efeito de força e massa muscular

O TE geral para as 96 intervenções, incluindo jovens foram 1,43 (1,23-1,63; $I^2 = 81,72$; $\tau^2 = 0,76$) para força e de 0,54 (1,23-1,63; $I^2 = 70,44$; $\tau^2 = 0,40$) para massa muscular. Nas 85 intervenções com adultos mais velhos, TE geral foi de 1,22 (1,03-1,41; $I^2 = 82,67$; $\tau^2 = 0,60$) para força e de 0,38 (0,25-0,50; $I^2 = 57,92$; $\tau^2 = 0,19$) para massa muscular. Nenhuma diferença entre grupos de jovens e adultos mais velhos foram encontradas para TE geral em relação a ganhos de força ou hipertrofia. A Tabela 1 representa os dados TE, I^2 e τ^2 obtidos para força e massa muscular por moderador de TR em ensaios desenvolvidos com amostras dos jovens. Todas as categorias produziram TE significativos aproximadamente de mesma magnitude que o TE geral. Com relação à análise do moderador, os ganhos de força parecem ser favorecidos em programas não periodizados vs. programas periodizados. A Tabela 2 apresenta os resultados de ensaios incluindo indivíduos mais velhos. Os valores da maioria do TE por moderador se aproximam do TE geral, exceto aqueles de ganhos de força em TR periodizado realizado em menos de 3 dias/semana. TE significativos foram encontrados para todas as categorias de moderadores, exceto para TR realizado com mais de 3 séries/exercício ($P = 0,09$). No entanto, as comparações entre categorias de moderadores mostraram que TE foi menor no TR incluindo repetições até a falha, mais de 3 séries/exercício, periodização, frequência semanal inferior a 3 dias/semana e duração inferior a 12 semanas.

Tabela 1. Tamanho do efeito, estatística f^2 e τ^2 , para força e massa muscular após o TR em indivíduos jovens ($k = 96$)

Moderador	Média \pm DP (variação)	Força			Massa Muscular		
		TE (95% IC)	f^2	τ^2	TE (95% IC)	f^2	τ^2
Carga (% 1-RM)							
≥ 70 % 1-RM ($k = 63$)	79,9 \pm 9,8 (70-120)	1,39 (1,14-1,64)	82,37	0,78	0,47 (0,29-0,64)	62,89	0,29
< 70 % 1-RM ($k = 33$)	56,4 \pm 7,9 (30-65)	1,52 (1,18-1,87)	80,96	0,77	0,71 (0,39-1,02)	79,26	0,63
Repetições (fadiga)							
Falha ($k = 56$)	-	1,38 (1,17-1,59)	68,26	0,40	0,46 (0,27-0,65)	66,87	0,34
Sem falha ($k = 40$)	-	1,55 (1,17-1,92)	88,49	1,20	0,66 (0,40-0,92)	74,73	0,50
Repetições							
≥ 10 ($k = 49$)	13 \pm 7 (10-50)	1,55 (1,24-1,87)	84,01	1,01	0,52 (0,30-0,74)	73,82	0,45
< 10 ($k = 45$)	8 \pm 2 (4-9)	1,32 (1,06-1,59)	79,63	0,60	0,59 (0,37-0,81)	66,09	0,36
Séries/ exercício							
> 3 ($k = 20$)	5 \pm 1 (4-7)	1,37 (0,94-1,80)	79,52	0,74	0,58 (0,27-0,89)	66,88	0,31
3 ($k = 18$)	3 \pm 0 (3)	1,48 (1,21-1,75)	82,89	0,80	0,59 (0,40-0,78)	67,60	0,35
< 3 ($k = 50$)	2 \pm 0,5 (1-2)	1,36 (0,90-1,83)	81,87	0,80	0,34 (-0,08-0,75)	78,12	0,61
Semanas							
> 12 ($k = 51$)	22 \pm 7 (13-48)	1,38 (0,89-1,87)	87,64	1,19	0,50 (0,12-0,88)	76,30	0,62
≤ 12 ($k = 45$)	10 \pm 2 (6-12)	1,44 (1,22-1,66)	79,12	0,65	0,55 (0,38-0,71)	68,64	0,36
Frequência (dias/sem)							
≥ 3 ($k = 48$)	3 \pm 0 (3-4)	1,37 (1,10-1,65)	78,63	0,63	0,33 (0,15-0,52)	53,10	0,20
< 3 ($k = 48$)	2 \pm 0 (2)	1,48 (1,19-1,77)	83,85	0,90	0,53 (0,25-0,71)	69,72	0,44
Periodização							
Sim ($k = 37$)	-	1,05 (0,85-1,23)	57,99	0,21	0,51 (0,31-0,71)	52,94	0,19
Não ($k = 59$)	-	1,72 (1,41-2,03)*	86,14	1,17	0,57 (0,35-0,79)	76,21	0,54
Intervalos de descanso (s)							
≤ 90 ($k = 31$)	60 \pm 15 (20-90)	1,50 (1,00-1,84)	87,04	0,83	0,60 (0,30-0,91)	60,89	0,53
> 90 ($k = 41$)	136 \pm 25 (105-180)	1,33 (0,92-1,55)	78,99	0,80	0,59 (0,28-0,74)	66,42	0,47
Qualidade do estudo							
> 7 ($k = 42$)	9 \pm 1 (8-12)	1,52 (1,15-1,77)	91,01	0,74	0,41 (0,16-0,66)	73,37	0,48
≤ 7 ($k = 54$)	6 \pm 2 (4-7)	1,49 (1,11-1,70)	89,33	0,88	0,63 (0,44-0,83)	67,84	0,35

*diferença significativa vs. ensaios com periodização ($P < 0,001$); DP = Desvio Padrão; IC = Intervalo de Confiança

Tabela 2. Tamanho do efeito, estatística f^2 e τ^2 , para força e massa muscular após o TR em indivíduos mais velhos ($k = 85$)

Moderador	Média ± DP (variação)	Força			Massa Muscular		
		TE (95% IC)	f^2	τ^2	TE (95% IC)	f^2	τ^2
Carga (% 1-RM)							
≥ 70 % 1-RM ($k = 33$)	76,1 ± 6,0 (70-92)	1,24 (0,99-1,49)	72,89	0,34	0,40 (0,24-0,56)	40,46	0,09
< 70 % 1-RM ($k = 52$)	61,4 ± 4,8 (50-67)	1,20 (0,93-1,46)	86,09	0,78	0,38 (0,20-0,55)	64,79	0,26
Repetições (fadiga)							
Falha ($k = 26$)	-	0,96 (0,77-1,16)	51,87	0,12	0,44 (0,29-0,60)	29,48	0,05
Sem falha ($k = 59$)	-	1,35 (1,09-1,62) *	86,41	0,84	0,36 (0,20-0,53)	63,98	0,26
Repetições							
≥ 10 ($k = 41$)	13 ± 2 (11-20)	0,97 (0,76-1,17)	67,54	0,25	0,36 (0,21-0,50)	39,26	0,08
< 10 ($k = 44$)	9 ± 1 (5-10)	1,29 (0,96-1,62)	88,04	0,83	0,42 (0,22-0,62)	67,84	0,30
Séries/ exercício							
> 3 ($k = 13$)	4 ± 1 (4-6)	0,90 (0,70-1,08)	00,00	0,00	0,21 (-0,01-0,43)	00,00	0,00
3 ($k = 52$)	3 ± 0 (3)	1,30 (1,06-1,53)	80,34	0,54	0,32 (0,16-0,48)	58,45	0,20
< 3 ($k = 20$)	2 ± 0,5 (1-2)	1,27 (0,78-1,76)	91,06	0,10	0,60 (0,35-0,86)	65,17	0,21
Semanas							
> 12 ($k = 47$)	26 ± 12 (13-72)	1,48 (1,17-1,79) †	88,75	0,95	0,44 (0,25-0,64)	67,58	0,29
≤ 12 ($k = 38$)	10 ± 2 (6-12)	0,92 (0,76-1,09)	45,45	0,11	0,33 (0,18-0,47)	35,77	0,07
Frequência (dias/sem)							
≥ 3 ($k = 45$)	3 ± 0,4 (3-5)	1,70 (1,37-2,03) ‡	88,01	1,03	0,50 (0,30-0,69) #	68,62	0,29
< 3 ($k = 40$)	2 ± 0,2 (1-2)	0,78 (0,64-0,93)	46,84	0,10	0,25 (0,11-0,39)	25,05	0,05
Periodização							
Sim ($k = 23$)	-	0,74 (0,49-0,98)	65,62	0,20	0,39 (0,26-0,52)	73,52	0,40
Não ($k = 62$)	-	1,40 (1,16-1,64) §	84,26	0,73	0,39 (0,08-0,59)	47,04	0,20
Intervalos de descanso (s)							
≤ 90 ($k = 37$)	72 ± 19 (30-90)	1,29 (1,01-1,54)	81,16	0,64	0,45 (0,26-0,58)	59,33	0,24
> 90 ($k = 23$)	134 ± 24 (120-180)	1,17 (0,92-1,40)	79,48	0,55	0,40 (0,23-0,60)	61,72	0,33
Qualidade do estudo							
> 7 ($k = 43$)	9 ± 2 (8-12)	1,42 (1,24-1,67)	82,66	0,69	0,50 (0,29-0,71)	73,87	0,35
≤ 7 ($k = 42$)	6 ± 0,5 (5-7)	1,33 (1,09-1,55)	88,75	0,77	0,26 (0,14-0,38)	56,39	0,40

* diferença significativa vs. repetição com falha ($P = 0,02$); □ diferença significativa vs. > 3 séries ($P = 0,01$); † diferença significativa vs. ≤ 12 semanas ($P = 0,002$); ‡ diferença significativa vs. < 3 dias/semana ($P < 0,001$); # diferença significativa vs. < 3 dias/semana ($P = 0,04$); § diferença significativa vs. ensaios com periodização ($P < 0,001$); DP = Desvio Padrão; IC = Intervalo de Confiança.

Risco de viés, análise de sensibilidade e heterogeneidade

A análise de sensibilidade não mostrou interferência nos resultados. O risco de viés de publicação foi identificado para dados de força em ensaios incluindo jovens (interceptação de *Egger* = 2,65; $P < 0,001$) e participantes mais velhos (interceptação de *Egger* = 3,42; $P < 0,001$) (Figuras 2 e 3, respectivamente). O risco de viés na análise da massa muscular foi detectado em testes com jovens (interceptação de *Egger* = 2,06; $P = 0,008$), mas não nas amostras dos mais velhos (interceptação de *Egger* = 1,08; $P = 0,16$) (Figuras 4 e 5, respectivamente). A correção de Duval e Tweedie's não alterou a significância do TE calculado para força e massa muscular. A heterogeneidade usando o modelo de efeitos aleatórios foi alta para os resultados de força em jovens ($I^2 = 81,7\%$; $P < 0,001$) e amostras dos mais velhos ($I^2 = 82,7\%$; $P < 0,001$) e moderada para massa muscular em ensaios, incluindo amostras jovens ($I^2 = 70,4\%$; $P < 0,001$) e mais velhos ($I^2 = 57,9\%$; $P < 0,001$).

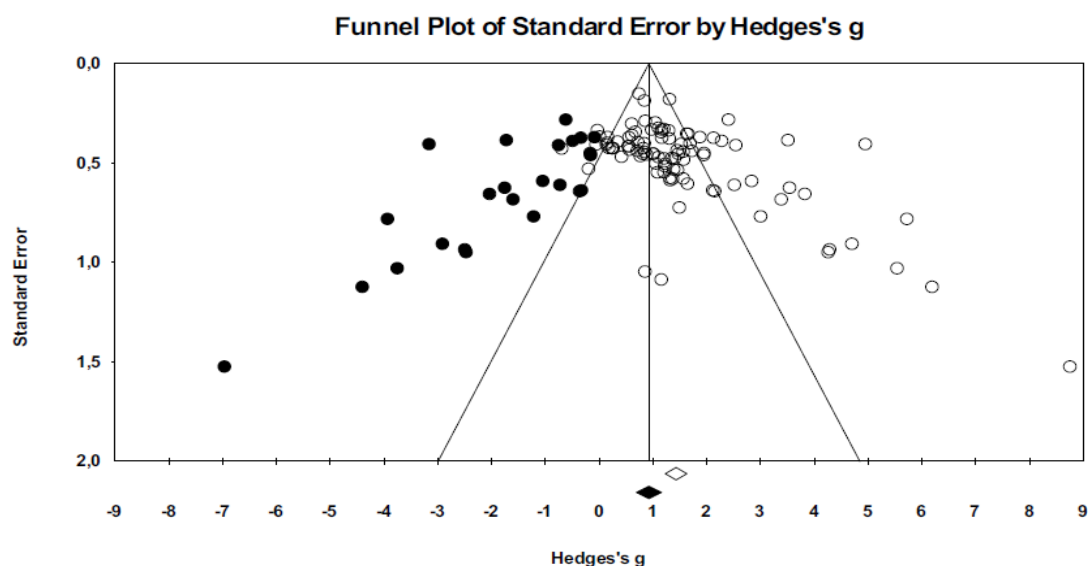


Figura 2. Risco de viés para força muscular em ensaios com sujeitos jovens (*Egger's* intercept = 2,65; $P < 0.001$); círculos pretos = estudos cortados ($n = 24$)

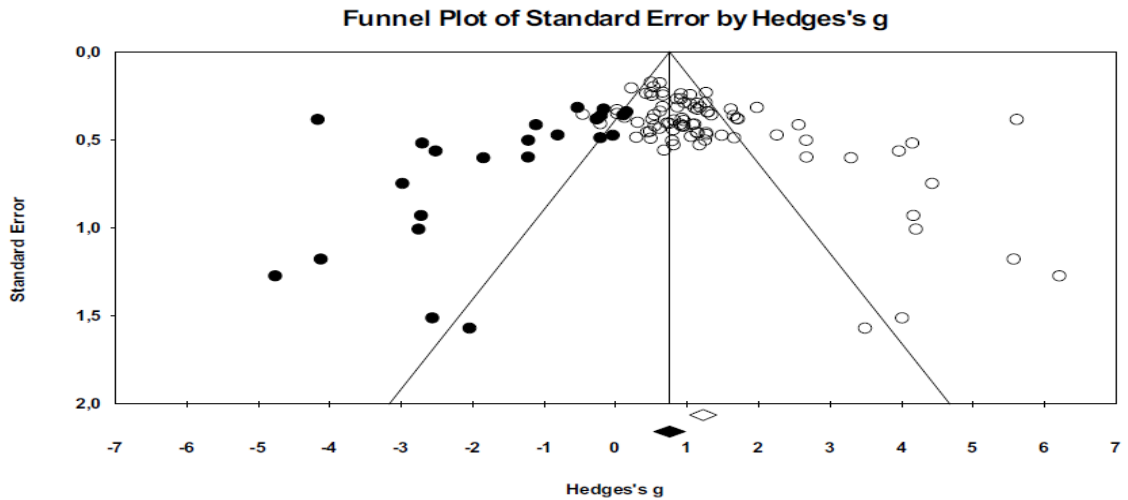


Figura 3. Risco de viés para força muscular em ensaios com sujeitos mais velhos (Egger's intercept = 3,42; $P < 0.001$); círculos pretos = estudos cortados ($n = 24$)

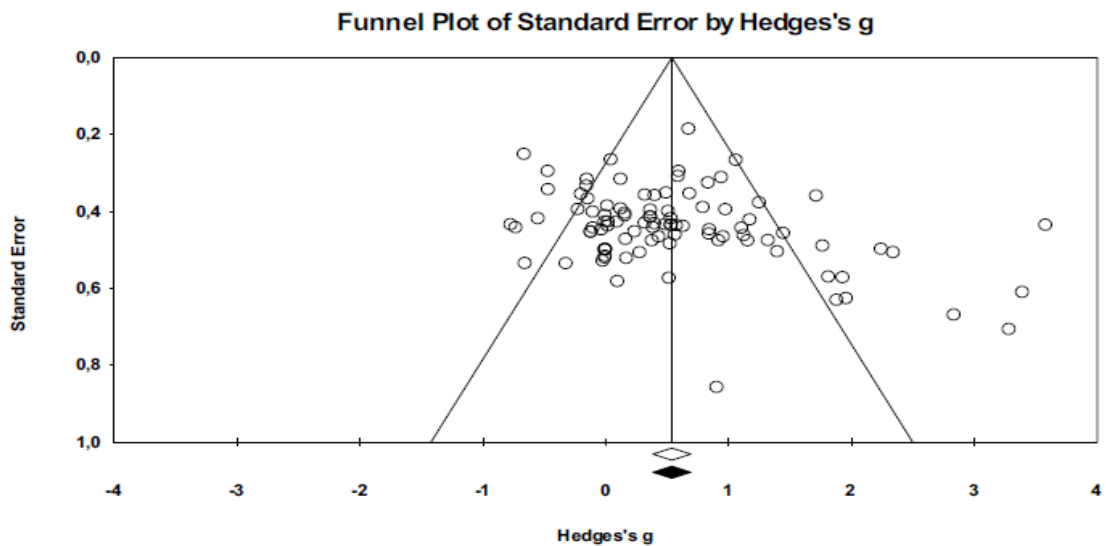


Figura 4. Risco de viés para massa muscular em ensaios com sujeitos jovens (Egger's intercept = 2,06; $P < 0.008$); nenhum estudo cortado.

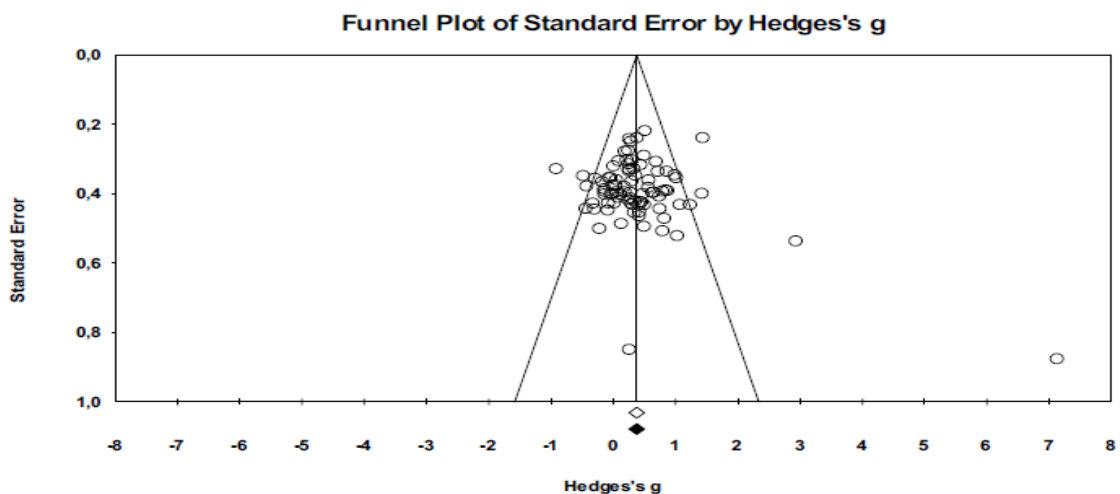


Figura 5. Risco de viés para massa muscular em ensaios com sujeitos mais velhos (Egger's intercept = 1,08; $P < 0.16$); nenhum estudo cortado.

Recomendações mínimas e melhores de TR para aumentar força e massa muscular

A Tabela 3 ilustra as recomendações mínimas e melhores de TR para aumentar a força e massa muscular em jovens e adultos mais velhos. As recomendações mínimas foram estabelecidas de acordo com a maior prevalência de cada categoria de moderador mostrando TE significativo conforme relatado pelos ensaios incluídos. Na maioria dos casos, a prevalência foi superior a 80%. As exceções foram a carga (71%) e séries/exercícios (72%) em ensaios com amostras jovens. Além dessas informações, as melhores recomendações consideraram diferenças significativas no TE entre categorias de moderadores (Tabelas 1 e 2).

Tabela 3. O mínimo e melhores recomendações de variáveis de treinamento resistido para melhorar a força e massa muscular em jovens e indivíduos mais velhos com base no cálculo do TE ($k=96$).

Variável	Recomendação mínima		Melhor recomendação	
	Adultos jovens	Adultos mais velhos	Adultos jovens	Adultos mais velhos
Carga (% 1-RM)	65 a 85%	60 a 80%	65 a 85%	60 a 80%
Repetições (N)	8 a 12	8 a 15	8 a 12	8 a 15
Repetições (falha)	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Não
Séries/exercício (N)	3 a 4	1 a 3	3 a 4	3
Intervalos descanso (s)	60 a 150	60 a 120	60 a 150	60 a 120
Semanas (N)	6 a 24	6 a 24	6 a 24	>12
Frequência (dias/sem)	2 a 3	2 a 3	2 a 3	≥ 3
Periodização	Indiferente	Indiferente	Não	Não

RM = repetição máxima; N = número; s = segundos; sem = semana

3.4 Discussão

A presente meta-análise abordou os efeitos moderadores de recursos selecionados do TR sobre a melhoria da força e hipertrofia muscular em jovens e em adultos mais velhos saudáveis. Em geral, TE de força e massa muscular por moderador dentro dos grupos de idade foram equivalentes ao TE geral calculado para esses resultados. No entanto, a análise do moderador estratificado ratificou a hipótese de que ótimas melhorias em indivíduos jovens e mais velhos resultariam de diferentes combinações dos componentes de treinamento.

Em resumo, os ganhos em ambos os grupos de idade ocorreram em resposta a diferentes arranjos de intensidade (carga, repetições e intervalos de descanso) e volume (séries/exercício, frequência e duração), mas o papel específico dos fatores do TR parece estar relacionado à idade. No entanto, nossos dados desafiaram a influência relativa das variáveis de TR geralmente reconhecidas, favorecendo o aumento da força e massa muscular, conforme maiores as cargas e número de séries e o uso de rotinas periodizadas. Vale ressaltar que as orientações atualmente identificadas não foram afetadas pela qualidade do estudo, independente da faixa etária.

Algumas particularidades metodológicas de nosso estudo consistem em vantagens em relação a meta-análises anteriores. Primeiro, devido ao relacionamento próximo entre as mudanças na força e na massa muscular, elas foram analisadas simultaneamente, enquanto meta-análises anteriores examinaram esses resultados isoladamente^{35,36,44}. Além disso, TE para força e massa muscular muitas vezes são calculados usando diferentes ensaios e amostras, limitando nossa compreensão das adaptações musculares estruturais, contribuindo para melhoria da força. Além disso, estendemos o atual conhecimento, analisando vários moderadores potenciais de mudanças na força e massa muscular. Estudos anteriores focaram em moderadores únicos, como cargas³⁶, duração de repetição⁵⁴, frequência semanal^{33,55} e intervalos de descanso³³, ou periodização⁵⁶, o que pode levar a interpretações errôneas, já que os fatores do TR têm influência mútua. Nós encontramos apenas duas meta-análises examinando os efeitos de múltiplos fatores do TR na força⁴⁰ e massa muscular³⁴.

Outra questão importante foi à inclusão dos grupos de controle sem exercício, o que foi negligenciado por meta-análises anteriores. A maioria dos estudos anteriores fez comparações pré vs. pós treinamento ou entre diferentes intervenções de TR. No único estudo localizado contrastando intervenção de TR e grupos de controle, a análise do moderador não foi realizada⁵⁷ (Grgic et al., 2020). A falta de grupos controle sem exercício na estimativa do TE é problemático quando dois ou mais protocolos de TR são aplicados, um deles não pode ser considerado como um controle para os outros, pois diferenças entre os grupos quanto a indivíduos responsivos e não responsivos são desconhecidos. No presente estudo, apenas ensaios controlados foram incluídos para evitar viés devido a potenciais diferenças na responsividade ao TR⁵⁸, o que pode ajudar a explicar algumas das descobertas discrepantes em meta-análises anteriores.

As cargas geralmente são reconhecidas como determinante-chave de ganhos de força e hipertrofia devido ao TR^{5,59,60}. Curiosamente, nós encontramos TE semelhantes para força e massa muscular em todas as categorias de carga, independentemente da faixa etária. Meta-análises anteriores demonstraram extensivamente que os ganhos na força máxima seriam favorecidos pelo treinamento de alta vs. baixa carga, tanto em jovens^{36,40} ou adultos mais velhos⁶¹. No entanto, pelo menos em um estudo com jovens⁶² e outro com adultos mais velhos⁴¹, o papel moderador da carga inicial sugeriu-se que os ganhos de força dependem de outros fatores de TR. No que diz respeito à hipertrofia, as evidências atuais não suportam a carga de TR como um fator moderador^{36,61}. Foi sugerido que aumentos semelhantes na massa muscular resultariam da combinação de altos e baixos volumes de TR⁶³. Nossos dados mostram a influência significativa do volume relacionado a fatores de TR no TE calculados para força e massa muscular reforçando essa premissa, especialmente nas amostras com indivíduos mais velhos.

No entanto, é importante notar que nossas descobertas podem ter sido influenciadas por questões metodológicas. Nós não adotamos exclusivamente medidas de força máxima, como resultados de força muscular (exemplo: teste de 1-RM), conforme encontrado em outras meta-análises^{43,64}. Se esta opção ampliou o número de ensaios incluídos, o viés nos cálculos de TE pode ter resultado de testes de força mistos, usando unidades de medidas

diferentes, já que o aumento relativo em um teste pode ser diferente em relação a outro. Os pontos de corte usados para definir cargas baixas e altas em estudos anteriores também podem ser potencialmente confusos, enquanto alguns estudos aplicaram classificações semelhantes às nossas para definir carga elevada (70% 1-RM)⁴¹, outros usaram 60% 1-RM⁵⁵ ou mesmo 80% e 45% 1-RM para cargas altas e baixas, respectivamente⁶¹.

A faixa de carga aplicada nos ensaios incluídos no presente estudo foi estreita. A maioria dos estudos com intensidades abaixo de 70% de 1-RM usaram cargas entre 50-60% de 1-RM, enquanto em apenas oito ensaios as cargas estavam abaixo de 50% de 1-RM. Esta característica limitou as chances de detectar diferenças no TE entre categorias. Por essas razões, estudos adicionais são necessários para estabelecer o papel específico da carga de TR no ganho concomitante de força e massa muscular.

O volume do TR pode ser alterado manipulando o número de repetições/ séries ou séries/treino. No presente estudo, um número excessivo de séries (> 3 séries/exercício) e repetições até a falha deveu-se o TE encontrado para força em indivíduos mais velhos. Figueiredo et. al⁶⁵ observaram que a hipertrofia em indivíduos destreinados seria favorecida por um número maior de séries/semana/grupo muscular. No entanto, uma recente meta-análise mostrou que séries excessivas/exercícios podem afetar negativamente os ganhos de massa muscular³⁴. Tem sido proposto que a taxa de disparo das unidades motoras seria prejudicada pela fadiga⁶⁶. Nossos resultados são consistentes com a premissa de que os indivíduos mais velhos exibem menor tolerância à fadiga em comparação com os jovens, sugerindo um efeito de moderação dessa variável relacionada à idade nos ganhos de força. No entanto, deve-se notar que a maioria dos ensaios com indivíduos mais velhos aplicaram repetições sem falha (59 de 85 ensaios), e o viés no TE pode resultar desta discrepância. Encontramos uma única meta-análise abordando o papel desta variável específica, incluindo oito ensaios com amostras de níveis de treinamento diferentes⁶⁷. Embora ambos os modelos tenham sido capazes de induzir ganhos na força muscular, o TE foi maior nas repetições sem falha vs. falha, o que está de acordo com nossos dados.

A frequência semanal e a duração do treinamento também são componentes do volume do TR. Ganhos de força otimizados em indivíduos

mais velhos ocorreram quando o TR foi realizado por pelo menos três dias/semana, e as intervenções duraram mais de 12 semanas. Uma maior frequência de treinamento também influenciou as respostas hipertróficas desta faixa etária. Meta-análises anteriores com populações mistas sugeriu que quando o volume do TR é igualado, não havendo efeito significativo de frequência do TR nos ganhos de força, ao passo que um ligeiro efeito favorável da frequência semanal parece ocorrer no TR não igualado ao volume para força^{33,37} ou hipertrofia⁵⁵. Grgic, Schoenfeld, Davies et. al³³ foram os únicos que realizaram uma análise estratificada de acordo com os subgrupos de idade. Um efeito significativo da frequência de treinamento foi detectado em adultos jovens, mas não entre adultos de meia-idade e idosos. No geral, essas descobertas sugerem que, no que diz respeito a força muscular, os adultos mais jovens seriam mais responsivos ao TR realizado com maior frequência semanal do que os adultos mais velhos. Por outro lado, no que se refere à massa muscular, o indivíduo pode escolher livremente sua frequência semanal, desde que o volume de TR seja igualado. Nossos dados discordam dessas premissas, sugerindo que os ganhos de força e massa muscular em idosos seriam favorecidos por frequências maiores, enquanto em adultos jovens esse fator estaria subordinado a outros fatores de TR.

A duração da intervenção do TR é aceita como um dos principais determinantes de ganhos de força. Nossos dados estão de acordo com a premissa de que intervenções mais longas favorecem ganhos de força, particularmente entre indivíduos mais velhos^{34,35,41}. Silva et. al⁴¹ afirmaram que qualquer combinação de variáveis de TR seria capaz de melhorar a força muscular em idosos, desde que a duração do treinamento seja longa o suficiente. Algumas meta-análises examinaram o papel da duração do TR na hipertrofia. Borde et. al³⁵ não observaram efeitos significativos deste moderador nas mudanças na massa muscular em indivíduos mais velhos, o que está de acordo com nossos achados. Os dados para amostras jovens são mistos, e relações positivas entre duração de TR e hipertrofia foram relatadas em homens jovens³⁴, mas não em mulheres⁶⁴.

A periodização tem sido defendida como uma estratégia para maximizar os ganhos de força e hipertrofia⁵. Nossos dados discordam dos posicionamentos que recomendam uma progressão gradual de cargas,

repetições e frequências semanais^{5,59,68,69}. Independentemente da faixa etária, as estimativas quantitativas dos efeitos sobre a força foram maiores quando as rotinas não foram periodizadas, enquanto a periodização não influenciou mudanças na massa muscular. Nossos resultados sugerem que as rotinas que começam com altas cargas seriam mais eficientes no aumento da força do que aquelas que aumentam as cargas ao longo do tempo. No entanto, o número relativamente pequeno de ensaios periodizados vs. não periodizados podem ter influenciado o TE encontrado para força. Dos 119 ensaios atualmente examinados, apenas 36 aplicaram TR periodizado. Além disso, outros fatores também devem ser considerados em estudos futuros. Por exemplo, as cargas aplicadas em planos não periodizados eram geralmente maiores do que a faixa de 40–50% de 1-RM sugerida para adultos mais velhos ou não treinados^{5,69}. Esta faixa de carga moderada estava presente apenas nos TR periodizados - consulte APÊNDICE 2.

Em qualquer caso, as evidências sobre os efeitos da periodização sobre ganhos de força permanecem controversos. Williams et. al⁵⁶ demonstraram que as melhorias em 1-RM após a periodização do TR foi moderadamente maior vs. planos não periodizados, particularmente em participantes não treinados e após intervenções prolongadas. Pelo contrário, algumas meta-análises falharam em detectar diferenças devido à periodização nos ganhos de força⁷⁰ ou hipertrofia⁷¹. Esses estudos revisaram ensaios comparando diferentes modelos de periodização, enquanto a presente meta-análise incluiu comparações vs. grupos de controle sem exercício. Esta particularidade metodológica influenciou o número de ensaios meta-analisados, enquanto 119 ensaios foram incluídos no presente estudo, os trabalhos de Williams et. al⁵⁶ e Harries et. al⁷⁰ examinou apenas 18 e 15 ensaios, respectivamente.

Os TEs de força e massa muscular não foram influenciados pelos intervalos de recuperação entre as séries e exercícios, independente do grupo de idade. Este achado está de acordo com uma revisão sistemática anterior⁴⁴, indicando que os intervalos de descanso dentro do TR para melhorar a força em indivíduos não treinados podem variar de 60 a 120 segundos. No que se refere aos efeitos sobre a massa muscular, o papel dos intervalos de descanso é incerto. Em uma revisão sistemática Henselmans e Schoenfeld⁷² verificaram

que a maioria dos poucos estudos abordando este tópico não conseguiram demonstrar um efeito significativo deste fator no crescimento muscular. No geral, não há base para apoiar a ideia de que o treinamento para hipertrofia muscular requer intervalos de descanso mais curtos do que o treinamento para o desenvolvimento de força. Nossos dados reforçam a premissa de que, pelo menos em indivíduos destreinados, a duração dos intervalos de descanso é secundária a outros fatores do TR, não sendo determinante dos ganhos de força e massa muscular.

Em termos práticos, nossos resultados permitem sugerir o mínimo e as melhores combinações de fatores de TR para a melhoria da força e massa muscular em jovens e adultos mais velhos, que pode ser considerado como a principal contribuição do presente estudo. Recomendações disponíveis para populações jovens^{5,60,69} e adultos mais velhos^{59,68} propõem que o TR seja realizado 2-3 dias/semana, incluindo 2-4 séries de 8-12 repetições por exercício, cargas correspondentes a 40-50% de 1-RM (sedentário) ou 60-70% de 1-RM (iniciante) e intervalos de descanso de 2-3 minutos. Em geral, nossos dados concordaram com essas recomendações. No entanto, os TE foram maiores em programas não periodizados vs. programas periodizados em 64% nos jovens e 90% nos indivíduos mais velhos. Além disso, em ensaios com indivíduos mais velhos, o TE de ganhos de força foi maior quando o TR foi realizado pelo menos três dias/semana (~ 118%), durante mais de 12 semanas (~ 61%), e aplicando até três séries / exercícios (~ 44%). Em relação à massa muscular em indivíduos mais velhos, o TR realizado no mínimo 3 dias/semana produziu o dobro do TE obtido para as frequências mais baixas. Essas descobertas sugerem que diferentes combinações de intensidade e volume são igualmente capazes de provocar ganhos de força e hipertrofia em indivíduos jovens. No entanto, enquanto melhorias em indivíduos mais velhos foram favorecidas por maior frequência semanal e duração do treinamento, os aumentos na força foram menores quando a quantidade de trabalho muscular durante as sessões de TR era excessiva, como refletido por repetições até a falha e séries/exercícios. Esta é uma informação importante e original para profissionais que planejam programas de TR para grupos mais velhos.

Esta meta-análise tem limitações. Em primeiro lugar, os estudos incluídos tiveram diferentes métodos e intervenções. No entanto, os

moderadores não diferiram muito entre os estudos. Além disso, os ensaios incluídos forneceram dados sobre força e massa muscular por meio de diferentes tipos de testes e sua qualidade (por exemplo, erro padrão de medição) não foi considerado na análise. Portanto, pode ter ocorrido subestimação ou superestimação das mudanças. Além disso, alguns estudos apresentaram mais de uma medida de força e/ou hipertrofia. Neste caso, optamos por calcular um único resultado recolhido de todas medidas, evitando vieses devido à escolha arbitrária de uma determinada medida. Outra limitação resulta de diferenças metodológicas em estudos que não puderam ser controlados na presente análise. Por exemplo, os ensaios de TR careciam de padronização em relação a avaliação das mudanças na força e massa muscular. Alguns estudos mediram a força em uma região e massa muscular em outra; alguns exercícios aplicados para todo o corpo avaliaram a força e hipertrofia em regiões específicas, enquanto outros fizeram exatamente o oposto. Infelizmente, não foi possível analisar os dados levando em conta essas diferenças.

Concluimos que diferentes combinações de fatores de intensidade e volume relacionados ao TR foram capazes de melhorar a força e a massa muscular em jovens e adultos mais velhos destreinados. No entanto, seu papel moderador parece estar relacionado à idade. Nossos dados desafiam o papel moderador de fatores geralmente considerados como maximização de ganhos de força e hipertrofia, particularmente cargas, número de séries/exercícios e periodização. Componentes do volume de TR, como séries/exercícios, frequência semanal e a duração do treinamento moderou os ganhos de força e hipertrofia em indivíduos mais velhos, mas não em jovens. Em testes incluindo sujeitos mais velhos, os ganhos de força foram favorecidos por maior frequência e duração, embora prejudicados por um volume excessivo nas sessões de TR, refletido por repetições até a falha ou séries/exercícios.

Conflito de interesse

Nenhum potencial conflito de interesse foi relatado pelos autores.

Financiamento

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) sob número de outorga [304051/2019-5].

4 ESTUDO 2

Treinamento resistido, hipertrofia e força em indivíduos saudáveis: uma revisão guarda-chuva de revisões sistemática com meta-análise

Resumo

Revisar revisões sistemáticas com meta-análises é um procedimento cientificamente importante para uma análise qualitativa de trabalhos publicados. Assim, os objetivos deste estudo foram revisar sistematicamente as evidências meta-analíticas que examinaram os efeitos do treinamento resistido na força e / ou hipertrofia de adultos saudáveis e abordar a qualidade das evidências meta-analíticas (CRD42020188928). Foram pesquisados em bancos de dados eletrônicos revisões sistemáticas com meta-análises sobre treinamento resistido em força e / ou massa muscular de adultos jovens e saudáveis publicadas em inglês. As buscas resultaram no total de 1915 referências, onde 19 referências foram incluídas seguindo os critérios adotados. As meta-análises selecionadas investigaram um total 587 ensaios clínicos aleatórios (ECAs) - 159 avaliaram força, 160 a hipertrofia e 268 ambos, envolvendo 12.375 indivíduos de ambos os sexos. Das 19 meta-análises selecionadas, 31,6% verificaram o tamanho do efeito (TE) na força muscular 31,6% na hipertrofia. Um total de 36,8% de meta-análises verificou o TE de ambas variáveis (força e hipertrofia). Correlações moderadas foram observadas na avaliação da qualidade AMSTAR 2 com avaliação da qualidade da evidência (0,64; $P = 0,003$) e com ano de publicação dos estudos (0,57; $P = 0,03$). A avaliação GRADE verificou de muito baixa a alta qualidade de evidência. Observamos revisões sistemáticas com meta-análise de razoável a excelente qualidade metodológica e muito baixa a alta qualidade de evidências, contudo, registrar o protocolo e seguir um plano padronizado de relatórios para meta-análises são fundamentais para a melhorar a qualidade dessas pesquisas.

PALAVRAS-CHAVE: hipertrofia; exercício resistido; força muscular; revisão sistemática com meta-análise.

4.1 Introdução

O aumento e a manutenção da força e massa muscular estão diretamente relacionados à saúde e qualidade de vida de adultos saudáveis, reduzindo as chances de serem acometidos por diversas doenças crônicas, como as cardiovasculares⁶, diabetes tipo 2^{7,73}, hipertensão arterial⁷⁴, osteoporose⁸ e câncer⁷⁵. Assim, o treinamento resistido tem sido sugerido para integrar um programa de exercícios físicos para a manutenção e / ou melhoria da saúde⁷⁶.

A literatura científica apresenta diversos ensaios clínicos aleatórios (ECAs) sobre modelos de treinamento para aumentar a força e / ou massa muscular em adultos saudáveis. Porém, como existem diferentes possibilidades de combinação das variáveis de prescrição do treinamento resistido (carga, número de séries, número de repetições, esforço máximo ou submáximo em cada série, intervalo de descanso entre as séries, número de exercícios, frequência e duração total do treinamento), a maioria dos ECAs costumam analisar os resultados do treinamento de resistido manipulando apenas uma variável de prescrição. Nesse contexto, várias revisões sistemáticas com meta-análise foram publicadas com o objetivo de integrar os resultados dos diferentes ECAs e explicar possíveis relações entre variáveis de treinamento e resultados de força⁷⁷, hipertrofia³⁴ ou ambos⁷⁸ em adultos saudáveis. Devido a uma análise integrada de diferentes resultados, os desfechos de uma meta-análise têm grande importância científica, tornando-se referência tanto na aplicação prática quanto na realização de novos experimentos⁷⁸.

No entanto, os resultados dos estudos de revisão sistemática com meta-análise nem sempre são consistentes. Por exemplo, Ralston et. al⁷⁹ e Grgic et. al³³ realizaram meta-análises sobre o efeito da frequência semanal do TR nos ganhos de força e foram publicadas online com uma diferença de

apenas 6 meses. Enquanto Ralston et. al⁷⁹ não identificaram relação entre frequências semanais mais altas e mais baixas no ganho de força, Grgic et al³³ concluíram que frequências mais altas de treinamento causam maiores aumentos na força. A explicação para esses resultados pode estar associada a itens de maior ou menor qualidade metodológica que compõem uma meta-análise, como busca e critérios de inclusão / exclusão de artigos, viés de publicação, análise de sensibilidade, heterogeneidade, exploração de heterogeneidade e modelo do cálculo de tamanho do efeito³⁸. Nesse sentido, a qualidade metodológica de uma meta-análise pode ser definida como a probabilidade de que o desenho de uma revisão sistemática possa gerar resultados imparciais. Além da qualidade metodológica, é importante classificar a qualidade das evidências dos estudos com meta-análise por meio da classificação do desenho do estudo, risco de viés, imprecisão, inconsistência e magnitude do efeito³⁹.

Nesse contexto, revisar revisões sistemáticas com meta-análise é um procedimento cientificamente importante para uma análise qualitativa de trabalhos publicados. Até onde sabemos, não identificamos estudos que revisaram meta-análises sobre força / hipertrofia muscular em adultos jovens. Nesse sentido, os objetivos deste estudo foram: 1) revisar sistematicamente as evidências meta-analíticas disponíveis que examinaram os efeitos do treinamento de resistido na força e / ou hipertrofia de adultos saudáveis; 2) abordar a qualidade metodológica, qualidade da evidência, pontos fortes e limitações das evidências meta-analíticas.

4.2 Métodos

Este estudo foi registrado no *International Prospective Register of Systematic Review* (PROSPERO) sob o número CRD42020188928 e foi conduzido consistentemente de acordo com os padrões do Relatório de Itens Preferenciais para Revisões Sistemáticas e Meta-análises – PRISMA⁴⁵.

Critérios de elegibilidade

Para o presente estudo, foram incluídas revisões sistemáticas com meta-análise sobre treinamento resistido em força e / ou massa muscular de adultos jovens e saudáveis publicadas em inglês. Os critérios de inclusão tiveram que satisfazer cinco critérios pré-estabelecidos: estudos de revisão sistemática com meta-análise de ECAs; adultos saudáveis (> 18 anos) como amostra; força muscular e / ou hipertrofia como desfecho (s) primário (s); e teve intervenção de treinamento de resistido. Não foram incluídos estudos com indivíduos com mais de 50 anos, atletas profissionais ou com análise de força / hipertrofia sob intervenção de medicamentos, suplementos dietéticos, dietas controladas ou recursos ergogênicos.

Bases de dados e estratégia de busca

As referências foram pesquisadas nas bases de dados *PubMed*, *Web of Science*, *SportDiscus*, *Scopus* e *Cochrane* até setembro de 2021. Uma combinação de termos relacionados ao treinamento de resistido e revisão sistemática / meta-análise usando a estratégia de busca com operadores booleanos. A estratégia de busca usada foi a seguinte:

((“Resistance Training”[Title/Abstract] OR “Resistance exercise”[Title/Abstract] OR “Strength Training”[Title/Abstract] OR “weight training”[Title/Abstract] OR “Strength exercise”[Title/Abstract] OR “Weight Lifting”[Title/Abstract]) AND (“Meta-Analysis” [Publication Type] OR meta-analysis[Title/Abstract] OR metaanalysis[Title/Abstract] NOT (cancer[Title/Abstract] OR Parkinson [Title/Abstract] OR palsy[Title/Abstract] OR “spinal cord”[Title/Abstract] OR hypertension[Title/Abstract] OR COPD[Title/Abstract] OR HIV[Title/Abstract] OR AIDS[Title/Abstract] OR diabetes[Title/Abstract] OR osteoarthritis[Title/Abstract] OR arthritis[Title/Abstract] OR stroke[Title] OR kidney[Title] OR “heart failure” [Title])).

Extração dos dados

Os estudos incluídos foram classificados pelos critérios de qualidade AMSTAR 2⁸⁰ e também pela pontuação total obtida. De cada estudo foram extraídos: lista de autores, ano de publicação; o número de estudos

incluídos; o número de participantes; os tamanhos de efeito combinados com os valores de IC e *P* de 95%; variáveis significantes na força (quando aplicável); variáveis significantes na hipertrofia (quando aplicável). Os estudos foram pesquisados e analisados de forma independente por dois autores, e todas as divergências dos critérios de inclusão / exclusão foram discutidas e resolvidas por consenso. Todos os dados foram extraídos e inseridos em planilha Excel criada especificamente para essa finalidade.

Qualidade metodológica das meta-análises

As meta-análises incluídas foram analisadas pelo questionário *Assessment of Multiple Systematic Reviews (AMSTAR 2)*⁸⁰, que permite a análise de estudos aleatórios e não aleatórios. A qualidade dos estudos foi realizada por dois avaliadores independentes. Itens não consensuais que pudessem comprometer a classificação da qualidade dos estudos foram discutidos em conjunto até que se chegasse a 100% de concordância.

Qualidade das evidências

Para avaliar a qualidade da evidência, foi utilizada a versão modificada *Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation (GRADE)*³⁹. Para efeitos desta revisão, foram examinados os seguintes aspectos GRADE: 1) risco de viés (determinado pela qualidade dos estudos primários, conforme avaliado nas revisões originais); 2) inconsistência (determinada por variáveis como a variação nos efeitos entre os estudos incluídos e a sobreposição dos intervalos de confiança entre os estudos); 3) evidências indiretas (determinadas pela generalização dos resultados ao considerar as populações de estudo incluídas na pesquisa primária); 4) imprecisão (determinada pelo tamanho total da amostra na análise e a largura do intervalo de confiança do tamanho do efeito combinado); e 5) viés de publicação (determinado se o tamanho do efeito do maior estudo em cada análise foi menor do que a estimativa combinada da meta-análise e examinando a assimetria da figura de funil). Com base nesses critérios, a evidência meta-analítica foi classificada como alta, moderada, baixa ou muito

baixa. A avaliação GRADE foi realizada de forma independente por dois pesquisadores e eventuais discordâncias foram resolvidas em conjunto.

Análise estatística

A correlação de *Pearson* foi entre o escore de qualidade da evidência, qualidade metodológica total, ano de publicação, número de ECAs e número de indivíduos. Esses dados foram analisados no software Statistica 10.0 (Statsoft, Tulsa, Ok, EUA).

4.3 Resultados

As buscas resultaram em 668 referências na base *Pubmed*, 1182 referências na base *Web of Science* e 65 referências na base *Cochrane*, totalizando 1915 referências. Dessas 958 foram excluídas após revisão de título e resumo e 859 por duplicidade. Assim, 98 referências foram analisadas pelo texto completo, sendo excluídas 79 referências por não atenderem aos critérios de inclusão. De acordo com os critérios adotados, 19 referências foram incluídas na revisão sistemática (Figura 1).

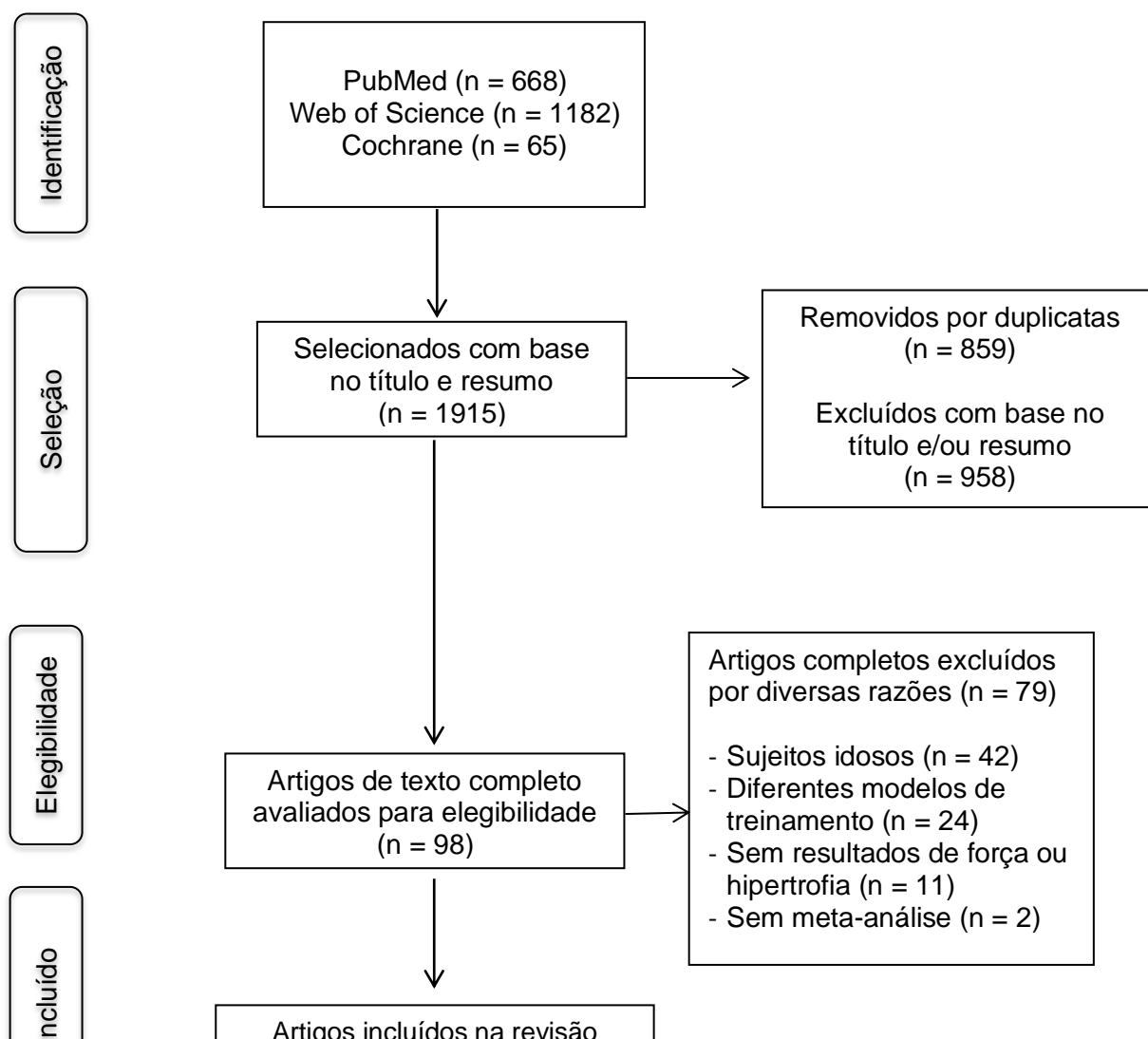


FIGURA 1. Diagrama de fluxo para inclusão das meta-análises que foram analisadas.

Características das meta-análises

A Tabela 1 apresenta as características gerais das meta-análises incluídas nesta revisão de revisões sistemáticas e a avaliação da qualidade metodológica verificada pelo *checklist* AMSTAR 2. As meta-análises selecionadas investigaram um total 587 ECAs (159 avaliaram força, 160 a hipertrofia e 268 ambos), envolvendo 12.375 indivíduos treinados e não treinados. Desse total de sujeitos, pesquisas foram conduzidas exclusivamente com 1.285 mulheres, 2.634 incluindo exclusivamente homens, e 8.456 participantes em estudos que envolveram amostras em ambos os sexos, não sendo possível quantificar o número exato de homens e mulheres, pois os relatos não forneciam essa informação de maneira detalhada.

Das 19 meta-análises, 6 (31,6%) verificaram o TE na força muscular e 6 (31,6%) na hipertrofia. Apenas 7 (36,8%) meta-análises verificaram o TE de ambas as variáveis (força e hipertrofia). As avaliações da qualidade metodológica verificada pelo *checklist* AMSTAR 2 pontuaram de 38% a 75% do máximo de 16 pontos. Duas revisões foram classificadas como de excelente qualidade, 9 de moderada qualidade, e 8 revisões sistemáticas com meta-análise classificaram-se como de razoável qualidade metodológica. Entre as revisões selecionadas para participar deste estudo, nenhuma foi considerada de baixa qualidade metodológica

Tabela 1. Características gerais das meta-análises incluídas.

Estudo	Tema	Número de estudos	Amostra	TE Força (95%CI) e valor de P	TE Hipertrofia (95%CI) e valor de P	Efeitos moderadores sobre o TE	AMSTAR (% de itens completos)
Moran et al., 2018 ⁷⁷	Efeito do TR sobre a força muscular e identificar falhas na literatura	11	217; mulheres atletas e população geral	0,54 (0,23 a 0,85); P=0,0008	Não avaliado	Programas de treinamento que duraram 8 semanas, com 2 sessões semanais demonstraram maiores efeitos	44
Benito et al., 2020 ³⁴	Efeito do TR sobre a hipertrofia muscular de corpo inteiro	111	1927; homens saudáveis	Não avaliado	1,53 (1,30 a 1,76); P<0,001	TR tem efeito significativo na melhora da hipertrofia. As séries excessivas por treino afetam negativamente o ganho de massa muscular	63
Roberts et al., 2020 ⁸¹	Diferença entre os sexos no TR	50	256; ambos os sexos, população geral	Membro superior -0,60 (-0,93 a -0,26) P=0,02 Membro inferior - 0,21 (-0,54 a -0,12); P=0,20	0,07 (-0,09 a 0,23); P=0,31	O efeito moderado favoreceu as mulheres para o aumento da força na parte superior do corpo. Não houve diferença na hipertrofia entre homens e mulheres	63
Ralston et al., 2018 ⁷⁹	Efeito da frequência semanal do treinamento sobre o ganho de força	12	299; ambos os sexos, população geral	1,14 (-0,06 a 0,24); P=0,25	Não avaliado	O aumento da frequência não apresentou relação sobre o ganho de força mesmo quando equalizado pelo volume de treinamento	63
Behm et al., 2017 ⁸²	Efeito do TR tradicional vs. TR de potência na força de homens e mulheres jovens	107	2434; ambos os sexos, atletas e população geral	1,14 (0,89 a 1,39); P=0,00001	Não avaliado	Efeitos pequenos a moderados foram apresentados sugerindo que o TR tradicional foi mais eficaz que o TR de potência para os ganhos de força	50
Grgic et al., 2017 ⁸³	Efeito do TR Linear e Ondulatório na massa muscular de homens e mulheres	13	417; ambos os sexos, população geral	Não avaliado	-0,02 (-0,25 a 0,21); P=0,848	Os efeitos dos dois modelos de periodização nas medidas de hipertrofia muscular foram semelhantes	44
Hagstrom et al., 2020 ⁶⁴	Efeito do TR na força e hipertrofia de mulheres jovens	24	912; mulheres jovens saudáveis	1,40 (1,03 a 1,76); P=0,001	0,54 (0,25 a 0,78); P=0,000	TR provoca um grande efeito na força e hipertrofia	69

Tabela 1. Continuação...

Estudo	Tema	Número de estudos	Amostra	TE Força (95%CI) e valor de P	TE Hipertrofia (95%CI) e valor de P	Efeitos moderadores sobre o TE	AMSTAR 2 (% de itens completos)
Harries et al., 2015 ⁷⁰	Efeito do TR Linear e Ondulatório na força muscular de homens e mulheres	14	510; homens e mulheres jovens saudáveis	Membro superior: 1,71 (-2,05 a 5,47); P=0,37; Membro inferior: 25,93 (-2.48 a 54,35) P=0,07	Não avaliado	Não houve diferenças da periodização linear vs ondulatória na força da parte superior ou inferior do corpo	56
Androulakis-Korakakis et al., 2020 ⁴³	Dose mínima do TR na força de homens jovens	6	186; homens jovens treinados	Membro superior: 3.05 (0,68 a 15,83); P=0,96; Membro inferior: 0,29 (8,51 a 26,46) P=0,80	Não avaliado	A dose mínima para aumentar a força é de 6-12 repetições máximas com alta intensidade e frequência semanal de 2 a 3 vezes	69
Krieger, 2010 ⁸⁴	Séries múltiplas vs. séries simples para hipertrofia muscular	8	281; homens e mulheres jovens saudáveis	Não avaliado	0,09 (-0,02 a 0,20); P=0,09	Múltiplas séries foram associadas a maior tamanho de efeito quando comparadas com série simples	44
Ralston et al., 2017 ⁸⁵	O efeito do volume do TR definido semanalmente no ganho de força	9	223; homens saudáveis	1,89 (-0,01 a 0,29); P=0,06	Não avaliado	O uso de média a alta séries semanais parecem ser mais efetivas para o aumento de força de homens treinados	69
Schoenfeld et al., 2015 ⁸⁶	Efeito da duração da repetição do TR na hipertrofia muscular	8	239; ambos os sexos, população geral	Não avaliado	0,37 (-0,16 a 0,90); P=0,73	Os resultados de hipertrofia parecem ser semelhantes com durando entre 0.5 a 8 segundos até a falha muscular concêntrica	38
Schoenfeld et al., 2017 ⁸⁷	Adaptações de força e hipertrofia entre baixa vs. alta carga de TR	21	630; ambos os sexos, população geral	0,58 (0,26 a 0,89); P=0,002	0,03 (-0,08 a 0,14); P=0,56	Os benefícios de força máxima são obtidos a partir do uso de cargas pesadas enquanto medidas de hipertrofia muscular foram similares entre as condições.	44
Schoenfeld et al., 2017 ⁸⁸	Efeitos hipertróficos de ações musculares concêntrica vs. excêntrica	15	334; ambos os sexos, população geral	Não avaliado	-0,267 (-0,5 a 0,01); P=0,057	Os resultados mostraram que as ações musculares excêntricas resultaram em um tamanho de efeito maior em comparação com ações concêntricas	50

Tabela 1. Continuação...

Estudo	Tema	Número de estudos	Amostra	TE Força (95%CI) e valor de P	TE Hipertrofia (95%CI) e valor de P	Efeitos moderadores sobre o TE	AMSTAR 2 (% de itens completos)
Grgic, 2020 ⁸⁹	Efeitos do TR de baixa vs alta carga na hipertrofia da fibra muscular: uma meta-análise	5	108; homens e mulheres jovens treinados e não treinados	Não avaliado	Fibras tipo I: 0,28 (-0,27 a 0,82); P=0,31 Fibras tipo II: 0,30 (-0,05 a 0,66); P=0,08	Não houve diferenças significativas entre o TR de baixa e alta carga na hipertrofia das fibras musculares do tipo I ou do tipo II	31
Grgic et al., 2021 ⁹⁰	Efeitos do TR realizado com repetição até a falha ou sem falha na força e hipertrofia muscular: uma revisão sistemática com meta-análise	15	394; sendo 238 homens jovens treinados e não treinados, e 156 mulheres não treinadas	- 0,09 (-0,22 a 0,05); P=0,19	0,22 (-0,11 a 0,55); P=0,15	O treinamento até a falha muscular não parece ser necessário para ganhos de força e hipertrofia muscular	50
Lopez et al., 2021 ⁹¹	Efeitos da carga de TR nos ganhos de força e hipertrofia muscular: revisão sistemática e rede de meta-análises	28	747; homens e mulheres adultos saudáveis	0,60 (0,38 a 0,82); P=0,00	0,12 (-0,06 a 0,29); P=0,24	Embora as melhorias na hipertrofia muscular pareçam ser independentes da carga, aumentos na força muscular são superiores em programas de RT de alta carga	75
Nunes et al., 2021 ⁹²	Qual a influência da ordem dos exercícios de TR nos ganhos de força e hipertrofia muscular? uma revisão sistemática com meta-análise	11	268; homens e mulheres treinados e não treinados	- 0,11 (-0,32 a 0,10); P=0,30	- 0,02 (-0,45 a 0,41); P=0,93	Aumentos na força são observados quando os maiores grupos musculares são treinados no início da sessão de TR. Para hipertrofia muscular a meta-análise indicou que ambas as ordens de execução dos exercícios podem produzir resultados semelhantes	56
Polito et al., 2021 ⁹³	Moderadores de ganhos de força e hipertrofia no TR: uma revisão sistemática com meta-análise	119	1077 jovens e 856 meia idade de ambos os sexos	Jovens: 1,43 (1,23 a 1,63); I ² =81,7; tau ² =0,76 e Meia idade: 1,22 (1,03 a 1,41); I ² =82,2; tau ² =0,60	Jovens: 0,54 (1,23 a 1,63); I ² =70,4; tau ² =0,40 e Meia idade: 0,38 (0,25 a 0,50); I ² =57,9; tau ² =0,19	Diferentes combinações de fatores do TR melhorou a força e a massa muscular em jovens e nos mais velhos. Nos mais velhos, isso foi favorecido pela maior frequência e duração do treinamento	75

Uma correlação moderada, porém, significativa (Tabela 2) pode ser observada na avaliação da qualidade AMSTAR 2 com o ano de publicação dos estudos, sugerindo que quanto mais atual o ano de publicação melhor parece ser a qualidade dos estudos. Também, observou-se uma moderada correlação ($r = 0,64$; $P = 0,003$) entre as avaliações AMSTAR 2 e GRADE, demonstrando que, aparentemente os estudos de maior qualidade metodológica também apresentam melhor qualidade da evidência, particularmente nas meta-análises selecionadas que fizeram parte desse estudo.

Tabela 2. Correlação de *Pearson* entre a qualidade metodológica, qualidade de evidência dos 19 estudos selecionados e demais características.

	Ano de Publicação	Nº de estudos Incluídos	Nº de Sujeitos
AMSTAR	0,57 ($P = 0,03$)*	0,32 ($P = 0,18$)	0,26 ($P = 0,29$)
GRADE	0,42 ($P = 0,07$)	0,35 ($P = 0,14$)	0,22 ($P = 0,35$)

Qualidade da evidência

Com base na avaliação GRADE, as análises da qualidade de evidência incluídas foram consideradas como muito baixa (3 meta-análises), baixa (9 meta-análises) ou qualidade de evidência moderada (6 meta-análises). Apenas um estudo foi classificado com alta qualidade de evidência. Para risco de viés, 36,8% (7) das meta-análises não avaliaram a qualidade dos estudos incluídos. As meta-análises foram consideradas como não tendo inconsistência séria, mas evidências indiretas graves foram observadas em 8 das meta-análises avaliadas. Na análise do item imprecisão, 12 meta-análises foram consideradas como sendo imprecisas na avaliação GRADE. Finalmente, das 19 meta-análises incluídas para avaliação, 9 não avaliaram o viés de publicação, 8 não detectaram e apenas 1 detectou viés de publicação para força muscular de membros inferiores e superiores. Em outro estudo, o viés de publicação foi observado, embora a análise de sensibilidade não mostrou

interferência nos resultados. Os resultados de cada análise são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da avaliação de classificação de recomendações, desenvolvimento e avaliação (GRADE)

Referência	itens GRADE					Qualidade da evidência*
	Risco de viés (determinado pela qualidade dos estudos primários, conforme avaliado nas revisões originais)	Inconsistência (determinado por variáveis como a variação nos efeitos entre os estudos incluídos e a sobreposição dos ICs de 95% entre os estudos)	Evidência Indireta (determinado pela generalização dos resultados, considerando as populações de estudo incluídas na pesquisa primária)	Imprecisão (determinado pelo tamanho total da amostra na análise e a largura do IC de 95% do tamanho do efeito combinado)	Viés de Publicação (determinado se o tamanho do efeito do maior estudo em cada análise foi menor do que a estimativa combinada da meta-análise e examinando a assimetria do gráfico de funil)	
Moran et al., 2018	Estudo de qualidade baixa – risco de viés não avaliado	Não é sério	Indiretamente grave (estudos incluídos foi realizado com mulheres jovens e portanto, esses resultados não podem ser generalizados para os homens)	Não é sério	Não avaliado	Muito baixa ⊕○○○
Benito et al., 2020	Risco de viés foi baixo nos estudos	Não é sério	Indiretamente grave (estudos incluídos foi realizado com homens e portanto, esses resultados não podem ser generalizados para mulheres)	O TR teve um efeito significativo na melhora da hipertrofia, independentemente do método usado para quantificá-lo	Viés de publicação não detectado	Baixa ⊕⊕○○
Roberts et al., 2020	Não encontrou evidências e risco de viés em nenhum estudo de grande influência	Não é sério	Sem evidência indireta (diferenças entre os sexos no TR)	Homens e mulheres se adaptaram ao TR com tamanhos de efeito semelhante para hipertrofia	Viés de publicação não detectado	Moderada ⊕⊕⊕○
Ralston et al., 2018	Risco de viés foi baixo nos estudos	Frequência semanal no TR:	Sem evidência indireta	Não fornecem uma correlação forte	Observou-se inicialmente assimetria	Moderada

		não é sério		entre o aumento da frequência de treinamento semanal e ganho de força máxima no TR	moderada, contudo nenhuma assimetria foi exposta através do gráfico de funil, uma vez que os pontos <i>outliers</i> de dados foram removidos do TR	⊕⊕⊕○
Behm et al., 2017	Risco de viés não avaliado	TR tradicional vs treinamento de potência sobre a força muscular: não é sério	Indiretamente grave (estudos incluídos foi realizado com jovens de ambos os sexos, portanto, esses resultados não podem ser generalizados para indivíduos mais velhos)	Não é sério	Não avaliado	Baixa ⊕⊕○○
Grgic et al., 2017	A escala de avaliação indicou qualidade metodológica moderada a alta em todos os estudos incluídos	TR linear vs ondulatório sobre hipertrofia muscular: não é sério	Sem evidência indireta	Os efeitos dos dois modelos de periodização são semelhantes para hipertrofia muscular	Não avaliado	Baixa ⊕⊕○○
Hagstrom et al., 2020	Risco de viés foi observado	TR em mulheres sobre a força e hipertrofia muscular: não é sério	Indiretamente grave (estudos incluídos foi realizado com mulheres e portanto, esses resultados não podem ser generalizados para os homens)	TR provoca grandes melhorias na força muscular e hipertrofia em mulheres adultas saudáveis	Viés de publicação foi detectado para força muscular de membros superiores e inferiores	Baixa ⊕⊕○○
Harries et al., 2015	Risco de viés moderado foi observado em 76,5% dos estudos	TR linear vs ondulatório sobre a força muscular: não é sério	Sem evidência indireta	Sugerem que as variações de treinamento são importantes para	Não avaliado	Baixa ⊕⊕○○

				estimular maior desenvolvimento da força muscular		
Androulakis-Korakakis et al., 2019	A escala de avaliação indicou que os estudos utilizados foram de alta qualidade	Alterações na força através do teste de 1-RM: não é sério	Indiretamente grave (estudos incluídos foi realizado com homens e portanto, esses resultados não podem ser generalizados para mulheres)	Não é sério	Não avaliado	Baixa ⊕⊕OO
Krieger., 2010	Risco de viés não avaliado	Não é sério	Sem evidência indireta	Número pequeno de sujeitos o que impossibilita poder estatístico adequado para detectar diferenças na hipertrofia	Viés de publicação não detectado	Baixa ⊕⊕OO
Ralston et al., 2017	Risco de viés não avaliado	Efeito do volume semanal no ganho de força: não é sério	Indiretamente grave (estudos incluídos foi realizado com homens e portanto, esses resultados não podem ser generalizados para mulheres)	Apresenta evidências adicionais em relação a dose-resposta graduada entre as séries semanais realizadas e o ganho de força	A análise de sensibilidade relatou que nenhum estudo influente ou viés de publicação foi observado	Baixa ⊕⊕OO
Schoenfeld et al., 2015	Risco de viés não avaliado	Efeito da duração da repetição durante o TR na hipertrofia muscular: não é	Sem evidência indireta	Os resultados hipertróficos são semelhantes ao treinar com durações de	Não avaliado	Muito baixa ⊕OOO

		sério		repetição variando de 0,5 a 8 segundos até falha muscular		
Schoenfeld et al., 2017	Risco de viés não avaliado	Adaptações de hipertrofia e força entre baixa e alta carga de TR: não é sério	Indiretamente grave (maioria dos estudos incluídos foi realizado com homens jovens, portanto, esses resultados não podem ser generalizados para mulheres e homens mais velhos)	Os benefícios máximos de força são obtidos com o uso de cargas pesadas, porém isso não foi observado na hipertrofia muscular	A análise de sensibilidade relatou que nenhum estudo influente ou viés de publicação foi observado	Baixa ⊕⊕○○
Schoenfeld et al., 2017	Risco de viés não avaliado	Efeitos hipertróficos de ações musculares concêntricas vs excêntricas: não é sério	Sem evidência indireta	Não é sério	Não houve evidência de viés de publicação	Moderada ⊕⊕⊕○
Grgic, 2020	A escala de avaliação indicou qualidade metodológica moderada a alta nos estudos incluídos	Não é sério	Indiretamente grave (estudos incluídos foi realizado com jovens, portanto, esses resultados não podem ser generalizados para indivíduos mais velhos)	Não encontrou diferenças significativas entre o TR de baixa vs alta carga na hipertrofia das fibras musculares	Não avaliado	Muito baixa ⊕○○○
Grgic et al., 2021	A escala de avaliação indicou qualidade metodológica moderada a alta nos estudos incluídos	Efeitos do TR até a falha ou sem falha na força e hipertrofia muscular: não é	Sem evidência indireta	O treinamento até a falha muscular parece não ser necessário para ganhos de força e	Não houve evidência de viés de publicação	Moderada ⊕⊕⊕○

		sério		massa muscular		
Lopez et al., 2021	Risco de viés foi baixo nos estudos	Efeito da carga de TR no ganho de força e hipertrofia: não é sério	Sem evidência indireta	As melhorias na hipertrofia muscular independem da carga, aumentos na força verificados em programas de TR de alta carga	Não avaliado	Moderada ⊕⊕⊕○
Nunes et al., 2021	A escala de avaliação indicou qualidade metodológica boa a alta nos estudos incluídos	Não é sério	Sem evidência indireta	Força aumenta se os maiores grupos musculares são treinados no início da sessão de TR. Para hipertrofia alterar a ordem não fez diferença	Não avaliado	Moderada ⊕⊕⊕○
Polito et al., 2021	A análise de sensibilidade não mostrou nenhuma interferência nos resultados, embora risco de viés de publicação foi identificado	Moderadores de ganhos de força e hipertrofia em TR: não é sério	Sem evidência indireta	Combinações de fatores do TR melhorou a força e a hipertrofia em jovens e nos mais velhos	A análise de sensibilidade não mostrou interferência nos resultados, embora viés de publicação foi observado	Alta ⊕⊕⊕⊕

* classificação baseada no manual GRADE como:

⊕⊕⊕⊕ = alta qualidade

⊕⊕⊕○ = moderada qualidade

⊕⊕○○ = baixa qualidade

⊕○○○ = muito baixa qualidade

4.4 Discussão

Esta revisão guarda-chuva de revisões sistemáticas com meta-análise teve como objetivo fornecer uma visão geral, revisar e avaliar sistematicamente de maneira qualitativa as evidências meta-analíticas disponíveis que examinaram os efeitos do treinamento resistido na força e / ou hipertrofia muscular de adultos saudáveis e ainda, abordar a qualidade metodológica, qualidade da evidência, pontos fortes e limitações dessas evidências.

Após buscas feitas nas bases de dados e filtros aplicados de acordo com os critérios de inclusão / exclusão previamente estabelecidos, 98 referências foram integralmente analisadas, restando 19 revisões sistemáticas com meta-análise que atenderam aos nossos critérios. Com base na análise dessas revisões sistemáticas selecionadas, verificamos que a qualidade metodológica das meta-análises se classificou como de razoável a excelente, de acordo com os critérios de qualidade do questionário utilizado. Quase metade dos estudos (N=9) foram classificados como de boa qualidade, oito foram considerados como razoável qualidade e apenas dois foram classificados como excelente qualidade metodológica avaliadas pelo questionário AMSTAR 2.

Para outras classificações, encontramos nas análises de qualidade da evidência verificadas pela avaliação GRADE resultados que apresentaram muito baixa a alta qualidade de evidências. Dessas avaliações, 16% foram classificadas como muito baixa, 47% como baixa e 32% como moderada e apenas 2% (um estudo) com alta qualidade de evidência.

Uma correlação moderada, porém significativa, foi observada na avaliação da qualidade AMSTAR 2 com o ano de publicação dos estudos, apontando que, aparentemente, nos estudos mais recentes, os pesquisadores envolvidos se empenharam em seguir as recomendações e protocolos para o desenvolvimento de revisões sistemáticas com meta-análises. Uma moderada correlação também foi encontrada entre as avaliações de qualidade metodológica - AMSTAR 2 e qualidade de evidências - GRADE, demonstrando que estudos de melhor qualidade metodológica também apresentam melhor qualidade da evidência. Assim, vários aspectos importantes que se referem à

generalização dos resultados meta-analíticos bem como a disseminação dos efeitos sumários precisam ser considerados ao interpretar os achados a um ponto de vista prático.

Qualidade metodológica

Embora as meta-análises incluídas no presente estudo demonstraram que a maioria dos programas de TR apontaram para aumentos significativos na força e/ou hipertrofia muscular, algumas considerações adicionais podem ajudar na melhoria da projeção de futuras meta-análises envolvendo estes tópicos. Várias revisões sistemáticas incluídas em nosso estudo não aderiram aos Relatórios de Itens Preferenciais para Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA), que atualmente representam um padrão amplamente aceito para relatórios de meta-análises. O PRISMA tem um *checklist* que recomenda e explica diversos itens a serem incluídos em revisões sistemáticas, como contribuição dos autores, justificativa e objetivo do estudo, busca de referências, critérios de inclusão / exclusão e análise de dados. Seguir o PRISMA significa atender aos critérios para realizar uma revisão sistemática com menor chance de viés, ou seja, identificar e incluir todos (ou pelo menos a maioria) dos estudos sobre o tema em questão. Vale ressaltar que a primeira versão das diretrizes PRISMA foi publicada em 2009⁹⁴, e todas as meta-análises que fizeram parte desse estudo foram publicadas após esta data.

Dos 19 estudos selecionados para esta análise, apenas 5 fizeram o registro de protocolo para revisões sistemáticas e portanto, receberam pontos na lista de pontuação no item 2 do questionário AMSTAR 2. As demais revisões não apresentaram número de registro em seus relatórios e assim, não pontuaram nesse item da avaliação da qualidade metodológica. Os estudos com protocolos de revisão sistemática podem e devem ser registrados, a fim de diminuir o risco desnecessário de duplicação de revisões sistemáticas por pesquisadores ou grupos de pesquisa. Além disso, os métodos descritos pelos autores poderão ser avaliados antes de o estudo ser iniciado. Contudo, o principal foco do banco de dados PROSPERO está voltado para os resultados de estudos da área médica e saúde, e não para estudos de desempenho no

esporte e do exercício físico⁹⁵. Não obstante, nos últimos anos, o aumento expressivo do número de revisões sistemáticas com meta-análises que tem sido publicada envolvendo a área do desempenho no exercício físico e esporte parece justificar a necessidade desses registros nessa linha de pesquisa.

Muitos estudos que fizeram parte desta revisão, atingiram somente cerca de 50% da avaliação AMSTAR 2. Contudo, vários itens de qualidade não foram contemplados, como exemplo: o uso dos componentes PICO (população, intervenção, grupo controle e resultado), como critério de inclusão para revisão; se os autores realizaram a seleção e fizeram a extração dos dados em duplicado; ou ainda se usaram técnica satisfatória para avaliar o risco de viés e também sobre alguma heterogeneidade observada nos resultados da revisão. É prática comum usar a descrição do PICO como uma estrutura organizadora para uma questão de estudo. O PICO identifica os elementos que devem ser descritos em detalhes no relatório da revisão sistemática e devem permitir ao avaliador julgar a seleção dos estudos e permitir ao usuário da revisão para determinar a aplicabilidade dos resultados.⁸⁰

Ao que diz respeito a seleção e extração dos dados, a melhor prática requer dois autores de revisão para determinar elegibilidade dos estudos para inclusão em revisões sistemáticas, e isso envolve a verificação das características de um estudo (título, resumo e texto completo) contra os elementos da questão de pesquisa. Um processo de consenso deve ser usado quando surgirem as divergências e uma verificação por concordância devem ser aplicadas atingindo uma pontuação igual ou superior a 0,80 através do coeficiente de concordância Kappa.⁸⁰ A avaliação o risco de viés é outra questão que merece destaque nesta discussão. Nas situações em que os autores da revisão optam por incluir apenas ensaios clínicos aleatórios de alta qualidade, pode haver pouca discussão do potencial impacto do viés nos resultados, mas onde eles incluem ECAs de qualidade variável, o impacto disso deve ser avaliado através da análise de regressão ou da estimativa dos tamanhos dos efeitos combinados apenas com estudos com baixo risco de viés. Uma forma de evitar resultados heterogêneos é incluir na revisão sistemática apenas os estudos metodologicamente semelhantes, porém, pode ocorrer de algumas informações não estarem claramente relatadas nos artigos

originais. Na presença de heterogeneidade, recomenda-se investigar suas causas por meio de análise de sensibilidade e meta-regressão.

Qualidade da evidência

Com base na avaliação da qualidade da evidência - GRADE, para o risco de viés, 37% das meta-análises que fizeram parte da nossa revisão, não avaliaram a qualidade dos estudos incluídos e portanto, os dados não ficaram claros neste critério. O risco de viés, determinado pela qualidade dos estudos primários, deve ser avaliado por ferramentas que estão amplamente disponíveis na literatura e são de fácil acesso. Essas ferramentas indicam quais os pontos mais relevantes a serem ponderados nos estudos, devendo levar em consideração que diferentes delineamentos estão propensos a diferentes vieses e conseqüentemente, podem refletir resultados mais ou menos robustos. Assim, existem ferramentas específicas para cada delineamento. Para estudos de revisão sistemática o questionário AMSTAR 2⁸⁰ ou ROBIS⁹⁶ são ferramentas desenhadas para avaliar o risco de viés em revisões com questões relacionadas a intervenções. Em estudos de ECAs, a ferramenta de avaliação de risco de viés da Colaboração Cochrane⁹⁷, e para estudos de corte ou caso-controle a escala de *Newcastle-Ottawa*⁹⁸ podem ser citadas como exemplos de instrumentos para a verificação da qualidade desses estudos. Portanto, em revisões sistemáticas com meta-análise que incluem estudos com diferentes delineamentos, pode ser necessário o uso de mais de um instrumento de avaliação.

Em nossa pesquisa, as meta-análises foram consideradas como não tendo inconsistência grave. De fato, os tamanhos de efeito em estudos individuais indicaram que estes raramente mostraram um efeito negativo do TR sobre os aumentos na força e hipertrofia muscular. Isso pode ser justificado pelo fato de que muitos estudos originais foram conduzidos com pessoas sedentárias / destreinadas, o que permite uma ampla melhora no desempenho. Mesmo em estudos com sujeitos treinados, a manipulação de variáveis do treinamento (seja por aumento do volume ou da intensidade) dificilmente vai destreinar o indivíduo a ponto de reduzir sua força ou sua massa muscular. Quanto à objetividade das evidências, mais da metade (N=11) das revisões

sistemáticas com meta-análise não apresentaram evidência indireta, ou seja, os resultados desses estudos, aparentemente, podem ser aplicados para diferentes populações, ao passo que as demais foram classificadas como indiretas graves, uma vez que a evidência não é direta o suficiente para ser aplicada a todas as populações.

A imprecisão reflete quão precisa é a estimativa do efeito do tratamento através dos intervalos de confiança obtido. Amplos intervalos de confiança, que incluem tanto importantes efeitos benéficos quanto nenhum efeito, resultam em incerteza no resultado. Portanto, a imprecisão ocorre quando o intervalo de confiança é amplo, as amostras são pequenas ou há poucos eventos³⁹. Na avaliação do item imprecisão - GRADE, ficou evidente que seis meta-análises^{70,85,88,90,92,93} foram consideradas precisas, ao passo que as demais não encontraram resultados que atenderam aos critérios de avaliação.

Nos estudos considerados precisos, Harries et. al⁷⁰, sugeriram que variações do TR são importantes para o desenvolvimento da força muscular (membro superior: TE = 1,71 (-2,05 a 5,47); $P=0,37$; membro inferior: TE = 25,93 (-2,48 a 54,35) $P=0,07$), ao passo que, Ralston et. al⁸⁵, apresentaram evidências adicionais em relação a dose resposta entre as séries semanais realizadas e os ganhos de força em homens treinados 1,89 (-0,01 a 0,29); $P=0,06$. Recentemente, Polito et. al⁹³, ao investigarem o papel dos moderadores do TR sobre os ganhos de força e massa muscular em jovens não treinados e adultos de meia idade, verificaram através de meta-análise que combinações de fatores do TR melhorou a força (TE= 1,43 (1,23 a 1,63); $P=0,001$) e a hipertrofia (TE= 0,54 (1,23 a 1,63); $P= 0,03$) em jovens e em indivíduos mais velhos (TE= 1,22 (1,03 a 1,41); $P=0,00$) para força e hipertrofia (TE= 0,38 (0,25 a 0,50); $P=0,01$) respectivamente. Em outro estudo, Nunes et. al⁹², ao verificarem através de meta-análise, a influência da ordem de execução dos exercícios de TR, concluíram que aumentos na força de jovens adultos podem ser observados, quando os maiores grupos musculares são treinados no início da sessão do TR, com TE= - 0,11 (-0,32 a 0,10); $P= 0,3$). Contudo, para hipertrofia muscular a meta-análise indicou que ambas as ordens de execução dos exercícios podem produzir resultados semelhantes - TE= - 0,02 (-0,45 a 0,41); $P=0,93$.

A maioria das meta-análises aqui analisadas não apresentaram viés de publicação ou não foram avaliadas neste critério. Os vieses de publicação podem ocorrer porque estudos que relatam tamanhos de efeito maior (e significativo) são mais propensos a serem publicados do que aqueles com tamanhos de efeito baixo ou não significativo⁹⁹. Assim, a inclusão apenas de estudos publicados com resultados significativos em uma determinada meta-análise, pode levar a viés de publicação e ser uma preocupação para a validade dos resultados.

Nós verificamos em apenas um estudo (Hagstrom et. al⁶⁴) da nossa revisão a presença de viés de publicação para força muscular de membros superiores e inferiores. Hagstrom et. al⁶⁴, ao avaliarem a presença de viés de publicação em sua revisão sistemática com meta-análise sobre o efeito do TR sobre a força dinâmica e hipertrofia em mulheres, verificaram que quando o TE estimado foi plotado em relação ao erro padrão, houve risco de viés de publicação detectado para a força muscular na parte superior do corpo e para força de membros inferiores. Embora detectado, o risco de viés neste estudo não foi suficientemente forte para que comprometesse os resultados. No entanto, os autores não detectaram nenhuma evidência de risco de viés de publicação para hipertrofia muscular.

Independentemente dos resultados apresentados, o presente estudo possui limitações. Como falamos anteriormente, existem diferentes possibilidades de combinações das variáveis de prescrição do TR (carga, número de séries, número de repetições, esforço máximo ou submáximo em cada série, intervalo de descanso entre as séries, número de exercícios, frequência e duração total do treinamento, ordem de execução dos exercícios). Assim, a maioria das revisões sistemáticas com meta-análise que fizeram parte do nosso estudo, foram conduzidas verificando os resultados do TR sob a perspectiva de apenas uma variável de prescrição, não considerando a influência das demais variáveis. Para além da qualidade metodológica ou da evidência, isso torna-se uma limitação podendo dificultar a extrapolação dos resultados e de certa forma, enviesando a aplicação prática. Outro ponto importante que devemos ponderar é o fato de os estudos incluídos nas meta-análises apresentarem métodos distintos de medidas da força e composição corporal para avaliação da massa muscular, com diferentes unidades de

medidas e desfechos. Dessa forma, consideramos todas as medidas usadas para avaliação da força e hipertrofia muscular dentro de uma mesma análise, verificadas por diferentes técnicas, não considerando erro padrão de medição. Finalmente, a maioria dos estudos não fazem diferenciação por sexo, estado de treinamento ou faixa etária, sendo comum, inclusive, apresentar resultados de força/hipertrofia em amostras heterogêneas, o que também pode enviesar a aplicação prática.

4.5 Conclusão

Revisar revisões sistemáticas com meta-análise parece ser um procedimento cientificamente importante e através disso conseguimos mensurar de forma subjetiva as evidências meta-analíticas na área de TR envolvendo força e hipertrofia muscular. Embora observamos que revisões sistemáticas de razoável a excelente qualidade metodológica tem sido publicadas, alguns preceitos devem ser levados em consideração no planejamento de futuras revisões sistemática envolvendo meta-análises. Registrar o protocolo desses estudos e seguir um plano padronizado de relatórios para meta-análises, são preceitos fundamentais para a melhoria da qualidade e o desenvolvimento dessas pesquisas. Nas análises de qualidade da evidência, estudos de muito baixa a alta qualidade de evidências foram verificados através de nossas análises.

5 Referências

1. GENTIL, P.; CAMPOS, M.H.; SOARES, S.; COSTA, G.C.T.; PAOLI, A.; BIANCO, A.; BOTTARO, M. Comparison of elbow flexor isokinetic peak torque and fatigue index between men and women of different training level. *European Journal of Translational Myology*. 27(4):246-250, 2017.
2. OUELLETTE, M.M.; LEBRASSEUR, N.K.; BEAN, J.F.; PHILLIPS, E.; STEIN, J.; FRONTERA, W.R.; FIELDING, R.A. High-intensity resistance training improves muscle strength, self-reported function, and disability in long-term stroke survivors. *Stroke*. 35(6):1404-9, 2004.
3. NAGAIA, K.; MIYAMATO, T.; OKAMAE, A.; TAMAKI, A.; FUJIOKA, H.; WADA, Y.; UCHIYAMA, Y.; SHINMURA, K.; DOMEN, K. Physical activity combined with resistance training reduces symptoms of frailty in older adults: A randomized controlled trial. *Archives of Gerontology and Geriatrics*. 76:41-47, 2018.
4. ACSM. American College of Sports Medicine. KRAEMER, W.J.; ADAMS, K.; CAFARELLI, E.; DUDLEY, G.A.; DOOLY C.; FEIGENBAUM, M.S.; FLECK, S.J.; FRANKLIN, B.; FRY, A.C.; HOFFMAN, J.R.; NEWTON, R.U.; POTTEIGER, J.; STONE, M.H.; RATAMESS, N.A.; TRIPLETT-MCBRIDE, T. Position stand: progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 34(2):364-80, 2002.
5. ACSM. American College of Sports Medicine. RATAMESS, N.A.; ALVAR, B.A.; EVETECH, T.K.; HOUSH, T.J.; KIBLER, B.W.; KRAEMER, W.J.; TRIPLETT, T.N. Position Stand. Progression models in resistance training

- for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 41(3):687-708, 2009.
6. LIU, Y.; LEE, D.C.; LI, Y.; ZHU, W., ZHANG, R.; SUI, X.; LAVIE, C.J.; BLAIR, S.N. Associations of resistance exercise with cardiovascular disease morbidity and mortality. *Medicine and Science and Sports Exercise*. 51(3):499-508, 2019.
 7. LIU, Y.; YE, W.; CHEN, Q.; ZHANG, Y.; KUO, C.-H.; KORIVI, M. Resistance exercise intensity is correlated with attenuation of hba1c and insulin in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16(1): 1-21, 2019.
 8. WATSON, I. S.; WEEKS, B.K.; WEIS, L.J.; HARDING, A.T.; HORAN S. A.; BECK, B.R. High-intensity resistance and impact training improves bone mineral density and physical function in postmenopausal women with osteopenia and osteoporosis: The LIFTMOR randomized controlled trial. *Journal of Bone and Mineral Research*. 34(3):572, 2019.
 9. JACOBS, P.L.; NASH, M.S. Exercise recommendations for individuals with spinal cord injury. *Sports Medicine*. 34(11):727-51, 2004.
 10. PHILLIPS, S.M. Short-term training: when do repeated bouts of resistance exercise become training? *Canadian Journal of Applied Physiology*. 25(3):185-93, 2000.
 11. MILLWARD, D.J.; GARLICK, P.J.; STEWART, R.J.; NNANYELUGO, D.O.; WATERLOW, J.C. Skeletal muscle growth and protein turnover. *Biochemical Journal*. 150(2):235-243, 1975.
 12. YANG, Y.; BREEN, L.; BURD, N.A.; HECTOR, A.J.; CHURCHWARD-VENNE, T.A.; JOSSE, A.R.; TARNOPOLSKY, M.A.; PHILLIPS, S.M.

Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men. *The British Journal of Nutrition*. 108(10): 1780-1788, 2012.

13. GORISSEN, S.H.; RÉMOND, D.; VAN LOON, L.J. The muscle protein synthetic response to food ingestion. *Meat Science*. 109:96-100, 2015.
14. WITARD, O.C.; JACKMAN, S.R.; BREEN, L.; SMITH, K.; SELBY, A.; TIPTON, K.D. Myofibrillar muscle protein synthesis rates subsequent to a meal in response to increasing doses of whey protein at rest and after resistance exercise. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 99(1):86-95, 2014.
15. BOCCI, F.; JOLLY, M.K.; LEVINE, H.; ONUCHIC, J.N. Quantitative characteristic of ncRNA regulation in gene regulatory networks. *Methods in Molecular Biology*. 1912:341-366, 2019.
16. TAN, B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 13(3):289-304, 1999.
17. FRY, A.C. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine*. 34(10):663-79, 2004.
18. GIBALA, M.J.; MACDOUGALL, J.D.; TARNOPOLSKY, M.A.; STAUBER, W.T.; ELORRIAGA, A. Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*. 78(2):702-8, 1995.
19. SCHOENFELD, B. Repetitions and muscle hypertrophy. *Strength and Conditioning Journal*. 22(6):67-9, 2000.

20. KRAEMER, W.J.; RATAMESS, N.A. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 36(4):674-88, 2004.
21. CAMPOS, G.E.; LUECKE, T.J.; WENDELN, H.K.; TOMA, K.; HAGERMAN, F.C.; MURRAY, T.F.; RAGG, K.E.; RATAMESS, N.A.; KRAEMER, W.J.; STARON, R.S. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*. 88(1-2):50-60, 2002.
22. AHTIAINEN, J.P.; PAKARINEN, A.; ALEN, M.; KRAEMER, W.J.; HÄKKINEN, K. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European Journal of Applied Physiology*. 89(6):555-63, 2003.
23. DESCHENES, M.R.; KRAEMER, W.J. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 81(11 suppl): S3-16, 2002.
24. CONTESSA, P.; ADAM, A.; De LUCA, C. J. Motor unit control and force fluctuation during fatigue. *Journal of Applied Physiology*. 07(1): 235-243, 2009.
25. MCARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.
26. MCCARTHY, J.P.; POZNIAK, M.A.; AGRE, J.C. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 34(3):511-19, 2002.
27. HENNEMAN, E.; SOMJEN, G.; CARPENTER, D. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Neurophysiology*. 28:560-80, 1965.

28. CARROLL, T.J.; RIEK, S.; CARLSON, R.G. Neural adaptations to resistance training: implications for movement control. *Sports Medicine*. 31(12): 829-40, 2001.
29. WILMORE, J.H.; COSTILL, D.L. Physiology of sport and exercise. 2nd. ed. Champaign: Human Kinetics; 1999.
30. RUTHERFORD, O.M.; JONES, D.A. The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 55(1):100-5, 1986.
31. SALE D.G. Neural adaptations to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 20(5 suppl):135-45, 1988.
32. KRAEMER, W.J.; DESCHENES, M.R.; FLECK, S.J. Physiological adaptations to resistance exercise: implications for athletic conditioning. *Sports Medicine*. 6(4): 246-56, 1988.
33. GRGIC, J.; SCHOENFELD, B.J.; DAVIES, T.B.; LAZINICA, B.; KRIEGER, J.W.; PEDISIC, Z. Effect of resistance training frequency on gains in muscular strength: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 48(5): 1207-1220, 2018.
34. BENITO, P.J.; CUPEIRO, R.; RAMOS-CAMPO, D.J.; ALCARAZ, P.E.; RUBIO-ARIAS, J.Á. A Systematic Review with Meta-Analysis of the Effect of Resistance Training on Whole-Body Muscle Growth in Healthy Adult Males. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(4): 1285, 2020.
35. BORDE, R.; HORTOBÁGYI, T.; GRANACHER, U. Dose–Response Relationships of Resistance Training in Healthy Old Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 45(12): 1693-1720, 2015.

36. SCHOENFELD, B.J.; GRGIC, J.; OGBORN, D.; KRIEGER, J.W. Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 31(12): 3508-3523, 2017.
37. RALSTON, G.W.; KILGORE, L.; WYATT, F.B.; BUCHAN, D.; BAKER, J.S. Weekly training frequency effects on strength gain: a meta-analysis. *Sports Medicine*. 4(30): 1-24, 2018.
38. MIKOLAJEWICZ, N.; KAMAROVA, S.V. Meta-analytic methodology for basic research: A practical guide. *Frontiers in Physiology*.10(203):1-20, 2019.
39. GUYATT, G.; OXMAN, A.D.; AKL, E.A.; KUNZ, R.; VIST, G.; BROZEK, J.; NORRIS, S.; FALCK-YTTER, Y.; GLASZIOU, P.; DEBBER, H.; JAESCHKE, R.; RIND, D.; MEERPOHL, J.; DAHM, P.; SCHÜNEMANN, H.J. GRADE guidelines: 1. Introduction-GRADE evidence profiles and summary of findings tables. *Journal of Clinical Epidemiology*. 64(4):383-94, 2011.
40. RHEA, M.R.; ALVAR, B.A.; BURKETT, L.N.; BALL, S.D. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 35(3): 456-464, 2003.
41. SILVA, N.L.; OLIVEIRA, R.B.; FLECK, S.J.; LEON, A.C.M.P.; FARINATTI, P. Influence of strength training variables on strength gains in adults over 55 years-old: a meta-analysis of dose-response relationships. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 17(3): 337-344, 2014.
42. SLIMANI, M.; PARAVLIC, A.; GRANACHER, U. A meta-analysis to determine strength training related dose-response relationships for lower-

limb muscle power development in young athletes. *Frontiers in Physiology* 9: 1155, 2018.

43. ANDROULAKIS-KORAKAKIS, P.; FISHER, J.P.; STEELE, J. The minimum effective training dose required to increase 1rm strength in resistance-trained men: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 50(4): 751-765, 2020.
44. GRGIC, J., SCHOENFELD, B.J.; SKREPNIK, M.; DAVIES, T.B.; MIKULIC, P. "Effects of rest interval duration in resistance training on measures of muscular strength: a systematic review." *Sports Medicine*. 48(1): 137-151, 2018.
45. MOHER, D.; SHAMSEER, L.; CLARKE, M.; GHERSI, D.; LIBERATI, A.; PETTICREW, M.; SHEKELLE, P.; STEWART, L.A. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*. 4(1): 1-9, 2015.
46. SMART, N.A.; WALDRON, M.; ISMAIL, H.; GIALLAURIA, F.; VIGORITO, C.; CORNELISSEN, V.; DIEBERG, G. Validation of a new tool for the assessment of study quality and reporting in exercise training studies: TESTEX. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*. 13(1):9-18, 2015.
47. DUVAL, S.J.; TWEEDIE, R.L. Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 56(2): 455–463, 2000a.
48. CADORE, E.L.; CASAS-HERRERO, A.; ZAMBOM-FERRARESI, F.; IDOATE, F.; MILLOR, N.; GÓMEZ, M.; RODRIGUEZ-MAÑAS, L.; IZQUIERDO, M. Multicomponent exercises including muscle power training enhance muscle mass, power output, and functional outcomes in institutionalized frail nonagenarians. *Age (Dordr)*. 36(2):773-85, 2014.

49. WALKER, S.; HULMI J.J.; WERNBOM, M.; NYMAN, K.; KRAEMER, W.J.; AHTIAINEN, J.P.; HÄKKINEN, K. Variable resistance training promotes greater fatigue resistance but not hypertrophy versus constant resistance training. *European Journal of Applied Physiology*. 113(9):2233-44, 2013.
50. WALKER, S.; PELTONEN, H.; SAUTEL, J.; SCARAMELLA, C.; KRAEMER, W.J.; AVELA, J.; HÄKKINEN, K. Neuromuscular Adaptations to Constant vs. Variable Resistance Training in Older Men. *International Journal of Sports Medicine*. 35(1):69-74, 2014.
51. CHILIBECK, P.D.; SYROTUIK, D.G.; BELL, G.J. The effect of strength training on estimates of mitochondrial density and distribution throughout muscle fibres. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 80(6):604-9, 1999.
52. KEMI, O.J.; ROGNMO, O.; AMUNDSEN, B.H.; STORDAHL, S.; RICHARDSON, R.S.; HELGERUD, J.; HOFF, J. One-arm maximal strength training improves work economy and endurance capacity but not skeletal muscle blood flow. *Journal of Sports Science*. 29(2):161-70, 2011.
53. PIPES, T.V. Variable resistance versus constant resistance strength training in adult males. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 39:27-35, 1978.
54. SCHOENFELD, B.J.; OGBORN, D.I.; KRIEGER, J.W. Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 45(4): 577-585, 2015.
55. SCHOENFELD, B.J.; GRGIC, J.; KRIEGER, J.W. 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. *Journal of Sports Science*. 37(11): 1286-1295, 2019.
56. WILLIAMS, T.D.; TOLUSSO, D.V.; FEDEWA, M.V.; ESCO, M.R. Comparison of periodized and non-periodized resistance training on maximal strength: a meta-analysis. *Sports Medicine*. 47(10): 2083-2100, 2017.
57. GRGIC, J.; GAROFOLINI, A.; ORAZEM, J.; SABOL, F.; SCHOENFELD, B.J.; PEDISIC, Z. Effects of resistance training on muscle size and strength in very elderly adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Sports Medicine*. 50(11): 1983-1999, 2020.
58. ROBERTS, M.D.; HAUN, C.T.; MOBLEY, B.C.; MUMFORD, P.W.; ROMERO, M.A.; ROBERSON, P.A.; VANN, C.G.; McCARTHY, J. Physiological differences between low versus high skeletal muscle hypertrophic responders to resistance exercise training: current perspectives and future research directions. *Frontiers in Physiology*. 9: 834, 2018.
59. ACSM - American College of Sports Medicine, CHODZKO-ZAJKO, W.J.; PROCTOR, D.N.; FIATARONE SINGH, M.A.; MINSON, C.T.; NIGG, C.R.; SALEM, G.J.; SKINNER, J.S. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 41(7): 1510-1530, 2009.
60. American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Philadelphia, Wolters Kluwer, 2018.
61. CSAPO, R.; ALEGRE, L.M. Effects of resistance training with moderate vs heavy loads on muscle mass and strength in the elderly: A meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 26(9): 995-1006, 2016.

62. SCHOENFELD, B. J.; WILSON, J.M.; LOWERY, R.P.; KRIEGER J.W. Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *European Journal of Sport Science*. 16(1): 1-10, 2016.
63. LASEVICIUS, T.; UGRINOWITSCH, C.; SC HOENFELD, B.J.; ROSCHEL, H.; TAVARES, L.D.; DE SOUZA, E.O.; LAURENTINO, G.; TRICOLI, V. Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. *European Journal of Sport Science*. 18(6): 772-780, 2018.
64. HAGSTROM, A.D.; MARSHALL, P.W.; HALAKI, M.; HACKET, D.A. The effect of resistance training in women on dynamic strength and muscular hypertrophy: a systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*. 50(6): 1075-1093, 2020.
65. FIGUEIREDO, V.C., DE SALLES, B.F.; TRAJANO, G.S. Volume for muscle hypertrophy and health outcomes: the most effective variable in resistance training. *Sports Medicine*. 48(3): 499-505, 2018.
66. CHRISTOVA, P.; KOSSEV, A. Motor unit activity during long-lasting intermittent muscle contractions in humans. *European Journal of Applied Physiol and Occupational Physiology*. 77(4): 379-387, 1998.
67. DAVIES, T.; ORR, R.; HALAKI, M.; HACKETT, D. Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 46(4): 487-502, 2016.
68. FRAGALA, M.S., CADORE, E.L.; DORGO, S.; IZQUIERDO, M.; KRAEMER, W.J.; PETERSON, M.D.; RYAN, E.D. Resistance training for older adults: position statement from the national strength and conditioning association. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 33(8): 2019-2052, 2019.

69. GARBER, C. E., B. BLISSMER, B.; DESCHENES, M.R.; FRANKLIN, B.A.; LAMONTE, M.J.; LEE, I.M.; NIEMAN, D.C.; SWAIN, D.P. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 43(7): 1334-1359, 2011.
70. HARRIES, S.K., LUBANS, D.R.; CALLISTER, R. Systematic review and meta-analysis of linear and undulating periodized resistance training programs on muscular strength. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 29(4): 1113-1125, 2015.
71. DE SOUZA, E.O., TRICOLI, V.; RAUCH J.; ALVAREZ, M.R.; LAURENTINO, G.; AIHARA, A.Y.; CARDOSO, F.N.; ROSCHEL, H.; UGRINOWITSCH, C. Different patterns in muscular strength and hypertrophy adaptations in untrained individuals undergoing nonperiodized and periodized strength regimens. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 32(5): 1238-1244, 2018.
72. HENSELMANS, M.; SCHOENFELD, B.J. The effect of inter-set rest intervals on resistance exercise-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine*. 44(12): 1635-1643, 2014.
73. DUNSTAN, D.W.; DALY, R.M.; OWEN, N.; JOLLEY, D.; DE COURTEN, M.; SHAW, J.; ZIMMET, P. High-intensity resistance training improves glycemic control in older patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care*. 25(10):1729-36, 2002.
74. OLIVEIRA-DANTAS, F.F.; BRASILEIRO-SANTOS, M.D.S.; THOMAS, S.G.; SILVA, A.; SILVA, D.C.; BROWNE, R.A.V.; FARIAS-JUNIOR, L.F.; COSTA, E.C.; SANTOS, A.D.C. Short-Term Resistance Training Improves Cardiac Autonomic Modulation and Blood Pressure in Hypertensive Older

Women: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 34(1):37-45, 2020. doi: 10.1519/JSC.0000000000003182.

75. MAZZILLI, K.M.; MATTHEWS, C.E.; SALERNO, E.A.; MOORE, S.C. Weight training and risk of 10 common types of cancer. *Medicine and Science and Sports Exercise*; 51(9):1845-1851; 2019.
76. AHTIAINEN, J.P.; SALLINEN, J.; HÄKKINEN, K.; SILLANPÄÄ, E. Inter-individual variation in response to resistance training in cardiometabolic health indicators. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*.30(6):1040-1053, 2020.
77. MORAN, J.; SANDERCOCK, G.; RAMIREZ-CAMPILLO, R.; CLARK, C.C.T.; FERNANDES, J.F.T.; DRURY, B. A meta-analysis of resistance training in female youth: its effect on muscular strength, and shortcomings in the literature. *Sports Medicine*. 48(7):1661-1671; 2018.
78. LINDE, K.; WILLICH, S.N. How objective are systematic reviews? Differences between reviews on complementary medicine. *Journal of the Royal Society of Medicine*. 96(1):17-22, 2003.
79. RALSTON, G. W.; L. KILGORE.; WYATT, F.B.; BUCHAN, D.; BAKER, J.S. Weekly Training Frequency Effects on Strength Gain: A Meta-Analysis. *Sports Medicine Open* 4(1): 36, 2018.
80. SHEA, B.J; REEVES, B.C.; WELLS, G.; THUKU, M.; HAMEL, C.; MORAN, J.; MOHER, D.; TUGWELL, P.; WELCH, V.; KRISTJANSSON, E.; HENRY, D.A. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ*. 2017; 358: j4008.

81. ROBERTS, B.M.; NUCKOLS, G.; KRIEGER, J.W. Sex differences in resistance training: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 34(5): 1448–1460, 2020.
82. BEHM, D.G.; YOUNG, J.D.; WHITTEN, J.H.D.; REID, J.C.; QUIGLEY, P.J.; LOW, J.; LI, Y.; LIMA, C.D.; HODGSON, D.D.; CHAOUACHI, A.; PRIESKE, O.; GRANACHER, U. Effectiveness of traditional strength vs. power training on muscle strength, power and speed with youth: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*. 30;8: 423, 2017.
83. GRGIC, J.; MIKULIC, P.; PODNAR, H.; PEDISIC, Z. Effects of linear and daily undulating periodized resistance training programs on measures of muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ*. 2017; 22;5: e3695. doi: 10.7717/peerj.3695.
84. KRIEGER, J.W. Single vs. multiple sets of resistance exercise for muscle hypertrophy: a meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 24(4):1150-9, 2020. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d4d436.
85. RALSTON, G.W.; KILGORE, L.; WYATT, F.B.; BAKER, J.S. The effect of weekly set volume on strength gain: A meta-analysis. *Sports Medicine*. 47(12):2585-2601, 2017. doi: 10.1007/s40279-017-0762-7.
86. SCHOENFELD, B.J.; OGBORN, D.I.; KRIEGER, J.W. Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 45(4):577-85, 2015. doi: 10.1007/s40279-015-0304-0.
87. SCHOENFELD, B.J.; GRGIC, J.; OGBORN, D.; KRIEGER, J.W. Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Strength and*

Conditioning Research. 31(12):3508-3523, 2017. doi:
10.1519/JSC.0000000000002200.

88. SCHOENFELD, B.J.; OGBORN, D.I.; VIGOTSKY, A.D.; FRANCHI, M.V.; KRIEGER, J.W. Hypertrophic effects of concentric vs. eccentric muscle actions: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 31(9):2599-2608, 2017.
89. GRGIC, J. The effects of low-load vs. high-load resistance training on muscle fiber hypertrophy: a meta-analysis. *Journal of human kinetics.* 74, 51–58, 2020. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0013>.
90. 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.* S2095-2546(21)00007-7, 2021.
91. LOPEZ, P.; RADAELLI, R.; TAAFFE, D.R.; NEWTON, R.U.; GALVÃO, D.A.; TRAJANO, G.S.; TEODORO, J.L.; KRAEMER, W.J.; HÄKKINEN, K.; PINTO, R.S. Resistance training load effects on muscle hypertrophy and strength gain: systematic review and network meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 53(6):1206-1216, 2021. doi:
10.1249/MSS.0000000000002585.
92. NUNES, J.P.; GRGIC, J.; CUNHA, P.M.; RIBEIRO, A.S.; SCHOENFELD, B.J.; DE SALLES, B.F.; CYRINO, E.S. What influence does resistance exercise order have on muscular strength gains and muscle hypertrophy? A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Sports Science.* 21(2):149-157, 2021. doi: 10.1080/17461391.2020.1733672.
93. POLITO, M.D.; PAPST, R.R.; FARINATTI, P. Moderators of strength gains and hypertrophy in resistance training: A systematic review and meta-

analysis. *Journal of Sports Science*. 1-10, 2021. doi: 10.1080/02640414.2021.1924978.

94. LIBERATI, A.; ALTMAN, D.G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GØTZSCHE, P.; IOANNIDIS, J.P.A.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P.J.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Med*. 6(7): e1000100, 2009.
95. GRGIC, J.; GRGIC, I.; PICKERING, C.; SCHOENFELD, B. J.; BISHOP, D. J.; PEDISIC, Z. Wake up and smell the coffee: caffeine supplementation and exercise performance - an umbrella review of 21 published meta-analyses. *British Journal of Sports Medicine*. 54(11):681-688, 2020.
96. WHITING, P.; SAVOVIĆ, J.; HIGGINS, J.P.; CALDWELL, D.M.; REEVES, B.C.; SHEA, B.; DAVIES, P.; KLEIJNEN, J.; CHURCHILL, R. ROBIS group. ROBIS: A new tool to assess risk of bias in systematic reviews was developed. *Journal of Clinical Epidemiology*. 69: 225-34, 2016.
97. HIGGINS, J.P.; ALTMAN, D.G.; GØTZSCHE, P.C.; JÜNI, P.; MOHER, D.; OXMAN, A.D.; SAVOVIC, J.; SCHULZ, K.F.; WEEKS, L.; STERNE, J.A. Cochrane Bias Methods Group; Cochrane Statistical Methods Group. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 343: d5928, 2011.
98. WELLS, G.; SHEA, B.; O'CONNELL, D.; PETERSON, J.; WELCH, V.; LOSOS, M.; TUGWELL, P. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses. 2013.
99. BORENSTEIN, M.; HEDGES L.V.; HIGGINS, J.P.T.; ROTHSTEIN, H.R. Introduction to meta-analysis. *New York: Wiley*, 2009:277–91.

ANEXOS

ANEXO I

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	
ABSTRACT			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	
METHODS			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	
Synthesis	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention	

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
methods		characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	
RESULTS			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	
DISCUSSION			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	
OTHER INFORMATION			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71

For more information, visit: <http://www.prisma-statement.org/>




ANEXO II

Table 1. 'Detailed TESTEX scale' (maximum score 15)

Criterion	Explanation	Scoring
Study quality		
1 – Eligibility criteria specified	Eligibility criteria should be specified and fulfilled and specific diagnostic test values should be provided for all participants.	1 Point – if eligibility criteria are clearly stated and fulfilled
2 – Randomization specified	A description of the method used to allocate patients into treatment groups should be provided.	1 Point – if methods are described and they are truly random e.g. coin-tossing, sequence of randomly generated numbers
3 – Allocation concealment	It should be stated if group allocation was concealed; meaning if a patient was eligible for inclusion in the trial was unaware (when this decision was made) of which group the patient would be allocated to.	1 Point – if group allocation was concealed from patients eligible for inclusion in the trial (e.g. consent should be given before randomization)
4 – Groups similar at baseline	Baseline data of all participants who were randomized should be presented. There should be no significant difference in the measure of the severity of the treated condition between treatment groups.	1 Point – if baseline data are separated by group allocation, presented and no differences are apparent
Blinding of all participants	This item is not scored.	No point
Blinding of all therapists	This item is not scored.	No point
5 – Blinding of assessor (for at least one key outcome)	It is not always possible to blind patients and/or therapists; however, blinding of assessors is reasonable. If assessors of primary outcome measures are blinded to the intervention allocation of the patients, this should be stated clearly.	1 Point – if it is stated unambiguously that the assessor of at least 1 primary outcome measure was blinded to group allocation
Study reporting		
6 – Outcome measures assessed in 85% of patients	The percentage of patients completing the study in both groups should be reported. Any adverse events (serious medical events, deaths, hospitalizations etc.) should be reported for each intervention group. The percentage of exercise sessions completed by the exercise patients who did not withdraw from the study should be reported.	No point – if withdrawals are >15% 1 Point – if adherence >85% 1 Point – if adverse events are reported 1 Point – if exercise attendance is reported Total possible – 3 points
7 – Intention-to-treat analysis	When a patient withdraws, this analysis is conducted by using either the last value obtained for each of the outcome measures as a post-intervention value, or by using the baseline value as a post value. This analysis should be added to the data of those that did complete the study and an analysis conducted.	1 Point – if intention to treat analysis was performed on outcomes of interest
8 – Between-group statistical comparisons reported	Comparison of exercise vs. comparator (control) group for the primary and at least one secondary outcome should be performed.	1 Point – if between-group statistical comparisons are reported for the primary outcome measure of interest 1 Point – if between-group statistical comparisons are reported for at least one secondary outcome measure Total possible – 2 points
9 – Point measures and measures of variability for all reported outcome measures	Point estimates should be provided for all outcomes, otherwise this could be deemed selective outcome reporting.	1 Point – if all outcomes are reported with point estimates
10 – Activity monitoring in control groups	Between-group differences may be diluted if control patients crossover to intervention. As many as one third of patients do this, so some measure e.g. exercise diary or activity monitoring should be supplied so this effect can be measured and quantified.	1 Point – if control patients are asked to report their levels of physical activity and data are presented
11 – Relative exercise intensity remained constant	Exercise intensity is considered by many to be the best stimulus for adaptation. Once patients begin an exercise programme at a set intensity they will begin to adapt. Throughout the study duration the relative intensity will fall in those that do adapt. Therefore, periodic assessment of exercise capacity should be conducted and the intensity titrated up (or in those that lose fitness, titrated down) so that exercise intensity remains constant.	1 Point – if exercise load is titrated to keep relative intensity constant
12 – Exercise volume and energy expenditure	Exercise parameters; session and programme duration, session frequency, exercise training intensity and modality should be clearly reported.	1 Point – if exercise volume and energy expenditure can be calculated
	Total out of a possible	15 points



Moderators of strength gains and hypertrophy in resistance training: A systematic review and meta-analysis

Marcos D. Polito ^a, Rafael R. Papst ^a and Paulo Farinatti ^{b,c}

^aPhysical Education Department, State University of Londrina, Londrina, PR, Brazil; ^bLaboratory of Physical Activity and Health Promotion, University of Rio de Janeiro State, Rio de Janeiro, Brazil; ^cGraduate Program in Physical Activity Sciences, Salgado de Oliveira University, Rio de Janeiro, Brazil

ABSTRACT

This meta-analysis investigated the role of resistance training (RT) moderators on strength and muscle mass gains in untrained young (YG) and older (OG) adults (CRD42020156505). Electronic databases were searched for randomised controlled trials simultaneously assessing muscle strength and mass, and analyses incorporated random-effects assumptions. Included trials were 56 with YG (96 interventions, N = 1077) and 63 with OG (85 interventions, N = 856). Moderators defined after initial analysis were load, repetitions-to-failure, number of repetitions, periodisation, rest intervals, sets/exercise, weekly frequency, and duration. Effect sizes (ES) reflecting improvements in strength and muscle mass were found for all moderators in YG and OG (ES 0.25- to 1.72; $p < 0.05$), excepting muscle mass in YG after RT was performed with <3 sets/exercise. Strength gains ($p < 0.001$) were greater in non-periodised vs. periodised RT in YG [ES (95%CI); 1.72 (1.41–2.03) vs. 1.05 (0.85–1.23)] and OG [1.40 (1.16–1.64) vs. 0.74 (0.49–0.98)]. ES in OG was greater ($p < 0.04$) when RT included non-failure vs. failure repetitions [1.35 (1.09–1.62) vs. 0.96 (0.77–1.16)], 3 vs. >3 sets/exercise [1.30 (1.06–1.53) vs. 0.90 (0.70–1.08)], ≥ 3 vs. <3 days/week [1.70 (1.37–2.03) vs. 0.78 (0.64–0.93)], and ≥ 12 vs. <12 weeks [1.48 (1.17–1.79) vs. 0.92 (0.76–1.09)]. A moderating effect of RT factors on muscle mass was not detected in YG, while greater ES was found in OG for RT with ≥ 3 vs. <3 days/week [0.50 (0.30–0.69) vs. 0.25 (0.11–0.39)]. Concluding, different combinations of RT factors improved strength and muscle mass in YG and OG. In OG, this was favoured by greater frequency and duration, although hampered by excessive volume.

ARTICLE HISTORY

Accepted 28 April 2021

KEYWORDS

Hypertrophy; resistance exercise; training; muscle strength; meta-analysis

Introduction

Resistance training (RT) increases muscle strength and mass, which improves functional capacity and health (American College of Sports Medicine, 2009a). According to the American College of Sports Medicine (American College of Sports Medicine, 2009a), the minimum amount of RT for healthy adults should include single or multiple sets of 8- to 10 exercises for the major muscle groups, performed at least twice a week with 8- to 12 repetitions, and intensity corresponding to 70 to 80% of repetition maximum (1RM). Despite these recommendations, different combinations of training variables have been acknowledged to moderate the RT effects (Rhea et al., 2003; Silva et al., 2014; Slimani et al., 2018). However, their optimal combination to produce strength and hypertrophic gains remains undefined.

Recently, several systematic reviews and meta-analyses have been conducted to address this issue (Benito et al., 2020; Borde et al., 2015; Grgic, Schoenfeld, Davies et al., 2018; Schoenfeld et al., 2017; Silva et al., 2014). In general, they focussed on the influence of isolated RT components, disregarding the fact that they are interdependent. Silva et al. (Silva et al., 2014) investigated the dose-response of RT in older adults considering only dynamic knee extension exercises. Even though many combinations of training variables resulted in strength increases, the meta-regression showed that only 'training duration' had an exclusive contribution. Grgic, Schoenfeld, Davies et al. (2018)

found a significant effect of RT frequency on strength gains, but subgroup analyses including potential moderators revealed that this effect was driven by factors related to the overall training volume. A recent meta-analysis (Benito et al., 2020) showed that excessive sets per exercise could negatively affect muscle hypertrophy, while the effects of training upon muscle mass did not relate to any RT factor in isolation. Overall, these findings confirm that variables related to training intensity and volume play a role in improving muscle strength and mass in healthy adults. However, they fail to inform on the specific weight of RT components to improve those outcomes. Analysis combining multiple factors seem to be necessary to determine consistent dose-responserelationships.

Moreover, the effects of RT on strength and hypertrophy have been investigated in isolation (Androulakis-Korakakis et al., 2020; Benito et al., 2020; Grgic et al., 2020; Grgic, Schoenfeld, Davies et al., 2018; Grgic, Schoenfeld, Skrepnik et al., 2018; Rhea et al., 2003; Silva et al., 2014; Slimani et al., 2018). There is a lack of integrated analysis even in the few studies addressing both outcomes (Borde et al., 2015; Schoenfeld et al., 2017). Schoenfeld et al. (2017) compared adaptations in muscle strength and mass between RTs performed with low- vs. high load. Typically, the moderating effect of loads was tested in disconnection with other training variables. Borde et al. (2015) investigated the general effects of RT on muscle strength and morphology to describe dose-

response relationships of training factors in older adults. Gains in muscle strength were mainly related to the predefined categories of “training period”, “intensity” and “time under tension”, while changes in morphology relied on the broad category of “training volume”. In short, previous effect sizes (ES) of muscle strength and mass have been calculated from different trials leading to results from dissimilar interventions and samples.

We could not find prior studies investigating the simultaneous effects of RT on muscle strength and mass, by applying an integrated perspective to assess the relative role of training variables in the same individuals. On the other hand, to summarise data from experimental trials using this approach could help to elucidate a pending problem – what would be the minimum amount of RT to increase muscle strength and mass? The accumulated evidence appears to be insufficient to inform clinicians and practitioners to design effective RTs for improving these outcomes in healthy adults of different ages. Given this gap in the current knowledge, the purposes of this systematic review and meta-analysis were to investigate the efficacy of RT in increasing muscle strength and mass in young and older adults of both sexes and to analyse the influence of training moderators reported by the included studies in these outcomes. We hypothesised that different combinations of RT factors would be capable of improving muscle strength and mass, but that their specific role would be different in young and older individuals. In short, we tested the premise that the best combination of RT factors to produce simultaneous gains in muscle strength and mass of untrained individuals would be age-related.

Materials and methods

Search strategy and selection criteria

This meta-analysis is consistent with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement (Moher et al., 2009), and was registered in the International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO) as CRD42020156505. The PRISMA checklist is available in Supplemental Digital Content 1. The structured search included articles up to April 2020, published in English. The electronic databases PubMed (including Medline), Web of Science, Scopus (including EMBASE), Cochrane, and SportDiscus were consulted. Exhaustive Boolean searches were performed to identify relevant studies, using Mesh terms related to “resistance training”, “strength”, “hypertrophy”, and “muscle mass”, either in isolation or combined. A combination of these terms resulted in the following full search strategy for PubMed: (“Resistance training”[title/abstract] OR “resistance-training”[title/abstract] OR “strength-training”[title/abstract] OR “strength training”[title/abstract] OR “weight training”[title/abstract] OR “weight-training”[title/abstract] OR “resistive-training” [title/abstract] OR “resistive training”[title/abstract] OR “circuit training” [title/abstract] OR “circuit-training”[title/abstract] OR weightlifting[title/abstract] OR “weight-lifting” [title/abstract] OR “resistance exercise”[title/abstract]) AND (hypertrophy[title/abstract] OR “cross-sectional area”[title/abstract] OR hypertrophic[title/abstract] OR “muscle mass”[title/abstract] OR “lean body mass”[title/abstract] OR “muscle

fiber hypertrophy”[title/abstract] OR “muscle size”[title/abstract]) NOT (cancer[title/abstract] OR HIV[title/abstract] OR AIDS[title/abstract] OR diabetes[title/abstract] OR hypertension [title/abstract] OR rat[title/abstract] OR mouse[title/abstract] OR children[title/abstract] OR haemodialysis[title/abstract] OR heart failure[title/abstract] OR obesity[title/abstract] OR osteoporosis[title/abstract]).

Qualifying RT trials included the following: healthy adult populations (>18 yr), RT intervention 6 weeks, nonexercise control group, pre vs. post-training measures of muscle strength and muscle mass in RT and control groups and reported FITT components (frequency, intensity, time, and type) of RT interventions. We excluded cross-sectional and epidemiological studies, and trials including individuals with obesity, chronic diseases (cardiovascular or metabolic) or very specific highly trained populations (athletes, soldiers, astronauts, pilots, police officers and firefighters). When trials involved weight loss programmes, drugs, or diet therapy in addition to RT, only groups not treated by those interventions were included in the analysis (control and RT only groups).

Data extraction and analysis

Two researchers independently extracted study information with high reliability across all dimensions (mean Cohen’s $k = 0.93$). All disagreements were resolved by consensus. Data were extracted as reported by the authors and included study characteristics (e.g., randomisation and methodological study quality), sample characteristics (e.g., number of participants, sex, and age), and changes in muscle strength and mass (pre-post intervention in RT vs. controls). Analyses were performed within previously defined age groups: young (18 to 55 yrs) and older adults (> 55 yrs). Features of RT intervention included: repetitions (number and whether performed to failure), number of sets per exercise, training duration, weekly frequency, rest intervals between sets and exercises, training loads, and periodisation. Methodological study quality was assessed with the Testex scale (Smart et al., 2015), a 12-point checklist with higher scores (maximum 15 points) indicating better study quality. Sensitivity analysis was used to verify the influence of studies that used training load less than 50% 1-RM

Effect-size calculation and moderator analysis

Standardised mean difference corrected by the bias (Hedges’ g) was used to quantify the effectiveness of RT, defined as the mean difference in muscle strength and muscle mass between RT and control group post- versus pre-intervention based on the pooled, weighted standard deviation. Positive g values indicated increases in muscle mass or strength vs. control groups. The ES calculations assumed a random effect model. For each RT intervention, ES calculations considered a single measure of strength and muscle mass. If trials reported more than one value, a collapsed ES was calculated. Inconsistencies in g s were estimated by the Q statistic transformed into I^2 and its 95% confidence intervals. The I^2 values range from 0% (homogeneity) to 100% (greater heterogeneity); a CI that does not include 0% indicates that the hypothesis of homogeneity is rejected, and inference of heterogeneity is merited.

Potential for publication bias was assessed using funnel plots through Egger’s test (i.e., observed *g* values were plotted in contrast to their standard errors), which were visually examined for asymmetry and the presence of outliers. In addition, the nonparametric “trim and fill” method of Duval and Tweedie was also used to test and correct potential publication biases (Duval & Tweedie, 2000). In the presence of significant heterogeneity, Q-test-based ANOVA was used to explain variability in muscle strength and mass responses within age groups. RT characteristics (e.g., training variables) and study quality were included as potential moderators. All interaction terms were generated with moderators and independently tested for significance. In all cases, calculations were performed using the Comprehensive Meta-Analysis software version 2.2.064 (Biostat™, Englewood, NJ, USA), with a significance level set at $P \leq 0.05$.

Results

Study characteristics

Figure 1 summarises the systematic search and selection process of the included RT trials. In total, 119 studies qualified for inclusion in this meta-analysis. A list of included trials and their methodological characteristics is available in Supplemental Digital Content 2. Fifty-six studies totalling 96 interventions included young samples (895 men and 182 women), whereas 63 studies totalling 85 interventions were conducted with older individuals (199 men and 657 women). In general, participants exhibited poor levels of physical activity (sedentary or low activity). Overall, the trials

were of moderate methodological study quality, satisfying 53% or 8 points on the Testex Scale with considerable variability (4- to 12 points; mean \pm SD: 7.5 ± 1.6). Only three trials were considered to be of higher quality (70% of the items satisfied) (Cadore et al., 2014; Walker et al., 2013, 2014) while three trials were of very low quality, satisfying less than 30% of the items (Chilibeck et al., 1999; Kemi et al., 2011; Pipes, 1978).

Features of RT interventions and assessment methods

Most interventions were non-periodised, with only 15 trials with young samples and 21 trials with older individuals applying some kind of periodisation (please refer to the complete list of trials and respective characteristics in Supplemental Digital Content 2). On average, RT in trials with young participants was performed 3 ± 0 days/week for 16 ± 5 weeks, including 4 ± 3 exercises, 3 ± 0 sets/exercise, 11 ± 3 reps (58% of trials with repetitions performed until failure), loads of $72 \pm 15\%$ of 1-RM, and rest intervals of 103 ± 21 s. In trials with older samples, RT occurred 3 ± 1 days/week during 19 ± 8 weeks and included 7 ± 3 exercises, 3 ± 0 sets/exercise, 11 ± 2 reps (30% of trials with repetitions performed until failure), loads corresponding to $71 \pm 9\%$ of 1-RM, and rest intervals of 96 ± 21 s. In most cases, 1-RM tests (95 trials) and dynamometry (18 trials) were used to assess maximal strength. Muscle mass was directly measured (ultrasound, planimetry, magnetic resonance imaging, and computerised tomography) in 39 trials, indirectly estimated in 76 trials (dual-energy X-ray absorptiometry, skinfolds, bioimpedance, hydrostatic weighing, and air displacement

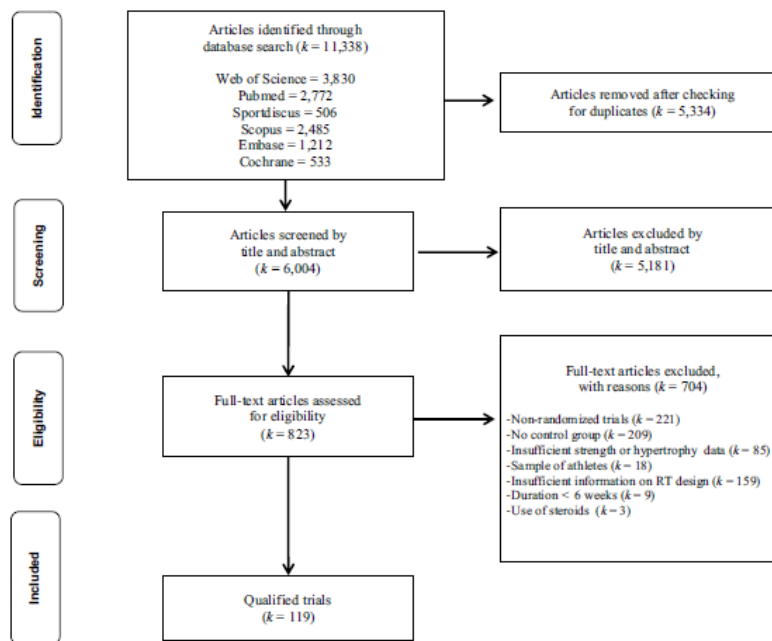


Figure 1. Flow chart detailing the systematic search of potential reports (k) and selection process of included RT trials.

plethysmography), and measured *in vitro* in 4 trials (histochemical analysis and biopsy). Details related to strength and muscle mass assessment methods are also available in Supplemental Digital Content 2.

Effect sizes of strength and muscle mass

The overall ES for the 96 interventions including young individuals were of 1.43 (1.23–1.63; $I^2 = 81.72$; $\tau^2 = 0.76$) for strength and of 0.54 (1.23–1.63; $I^2 = 70.44$; $\tau^2 = 0.40$) for

Table 1. Effect sizes, I^2 and τ^2 statistics for strength and muscle mass after resistance training in young individuals ($k = 96$).

Moderator	Mean \pm SD (range)	Strength			Muscle Mass		
		ES (95% CI)	I^2	τ^2	ES (95% CI)	I^2	τ^2
Load (% 1-RM)							
$\geq 70\%$ 1-RM ($k = 63$)	79.9 \pm 9.8 (70–120)	1.39 (1.14–1.64)	82.37	0.78	0.47 (0.29–0.64)	62.89	0.29
$< 70\%$ 1-RM ($k = 33$)	56.4 \pm 7.9 (30–65)	1.52 (1.18–1.87)	80.96	0.77	0.71 (0.39–1.02)	79.26	0.63
Repetitions (fatigue)							
Failure ($k = 56$)	-	1.38 (1.17–1.59)	68.26	0.40	0.46 (0.27–0.65)	66.87	0.34
Non-failure ($k = 40$)	-	1.55 (1.17–1.92)	88.49	1.20	0.66 (0.40–0.92)	74.73	0.50
Repetitions							
≥ 10 ($k = 49$)	13 \pm 7 (10–50)	1.55 (1.24–1.87)	84.01	1.01	0.52 (0.30–0.74)	73.82	0.45
< 10 ($k = 45$)	8 \pm 2 (4–9)	1.32 (1.06–1.59)	79.63	0.60	0.59 (0.37–0.81)	66.09	0.36
Sets/exercise							
> 3 ($k = 20$)	5 \pm 1 (4–7)	1.37 (0.94–1.80)	79.52	0.74	0.58 (0.27–0.89)	62.88	0.31
3 ($k = 50$)	3 \pm 0 (3)	1.48 (1.21–1.75)	82.89	0.80	0.59 (0.40–0.78)	67.60	0.35
< 3 ($k = 18$)	2 \pm 0.5 (1–2)	1.36 (0.90–1.83)	81.87	0.80	0.34 (–0.08–0.75)	78.12	0.61
Weeks							
> 12 ($k = 51$)	22 \pm 7 (13–48)	1.38 (0.89–1.87)	87.64	1.19	0.50 (0.12–0.88)	76.30	0.62
≤ 12 ($k = 45$)	10 \pm 2 (6–12)	1.44 (1.22–1.66)	79.12	0.65	0.55 (0.38–0.71)	68.64	0.36
Frequency (days/week)							
≥ 3 ($k = 48$)	3 \pm 0 (3–4)	1.37 (1.10–1.65)	78.63	0.63	0.33 (0.15–0.52)	53.10	0.20
< 3 ($k = 48$)	2 \pm 0 (2)	1.48 (1.19–1.77)	83.85	0.90	0.53 (0.25–0.71)	69.72	0.44
Periodization							
Yes ($k = 37$)	-	1.05 (0.85–1.23)	57.99	0.21	0.51 (0.31–0.71)	52.94	0.19
No ($k = 59$)	-	1.72 (1.41–2.03) *	86.14	1.17	0.57 (0.35–0.79)	76.21	0.54
Rest interval (s)							
≤ 90 ($k = 31$)	60 \pm 15 (20–90)	1.50 (1.00–1.84)	87.04	0.83	0.60 (0.30–0.91)	60.89	0.53
> 90 ($k = 41$)	136 \pm 25 (105–180)	1.33 (0.92–1.55)	78.99	0.80	0.59 (0.28–0.74)	66.42	0.47
Study quality							
> 7 ($k = 42$)	9 \pm 1 (8–12)	1.52 (1.15–1.77)	91.01	0.74	0.41 (0.16–0.66)	73.37	0.48
≤ 7 ($k = 54$)	6 \pm 2 (4–7)	1.49 (1.11–1.70)	89.33	0.88	0.63 (0.44–0.83)	67.84	0.35

* Significant difference vs. trials with periodization ($P < 0.001$).

Table 2. Effect sizes, I^2 and τ^2 statistics for strength and muscle mass after resistance training in older individuals ($k = 85$).

Moderator	Mean \pm SD (range)	Strength			Muscle Mass		
		ES (95% CI)	I^2	τ^2	ES (95% CI)	I^2	τ^2
Load (% 1-RM)							
$\geq 70\%$ 1-RM ($k = 33$)	76.1 \pm 6.0 (70–92)	1.24 (0.99–1.49)	72.89	0.34	0.40 (0.24–0.56)	40.46	0.09
$< 70\%$ 1-RM ($k = 52$)	61.4 \pm 4.8 (50–67)	1.20 (0.93–1.46)	86.09	0.78	0.38 (0.20–0.55)	64.79	0.26
Repetitions (fatigue)							
Failure ($k = 26$)	-	0.96 (0.77–1.16)	51.87	0.12	0.44 (0.29–0.60)	29.48	0.05
Non-failure ($k = 59$)	-	1.35 (1.09–1.62) *	86.41	0.84	0.36 (0.20–0.53)	63.98	0.26
Repetitions							
> 10 ($k = 41$)	13 \pm 2 (11–20)	0.97 (0.76–1.17)	67.54	0.25	0.36 (0.21–0.50)	39.26	0.08
≤ 10 ($k = 44$)	9 \pm 1 (5–10)	1.29 (0.96–1.62)	88.04	0.83	0.42 (0.22–0.62)	67.84	0.30
Sets/exercise							
> 3 ($k = 13$)	4 \pm 1 (4–6)	0.90 (0.70–1.08)	00.00	0.00	0.21 (–0.01–0.43)	00.00	0.00
3 ($k = 52$)	3 \pm 0 (3)	1.30 (1.06–1.53)	80.34	0.54	0.32 (0.16–0.48)	58.45	0.20
< 3 ($k = 20$)	2 \pm 0.5 (1–2)	1.27 (0.78–1.76)	91.06	1.10	0.60 (0.35–0.86)	65.17	0.21
Weeks							
> 12 ($k = 47$)	26 \pm 12 (13–72)	1.48 (1.17–1.79) †	88.75	0.95	0.44 (0.25–0.64)	67.58	0.29
≤ 12 ($k = 38$)	10 \pm 2 (6–12)	0.92 (0.76–1.09)	45.45	0.11	0.33 (0.18–0.47)	35.77	0.07
Frequency (days/week)							
≥ 3 ($k = 45$)	3 \pm 0.4 (3–5)	1.70 (1.37–2.03) ‡	88.01	1.03	0.50 (0.30–0.69) #	68.62	0.29
< 3 ($k = 40$)	2 \pm 0.2 (1–2)	0.78 (0.64–0.93)	46.84	0.10	0.25 (0.11–0.39)	25.05	0.05
Periodization							
Yes ($k = 23$)	-	0.74 (0.49–0.98)	65.62	0.20	0.39 (0.26–0.52)	73.52	0.40
No ($k = 62$)	-	1.40 (1.16–1.64) §	84.26	0.73	0.39 (0.08–0.69)	47.04	0.20
Rest interval (s)							
≤ 90 ($k = 37$)	72 \pm 19 (30–90)	1.29 (1.01–1.54)	81.16	0.64	0.45 (0.26–0.58)	59.33	0.24
> 90 ($k = 23$)	134 \pm 24 (120–180)	1.17 (0.92–1.40)	79.48	0.55	0.40 (0.23–0.60)	61.72	0.33
Study quality							
> 7 ($k = 43$)	9 \pm 2 (8–12)	1.42 (1.24–1.67)	82.66	0.69	0.50 (0.29–0.71)	73.87	0.35
≤ 7 ($k = 42$)	6 \pm 0.5 (5–7)	1.33 (1.09–1.55)	88.75	0.77	0.26 (0.14–0.38)	56.39	0.40

* Significant difference vs. repetition to failure ($P = 0.02$); † Significant difference vs. > 3 sets ($P = 0.01$); ‡ Significant difference vs. ≤ 12 weeks ($P = 0.002$); § Significant difference vs. < 3 days/week ($P < 0.001$); # Significant difference vs. < 3 days/week ($P = 0.04$); § Significant difference vs. trials with periodization ($P < 0.001$)

muscle mass. In the 85 interventions with older individuals, overall ES were of 1.22 (1.03–1.41; $I^2 = 82.67$; $\tau^2 = 0.60$) for strength and of 0.38 (0.25–0.50; $I^2 = 57.92$; $\tau^2 = 0.19$) for muscle mass. No difference between young and older groups were found for overall ES regarding strength gains or hypertrophy. Table 1 depicts ES, I^2 and τ^2 data obtained for muscle strength and muscle mass per RT moderator in trials developed with young samples. All categories produced significant ESs of approximately the same magnitude as the overall ES. With regard to moderator analysis, strength gains seemed to be favoured in non-periodised vs. periodised programmes. Table 2 presents the results for trials including older individuals. Values of most ES per moderator approximated the overall ES, excepting those of strength gains in periodised RT performed in less than 3 days/week. Significant ES were found for all moderators' categories, except for RT performed with more than 3 sets/exercise ($P = 0.09$). However, comparisons across categories of moderators showed that ES was lower in RT

including repetitions until failure, more than 3 sets/exercise, periodisation, weekly frequency lower than 3 days/week, and duration shorter than 12 weeks.

Risk of bias, sensitivity analysis, and heterogeneity

The sensitivity analysis showed no interference in the results. Risk of publication bias was identified for strength data in trials including young (Egger's intercept = 2.65; $P < 0.001$) and older participants (Egger's intercept = 3.42; $P < 0.001$) (Figures 2 and 3, respectively). Risk of bias in muscle mass analysis was detected in trials with young (Egger's intercept = 2.06; $P = 0.008$), but not older samples (Egger's intercept = 1.08; $P = 0.16$) (Figures 4 and 5, respectively). Duval and Tweedie's correction did not change the significance of the ES calculated for strength and muscle mass. The heterogeneity using the random-effects model was high for strength outcomes in young ($I^2 = 81.7\%$; $P < 0.001$) and older samples ($I^2 = 82.7\%$;

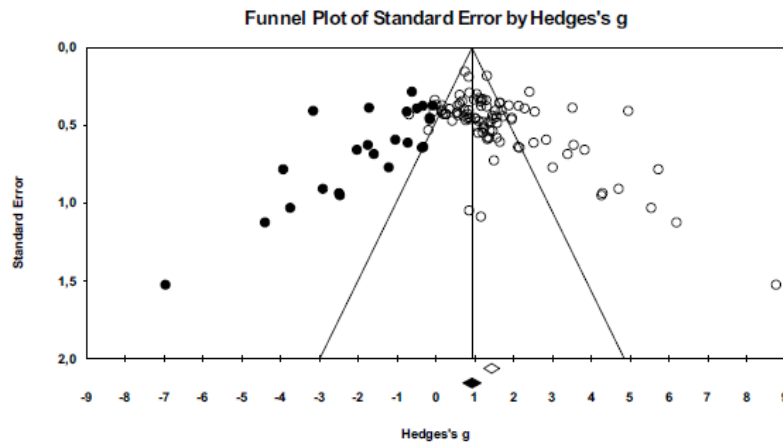


Figure 2. Risk of bias for muscle strength in trials with young individuals (Egger's intercept = 2.65; $P < 0.001$); black circles = studies trimmed (n = 24).

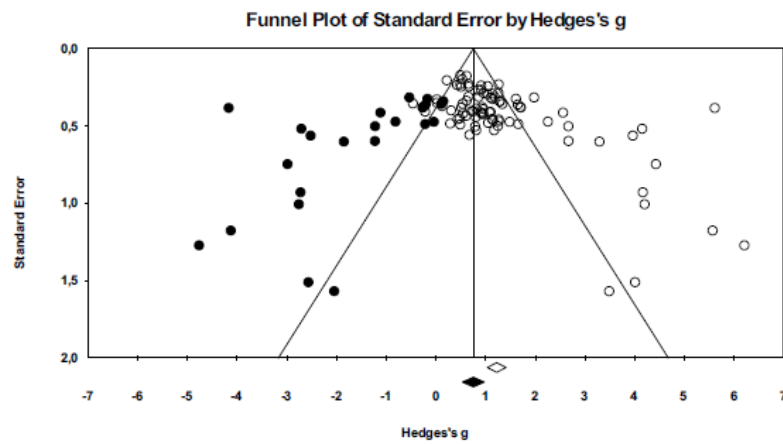


Figure 3. Risk of bias for muscle strength in trials with older individuals (Egger's intercept = 3.42; $P < 0.001$); black circles = studies trimmed (n = 24).

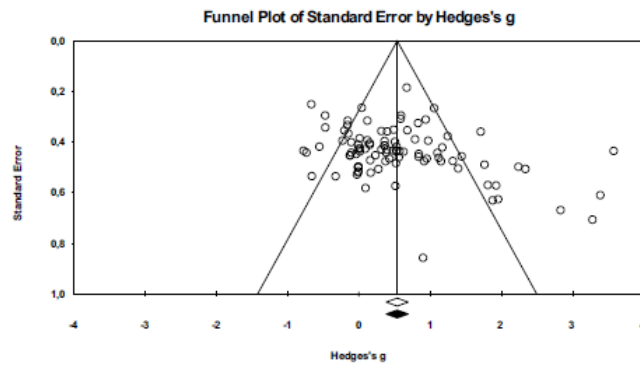


Figure 4. Risk of bias for muscle mass in trials with young individuals (Egger's intercept = 2.06; $P = 0.008$); no study trimmed.

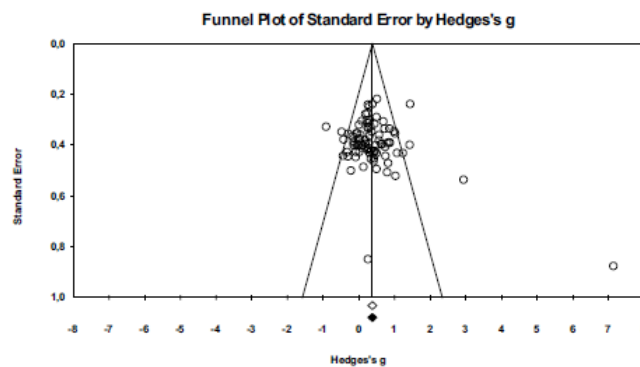


Figure 5. Risk of bias for muscle mass in trials with older individuals (Egger's intercept = 1.08; $P = 0.16$); no study trimmed.

$P < 0.001$), and moderate for muscle mass in trials including both young ($I^2 = 70.4\%$; $P < 0.001$) and older samples ($I^2 = 57.9\%$; $P < 0.001$).

Minimum and best recommendations of RT to increase strength and muscle mass

Table 3 illustrates the minimum and best RT recommendations for increasing muscle strength and mass in young and older adults. The minimum recommendations were established according to the greatest prevalence of each moderator category showing significant ES as reported by the included trials. In most cases, the prevalence was higher than 80%. The exceptions were the load (71%) and sets/exercise (72%) in trials with young samples. In addition to this information, the best recommendations considered significant differences in ES between moderator categories (Tables 1 and 2).

Discussion

The present meta-analysis addresses the moderator effects of selected RT features upon strength improvement and hypertrophy in young and older healthy adults. In general, ES of strength and muscle mass per moderator within age groups

Table 3. The minimum and best recommendations of resistance training variables to improve strength and muscle mass in young and older individuals are based on ES calculations ($k = 96$).

Variable	Minimum Recommendation		Best recommendation	
	Young adults	Older adults	Young adults	Older adults
Load (% 1-RM)	65–85% 1-RM	60 to 80% 1-RM	65 to 85% 1-RM	60 to 80% 1-RM
Repetitions (N)	8 to 12	8 to 15	8 to 12	8 to 15
Repetitions (failure)	Indifferent	Indifferent	Indifferent	No
Sets/exercise (N)	3 to 4	1 to 3	3 to 4	3
Rest intervals (s)	60 to 150	60 to 120	60 to 150	60 to 120
Weeks (N)	6 to 24	6 to 24	6 to 24	> 12
Frequency (days/week)	2 to 3	2 to 3	2 to 3	≥ 3
Periodization	Indifferent	Indifferent	No	No

were equivalent to the overall ES calculated for those outcomes. However, the stratified moderator analysis ratified the hypothesis that optimal improvements in young and older individuals would result from different combinations of training components. In short, gains in both age groups occurred in response to different arrangements of intensity (load,

repetitions, and rest intervals) and volume (sets/exercise, frequency, and duration), but the specific role of RT factors seemed to be age-related. However, our data challenged the relative influence of RT variables usually acknowledged favouring increases in strength and muscle mass, as greater loads and number of sets, and the use of periodised routines. It is worth noting that the tendencies presently identified have not been affected by study quality, irrespective of the age group.

Some methodological particularities of our study consist of advantages vs. prior meta-analysis. First, given the close relationship between changes in strength and muscle mass, they were simultaneously analysed, while previous meta-analyses have examined these outcomes in isolation (Borde et al., 2015; Grgic, Schoenfeld, Davies et al., 2018; Schoenfeld et al., 2017). Moreover, ES for strength and muscle mass have often been calculated using different trials and samples, limiting our understanding of structural muscle adaptations contributing to strength improvement. Moreover, we extend the current knowledge by analysing multiple potential moderators of changes in muscle strength and mass. Previous studies focussed on single moderators, as loads (Schoenfeld et al., 2017), repetition duration (Schoenfeld et al., 2015), weekly frequencies (Grgic, Schoenfeld, Davies et al., 2018; Schoenfeld et al., 2019) and rest intervals (Grgic, Schoenfeld, Skrepnik et al., 2018), or periodisation (Williams et al., 2017), which may lead to misinterpretation as RT factors have mutual influence. We found only two meta-analyses examining the effects of multiple RT factors on strength (Rhea et al., 2003) and muscle mass (Benito et al., 2020).

Another important issue was the inclusion of non-exercising control groups, which has been neglected by prior meta-analyses. Prior studies have mostly made comparisons pre vs. post-training or between different RT interventions. In the only located study contrasting RT intervention and control groups, moderator analysis has not been performed (Grgic et al., 2020). The lack of non-exercising control groups in the estimation of ES is problematic – when two or more RT protocols are applied, one of them cannot be regarded as a control for the others, as differences between groups regarding responsive and non-responsive individuals are unknown. In the present study, only controlled trials were included to avoid bias due to potential differences in responsivity to RT (Roberts et al., 2018), which may help to explain some of the discrepant findings vs. previous meta-analyses.

Loads are usually acknowledged as key determinants of strength gains and hypertrophy due to RT (American College of Sports Medicine, 2009a, 2009b, 2018). Interestingly, we found similar ES for both strength and muscle mass across load categories, irrespective of the age group. Prior meta-analyses have extensively shown that gains in maximal strength would be favoured by high- vs. low-load training in either young (Rhea et al., 2003; Schoenfeld et al., 2017) or older adults (Csapo & Alegre, 2016). However, in at least one study with young (Schoenfeld et al., 2016) and another with older adults (Silva et al., 2014), the moderating role of load in strength gains has been suggested to depend on other RT factors. With regard to hypertrophy, current evidence does not support the RT-load as a moderating factor (Csapo & Alegre, 2016; Schoenfeld et al., 2017). It has been suggested

that similar increases in muscle mass would result from high- and low- RT performed volume-matched (Lasevicius et al., 2018). Our data showing the significant influence of volume-related RT factors on ES calculated for strength and muscle mass reinforce this premise, particularly in older samples.

However, it is worth noting that our findings might have been influenced by methodological issues. We have not exclusively adopted maximal strength measurements as strength outcomes (e.g., 1-RM) as found in other meta-analyses (Androulakis-Korakakis et al., 2020; Hagstrom et al., 2020). If this option enlarged the number of included trials, bias in ES calculations may have resulted from mixed strength tests using different units, as the relative increase in one test might be different vs. another. The cut-off points used to define low and high loads in prior studies can also be potentially confounding – while some studies applied classifications similar to ours to define high-load (70% 1-RM) (Silva et al., 2014), others used 60% 1-RM (Schoenfeld et al., 2017) or even 80% and 45% 1-RM for high- and low-loads, respectively (Csapo & Alegre, 2016). The load range applied in the trials included in the present study was narrow – most studies with intensities below 70% of 1-RM using loads between 50–60% of 1-RM, while in only eight trials the loads were below 50% of 1-RM. This characteristic limited the chances of detecting differences in ES between categories. For these reasons, additional studies are warranted to establish the specific role of RT load on the concomitant gains in strength and muscle mass.

The RT volume can be altered by manipulating the number of repetitions/set or sets/workout. In the present study, an excessive number of sets (>3 sets/exercise) and repetitions until failure lowered the ES found for strength in older individuals. Figueiredo et al. (2018) observed that hypertrophy in untrained individuals would be favoured by a higher number of sets/week/muscle group. However, a prior meta-analysis showed that excessive sets/workout might negatively affect gains in muscle mass (Benito et al., 2020). It has been proposed that the firing rate of motor units would be hindered by fatigue (Christova & Kossev, 1998). Our findings are consistent with the premise that older individuals exhibit lower toleration to fatigue vs. young counterparts, suggesting an age-related moderating effect of this variable on strength gains. However, it must be noted that most trials with older individuals applied non-failure repetitions (59 of 85 trials), and bias in ES could result from this discrepancy. We could find a single meta-analysis addressing the role of this specific variable, including eight trials with samples of dissimilar training levels (Davies et al., 2016). Although both models had been capable to induce gains in muscular strength, the ES was greater in non-failure vs. failure repetitions, which concurs with our data.

Weekly frequency and training duration are also components of RT volume. Optimised strength gains in older individuals occurred when RT was performed at least three days/week, and interventions lasted more than 12 weeks. A greater training frequency also influenced the hypertrophic responses of this age group. Prior meta-analyses with mixed populations suggested that when RT is volume-equated, there would be no significant effect of RT frequency on strength gains, whereas a slight favouring effect of weekly frequency seems to occur in non-volume equated RT for strength (Grgic, Schoenfeld, Davies

et al., 2018; Ralston et al., 2018) or hypertrophy (Schoenfeld et al., 2019). Grgic, Schoenfeld, Davies et al. (2018) were the only to perform an analysis stratified according to age sub-groups – a significant effect of training frequency was detected in young adults, but not among middle-aged and older adults. Overall, these findings suggest that, with regard to muscle strength, younger adults would be more responsive to RT performed with greater weekly frequency than older adults. On the other hand, in which concerns muscle mass individuals might freely choose their weekly frequency, as long as the RT volume is equated. Our data disagree with these premises, suggesting that gains in both strength and muscle mass in older adults would be favoured by greater frequencies, while in young adults this factor would be subordinated to other RT factors.

The duration of RT intervention is accepted as a major determinant of strength gains. Our data agree with the premise that longer interventions favour strength gains, particularly among older individuals (Benito et al., 2020; Borde et al., 2015; Silva et al., 2014). Silva et al. (2014) claimed that any combination of RT variables would be capable of improving muscular strength in older adults, provided the training duration is long enough. A few meta-analyses examined the role of RT duration on hypertrophy. Borde et al. (2015) did not observe significant effects of this moderator on changes in muscle mass in older individuals, which agrees with our findings. Data for young samples are mixed – positive relationships between RT duration and hypertrophy have been reported in young men (Benito et al., 2020), but not in women (Hagstrom et al., 2020).

Periodisation has been advocated as a strategy to maximise strength gains and hypertrophy (American College of Sports Medicine, 2009a). Our data disagreed with position stands that recommend a gradual progression of loads, repetitions, and weekly frequencies (American College of Sports Medicine, 2009a, 2009b; Fragala & Cadore et al., 2019; Garber & Blissmer et al., 2011). Regardless of the age group, the quantitative estimates of effects on strength were greater when routines were non-periodised, while periodisation did not influence changes in muscle mass. Our findings suggest that routines beginning with high loads would be more efficient at increasing strength than those increasing loads over time. However, the relatively small number of periodised vs. non-periodised trials may have influenced the ES found for strength – of the 119 trials presently examined, only 36 applied periodised RT. Besides this, other factors must also be considered in further studies. For instance, loads applied in non-periodised plans were usually greater than the range of 40–50% 1-RM suggested for older or untrained adults (American College of Sports Medicine, 2009a; Garber & Blissmer et al., 2011). This moderate load range was present only in periodised RTs (please refer to Supplemental Digital Content 2).

In any case, evidence on the effects of periodization on strength gains remains controversial. Williams et al. (2017) demonstrated that improvements in 1-RM following periodised RT were moderately greater vs. non-periodised plans, particularly in untrained participants and after prolonged interventions. On the contrary, some meta-analyses failed to detect differences due to periodisation in strength gains (Harries et al., 2015) or hypertrophy (De Souza et al., 2018). These

studies reviewed trials comparing different periodisation models, while the present meta-analysis included comparisons vs. non-exercise control groups. This methodological particularity influenced the number of meta-analysed trials – while 119 trials have been included in the present study, the works by Williams et al. (2017) and Harries et al. (2015) examined only 18 and 15 trials, respectively.

The ESs of strength and muscle mass were not influenced by rest intervals between sets and exercises, irrespective of the age group. This finding concurs with a prior systematic review (Grgic, Schoenfeld, Skrepnik et al., 2018), indicating that rest intervals within RT to improve strength in untrained individuals might range from 60- to 120 s. In which concerns the effects on muscle mass, the role of rest intervals is uncertain. A systematic review (Henselmans & Schoenfeld, 2014) found that most of the few studies addressing this topic failed to demonstrate a significant effect of this factor on muscle growth. Overall, there is no ground to support the notion that training for muscle hypertrophy requires shorter rest intervals than training for strength development. Our data reinforce the premise that, at least in untrained individuals, the duration of rest intervals are secondary to other RT factors, being not determinant of gains in strength and muscle mass.

In practical terms, our findings allow suggesting minimum and best combinations of RT factors for the improvement of strength and muscle mass in young and older adults, which can be considered as the main contribution of the present study. Available recommendations for young populations (American College of Sports Medicine, 2009a, 2018; Garber & Blissmer et al., 2011) and older adults (American College of Sports Medicine, 2009b; Fragala & Cadore et al., 2019) propose that RT be performed 2–3 days/week, including 2–4 sets of 8–12 repetitions per exercise, loads corresponding to 40–50% of 1-RM (sedentary), or 60–70% of 1-RM (novice), and 2–3 min rest intervals. In general, our data concurred with those recommendations. However, ES were higher in non-periodised vs. periodised programmes by 64% in young and 90% in older samples. Additionally, in trials with older individuals, the ES of strength gains were greater when RT was performed at least three days/week (~118%), during more than 12 weeks (~61%), and applying up to three sets/exercise (~44%). With regard to muscle mass in older individuals, the RT performed at least 3 days/week produced twice the ES obtained for lower frequencies. These findings suggest that different combinations of intensity and volume are equally capable of eliciting strength gains and hypertrophy in young individuals. However, while improvements in older individuals were favoured by greater weekly frequency and training duration, increases in strength were lower when the amount of muscle work during RT sessions was excessive, as reflected by repetitions to failure and sets/exercise. This is important and original information for practitioners designing RT programmes for older groups.

This meta-analysis has limitations. First, the included studies had different methods and interventions. However, moderators did not differ so much between studies. Furthermore, the included trials provided data on strength and muscle mass through different types of tests, and their quality (e.g., standard error of measurement) was not considered in the analysis. Therefore, underestimation or overestimation of changes may

have occurred. In addition, some studies presented more than one measure of strength and/or hypertrophy. In this case, we have chosen to calculate a single collapsed outcome from all measures, avoiding bias due to the arbitrary choice of a given measure. Another limitation results from methodological differences across studies that could not be controlled in the present analysis. For instance, RT trials lack standardisation with regard to the assessment of changes in muscle strength and mass – some studies measured strength in one region and muscle mass in another; some applied exercises for the whole body while assessing strength and hypertrophy in specific regions, while others did exactly the opposite. Unfortunately, it was not possible to analyse the data taking these dissimilarities into account.

We conclude that different combinations of RT factors related to intensity and volume were capable of improving strength and muscle mass in untrained young and older adults. However, their moderating role seems to be age-related. Our data challenge the moderating role of factors usually considered as maximising strength gains and hypertrophy, particularly loads, number of sets/exercise, and periodisation. Components of RT volume, like sets/exercise, weekly frequency, and training duration were moderators of strength gains and hypertrophy in older, but not young individuals. In trials including older samples, strength gains were favoured by greater frequency and duration, although hampered by an excessive volume within RT sessions, as reflected by repetitions to failure or sets/exercise.

Disclosure statement


No potential conflict of interest was reported by the author(s).


Funding

This work was supported by the Brazilian Council for Research Development (CNPq) under grant number [304051/2019-5].

ORCID

Marcos D. Polito  <http://orcid.org/0000-0002-6720-007X>

Rafael R. Papst  <http://orcid.org/0000-0002-1729-5955>

Paulo Farinatti  <http://orcid.org/0000-0003-2463-1280>

References

- American College of Sports Medicine. (2009a). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687–708.
- American College of Sports Medicine. (2009b). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(7), 1510–1530.
- American College of Sports Medicine. (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Wolters Kluwer.
- Androulakis-Korakakis, P., Fisher, J. P., & Steele, J. (2020). The minimum effective training dose required to increase 1RM strength in resistance-trained men: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(4), 751–765. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01236-0>
- Benito, P. J., Cupeiro, R., Ramos-Campo, D. J., Alcaraz, P. E., & Rubio-Arias, J. A. (2020). A systematic review with meta-analysis of the effect of resistance training on whole-body muscle growth in healthy adult males. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1285. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041285>
- Borde, R., Hortobagyi, T., & Granacher, U. (2015). Dose-response relationships of resistance training in healthy old adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(12), 1693–1720. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0385-9>
- Cadore, E. L., Casas-Herrero, A., Zambom-Ferraresi, F., Idoate, F., Millor, N., Gómez, M., Rodríguez-Mañas, L., & Izquierdo, M. (2014). Multicomponent exercises including muscle power training enhance muscle mass, power output, and functional outcomes in institutionalized frail nonagenarians. *Age (Dordr)*, 36(2), 773–785. <https://doi.org/10.1007/s11357-013-9586-z>
- Chilibeck, P. D., Bell, G., & Syrota, D. (1999). The effect of strength training on mitochondrial distribution throughout muscle fibres. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(Supplement), S327–S327. <https://doi.org/10.1097/00005768-199905001-01637>
- Christova, P., & Kossev, A. (1998). Motor unit activity during long-lasting intermittent muscle contractions in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 77(4), 379–387. <https://doi.org/10.1007/s004210050348>
- Csapo, R., & Alegre, L. M. (2016). Effects of resistance training with moderate vs heavy loads on muscle mass and strength in the elderly: A meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(9), 995–1006. <https://doi.org/10.1111/sms.12536>
- Davies, T., Orr, R., Halaki, M., & Hackett, D. (2016). Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(4), 487–502. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0451-3>
- De Souza, E. O., Tricoli, V., Rauch, J., Alvarez, M. R., Laurentino, G., Aihara, A. Y., Cardoso, F. N., Roschel, H., & Ugrinowitsch, C. (2018). Different patterns in muscular strength and hypertrophy adaptations in untrained individuals undergoing nonperiodized and periodized strength regimens. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1238–1244. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002482>
- Duval, S., & Tweedie, R. (2000). A nonparametric “trim and fill” method of accounting for publication bias in meta-analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 95, 89–98.
- Figueiredo, V. C., De Salles, B. F., & Trajano, G. S. (2018). Volume for muscle hypertrophy and health outcomes: The most effective variable in resistance training. *Sports Medicine*, 48(3), 499–505. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0793-0>
- Fragala, M. S., Cadore, E. L., et al. (2019). Resistance training for older adults: Position statement from the national strength and conditioning association. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 33(8), 2019–2052.
- Garber, C. E., Blissmer, B., et al. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334–1359.
- Grgic, J., Garofolini, A., Orazem, J., Sabol, F., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2020). Effects of resistance training on muscle size and strength in very elderly adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Sports Medicine*, 50(11), 1983–1999. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01331-7>
- Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Davies, T. B., Lazinica, B., Krieger, J. W., & Pedisic, Z. (2018). Effect of resistance training frequency on gains in muscular strength: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(5), 1207–1220. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0872-x>
- Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Skrepnik, M., Davies, T. B., & Mikulic, P. (2018). Effects of rest interval duration in resistance training on measures of muscular strength: A systematic review. *Sports Medicine*, 48(1), 137–151. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0788-x>
- Hagstrom, A. D., Marshall, P. W., Halaki, M., & Hackett, D. A. (2020). The effect of resistance training in women on dynamic strength and muscular hypertrophy: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(6), 1075–1093. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01247-x>
- Harries, S. K., Lubans, D. R., & Callister, R. (2015). Systematic review and meta-analysis of linear and undulating periodized resistance training programs on muscular strength. *Journal of Strength and Conditioning*

- Research*, 29(4), 1113–1125. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000712>
- Henselmans, M., & Schoenfeld, B. J. (2014). The effect of inter-set rest intervals on resistance exercise-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine*, 44(12), 1635–1643. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0228-0>
- Kemi, O. J., Rognmo, O., Amundsen, B. H., Stordahl, S., Richardson, R. S., Helgerud, J., & Hoff, J. (2011). One-arm maximal strength training improves work economy and endurance capacity but not skeletal muscle blood flow. *Journal of Sports Sciences*, 29(2), 161–170. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.529454>
- Lasevicius, T., Ugrinowitsch, C., Schoenfeld, B. J., Roschel, H., Tavares, L. D., De Souza, E. O., Laurentino, G., & Tricoli, V. (2018). Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. *European Journal of Sport Science*, 18(6), 772–780. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1450898>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Pipes, T. V. (1978). Variable resistance versus constant resistance strength training in adult males. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 39(1), 27–35. <https://doi.org/10.1007/BF00429676>
- Ralston, G. W., Kilgore, L., Wyatt, F. B., Buchan, D., & Baker, J. S. (2018). Weekly training frequency effects on strength gain: A meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, 4(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0149-9>
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(3), 456–464. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000053727.63505.D4>
- Roberts, M. D., Haun, C. T., Mobley, C. B., Mumford, P. W., Romero, M. A., Roberson, P. A., Vann, C. G., & McCarthy, J. J. (2018). Physiological differences between low versus high skeletal muscle hypertrophic responders to resistance exercise training: Current perspectives and future research directions. *Frontiers in Physiology*, 9, 834. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00834>
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., & Krieger, J. (2019). 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. *Journal of Sports Sciences*, 37(11), 1286–1295. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1555906>
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(12), 3508–3523. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002200>
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I., & Krieger, J. W. (2015). Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(4), 577–585. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0304-0>
- Schoenfeld, B. J., Wilson, J. M., Lowery, R. P., & Krieger, J. W. (2016). Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.989922>
- Silva, N. L., Oliveira, R. B., Fleck, S. J., Leon, A. C. M. P., & Farinatti, P. (2014). Influence of strength training variables on strength gains in adults over 55 years-old: A meta-analysis of dose–response relationships. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(3), 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.05.009>
- Slimani, M., Paravlic, A., & Granacher, U. (2018). A meta-analysis to determine strength training related dose-response relationships for lower-limb muscle power development in young athletes. *Frontiers in Physiology*, 9, 1155. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01155>
- Smart, N. A., Waldron, M., Ismail, H., Giallauria, F., Vigorito, C., Cornelissen, V., & Dieberg, G. (2015). Validation of a new tool for the assessment of study quality and reporting in exercise training studies: TESTEX. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*, 13(1), 9–18. <https://doi.org/10.1097/XEB.0000000000000020>
- Walker, S., Hulmi, J. J., Wernbom, M., Nyman, K., Kraemer, W. J., Ahtiainen, J. P., & Häkkinen, K. (2013). Variable resistance training promotes greater fatigue resistance but not hypertrophy versus constant resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 113(9), 2233–2244. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2653-4>
- Walker, S., Peltonen, H., Sautel, J., Scaramella, C., Kraemer, W. J., Avela, J., & Häkkinen, K. (2014). Neuromuscular adaptations to constant vs. variable resistance training in older men. *International Journal of Sports Medicine*, 35(1), 69–74. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1343404>
- Williams, T. D., Toluoso, D. V., Fedewa, M. V., & Esco, M. R. (2017). Comparison of periodized and non-periodized resistance training on maximal strength: A meta-analysis. *Sports Medicine*, 47(10), 2083–2100. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0734-y>

APÊNDICE II

Tabela. Características gerais dos 119 estudos incluídos na revisão sistemática com meta-análise.

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Abe et. al, 2000	6	Tr: 17 H, 20 M; Con: 6 H, 7 M	Homens e mulheres jovens sedentários	12	3	6	3 x 10	60-70	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - chest press
Ades et. al, 1996	5	Tr: 6 H, 6 M; Con: 5 H, 7 M	Homens e mulheres jovens sedentários	12	3	7	3 x 8	80	Não	DEXA - MCM (kg) de membros inferiores	1-RM (kg) - extensor de joelhos e bench press
Aguiar et. al, 2015	10	Tr1: 9, Tr2: 9, Con: 9	Homens jovens sedentários	8	2	1	3 x 8-12	75	Não	MRI (cm ²) CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - extensor de joelhos
Ahtiainen et. al, 2011	6	Tre: 7, Con: 10	Homens jovens sedentários	21	2	8	5 x 8-20	40-90	Não	DC - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press
Alcaraz et. al, 2011	8	Tr: 15, Con: 10	Homens jovens ativos	8	3	6	2 x 8	85-90	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - agachamento e bench press
Au et. al, 2017	6	Tr1: 16, Tr2: 16, Con: 14	Homens jovens sedentários	12	2	5	3 x 20	30-50	Sim	Pletismografia - MCM (kg)	1-RM (kg) - leg press e bench press
Bagheri et. al, 2019	9	Tr1: 10, Tr2: 10, Tr3: 10, Con: 10	Homens jovens sedentários	8	3	6	3 x 8 -15	50 - 80	Não	Bioimpedância - MCM - (kg) total	Dinamômetro (kg) - extensor de joelho
Bemben et. al, 2000	6	Tr1: 10, Tr2: 7, Con: 8	Mulheres idosas sedentárias	24	3	8	3 x 8	80	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (N) - leg press e flexão de cotovelo

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação.....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Barcelos et. al, 2015	6	Tr1: 10, Tr2:10, Tr3:10, Tr4:10, Con:8	Homens jovens sedentários	8	2	1	1-3 x 25-75	50	Sim	MRI (cm ³) CSA - quadríceps	1-RM (kg) - extensor de joelho
Bezerra et. al, 2018	6	Tr1: 4 H, 7 M; Tr2: 6 H, 5 M; Con: 4 H, 4 M	Homens e mulheres idosos sedentários	8	3	3	1 x 12	N/D	Sim	DEXA - MCM (kg) de tronco e membros superiores	1-RM (kg) - remada sentada e chest press
Bonganha et. al, 2012	5	Tr: 16, Con: 16	Mulheres idosas sedentários	16	3	10	3 x 10	70-85	Não	DC - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press e bench press
Cadore et. al, 2014	12	Tr: 11, Con: 13	Homens e mulheres idosos sedentários	12	2	3	1 x 9	40-60	Não	Tomografia (mm ²) - CSA - quadríceps	Dinamômetro (N) - hand grip e extensor de joelho
Calder et. al, 1994	8	Tr1: 10, Tr2: 10, Con: 10	Mulheres jovens ativas	20	2	7	5 x 8	75-90	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press e bench press
Canuto et al, 2013	9	Tr: 2H, 7 M; Con: 7 H, 24 M	Homens e mulheres idosos sedentários	32	3	9	2 x 8-12	85	Não	DEXA - MCM (kg) total	Dinamômetro - handgrip (kg)
Campos et. al, 2002	5	Tr1: 9, Tr2: 11, Tr3: 7, Con: 5	Homens jovens sedentários	8	2-3	3	2-4 x 10-24	N/D	Sim	Análise histoquímica (µm ²) - CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - leg press e extensor de joelho
Casey et. al, 2007	9	Tr: 24, Con: 18	Homens e mulheres jovens ativos	12	3	7	2 x 8-12	N/D	Sim	Dobras cutâneas - MCM (kg)	1-RM (kg) - chest press e extensor de joelho

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Centner et. al, 2019	9	Tr: 14, Con: 13	Homens jovens sedentários	14	3	2	3 x 6-12	70-85	Não	Ultrassom (cm ³) - CSA - gastrocnemio	Dinamômetro isocinético (N.m) - flexão plantar
Charete et. al, 1991	8	Tr: 13, Con: 6	Mulheres idosas sedentárias	12	3	7	3 x 6	65-75	Não	Planimetria manual (µm ²) - CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - leg press e extensor de joelho
Chestnut e Docherty, 1999	5	Tr1: 10, Tr2: 9, Con: 5	Homens jovens sedentários	10	3	7	3-6 x 4-10	70-85	Sim	MRI (cm ²) - CSA - tríceps	1-RM (kg) - extensor de tríceps
Chilibeck et. al, 1999	4	Tr: 5 H, 3 M; Con: 3 H, 4 M	Homens e mulheres jovens sedentários	12	3	4	6 x 8	70-85	Não	Análise histoquímica (µm ²) - CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - leg press e extensor de joelho
Chilibeck et. al, 2002	8	Tr: 10, Con: 12	Mulheres idosas sedentárias	48	3	12	2 x 8-10	70	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press e bench press
Choquette et. al, 2013	8	Tr: 15, Con: 12	Mulheres idosas sedentárias	24	3	3	1 x 15	60	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press
Coburn et. al, 2006	10	Tr: 12, Con: 10	Homens jovens sedentários	8	3	1	3-5 x 6	80	Não	Pesagem hidrostática - MCM (kg) total	1-RM (kg) - extensor de joelho
Coelho-Junior et. al, 2019	9	Tr1: 15, Tr2: 15, Con: 15	Mulheres idosas sedentárias	22	2	9	3 x 9	N/D	Não	Bioimpedância - MM - (kg) total	Força isométrica (kg) - extensor de joelho

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Conceição et. al, 2013	5	Tr: 10, Con: 10	Mulheres idosas sedentárias	16	3	9	3 x 10	N/D	Sim	DC - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press e bench press
Cook et. al, 2018	8	Tr: 3 H, 3 M; Con: 3 H, 3 M	Homens e mulheres jovens sedentários	6	3	2	2 x 10	70	Sim	MRI (cm ³) - CSA - quadríceps	1-RM (kg) - extensor de joelho
Coratella et. al., 2015	8	Tr1: 16, Tr2: 16, Con: 17	Homens jovens sedentários	6	2	1	2 x 5	120	Não	DEXA - MCM (kg) membro inferior	1-RM (kg) - extensor de joelho
Correa et. al., 2014	6	Tr1: 11, Tr2: 12, Con: 12	Mulheres idosas sedentárias	12	5	8	3 x 15	N/D	Não	DC - MM (%) total	1-RM (kg) - extensor de joelho
Cunha et. al., 2018	9	Tr1: 21, Tr2: 20, Con: 21	Mulheres idosas sedentárias	12	3	8	1-3 x 12	N/D	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - extensor de joelho e rosca scott com barra
De Souza et. al, 2018	6	Tr1: 8, Tr2: 9, Tr3: 8, Con: 8	Homens jovens sedentários	12	2	2	2-3 x 8-12	N/D	Sim	MRI (mm ²) - CSA - quadríceps	1-RM (kg) - agachamento
Deibert et. al, 2011	10	Tr: 26, Con: 9	Homens idosos sedentários	12	2	5	3 x 10-25	N/D	Sim	Dobras cutâneas - MCM (kg) total	Dinamômetro isocinético (N.m) - extensor de joelho
Douda et. al, 2015	7	Tr: 10, Con: 10	Mulheres idosas sedentárias	36	3	10	2-3 x 10-15	N/D	Não	Bioimpedância - MCM (kg) total	1-RM (kg) - shoulder press
Dutra et al, 2018	11	Tr: 12, Con: 15	Mulheres jovens sedentárias	10	2	4	2-4 x 8-12	N/D	Sim	Ultrassom (mm) - ESP - quadríceps	Dinamômetro isocinético (N.m) - extensor de joelho

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Emerson et. al, 2015	9	Tr: 11, Con: 12	Homens e mulheres idosos sedentários	6	2	10	3 x 8-15	70-85	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - extensor de joelho
Evangelista et al,	8	Tr: 25, Con: 16	Homens e mulheres jovens sedentários	8	2	3	3 x 8-12	N/D	Não	Ultrassom (mm) - ESP - vasto lateral, bíceps e tríceps braquial	1-RM (kg) - rosca direta, agachamento e extensor de tríceps
Fiataroni-Singh et. al, 1999	7	Tr: 6, Con: 6	Homens e mulheres idosos sedentários	10	3	1	3 x 8	80	Não	Tomografia (μm^2) - CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - extensor de joelho
Flack et. al, 2016	6	Tr: 11, Con: 8	Homens idosos sedentários	12	3	7	1 x 10	N/D	Sim	DEXA - MCM (kg) total	3-RM (kg) - leg press e chest press
Fonseca et. al, 2014	7	Tr1: 10, Tr2:10, Tr3:10, Tr4:10;Con:8	Homens jovens ativos	12	3	1	1-9 x 6-10	N/D	Não	MRI (mm^2) - CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - agachamento
Fragala et. al1, 2013	6	Tr: 7 H, 5 M; Con: 5 H, 6 M	Homens e mulheres idosos sedentários	6	2	13	3 x 15	70 - 85	Não	DEXA - MCM (kg) total	Repetições múltiplas (kg) - extensor de joelho
Fragala et. al2, 2014	6	Tr: 8 H, 4 M; Con: 6 H, 5 M	Homens e mulheres idosos sedentários	6	2	8	3 x 12	N/D	Não	DEXA - MCM (kg) total	Dinamômetro - hand grip (kg)
Frontera et. al, 2003	7	Tr: 7, Con: 7	Mulheres idosas sedentárias	12	3	2	4 x 8	65 - 75	Não	Tomografia (μm^2) - CSA - quadríceps	1-RM (psi) - e isocinético (N.m) extensor de joelho

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Goto et. al, 2005	9	Tr: 7, Con: 7	Homens jovens sedentários	12	2	4	3-5 x 10	75	Não	MRI (cm ²) CSA - quadríceps	1-RM (kg) - extensor de joelho
Guadalupe-Grau et. al, 2009	8	Tr: 28, Con: 38	Homens e mulheres jovens sedentários	9	3	4	1-3 x 12	50-90	Não	DEXA - MCM (kg) total	Força isométrica máxima - agachamento
Hagerman et. al, 2000	9	Tr: 9, Con: 9	Homens ativos idosos	16	2	3	3 x 6-8	85-90	Sim	Dobras cutâneas - MCM (kg) total	1-RM (kg) - extensor de joelho e leg press
Harber et. al, 2004	6	Tr: 8, Con: 4	Homens jovens sedentários	10	3	10	2 x 15	40-60	Não	Pesagem hidrostática - MCM (kg) total	1-RM (kg) - bench press
Hassan et. al, 2015	10	Tr: 20, Con: 21	Homens e mulheres idosos sedentários	24	2	8	3 x 15	N/D	Não	Bioimpedância - MCM - (kg) total	Dinamômetro (kg) - hand grip
Hulmi et. al1., 2009	6	Tr: 10, Con: 10	Homens jovens sedentários	21	2	10	3 x 15	40-85	Não	MRI (cm ²) CSA - quadríceps	1-RM (kg) - leg press
Hulmi et. al.2, 2007	9	Tr: 10, Con: 10	Homens ativos idosos	21	2	10	2-5 x 5-20	40-85	Não	Bioimpedância - MM - (kg) total	1-RM (kg) - extensor de joelho

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Hunter et. al, 2001	8	Tr1: 14, Tr2: 14, Con: 8	Homens e mulheres idosos sedentários	25	3	8	2 x 10	50-80	Sim	Pletismografia - MCM (kg) total	Dinamômetro (N) - extensor de joelho
Janzen et. al., 2006	8	Tr1: 14, Tr2: 12, Con: 24	Mulheres idosas sedentárias	26	3	10	4-6 x 10	50-60	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press
Kalapocharakos et. al, 2004	6	Tr1: 4H, 7m; Tr2: 4H, 8M; Con: 4H, 6M	Homens e mulheres idosos sedentários	12	3	6	3 x 12	60-80	Não	Tomografia (cm ²) CSA - quadríceps	1-RM (kg) - chest press e extensor de joelho
Kanegususku et. al, 2015	8	Tr: 5 H, 7 M; Con: 2 H, 11 M	Homens e mulheres idosos sedentários	16	2	7	2-3 x 6-10	N/D	Não	MRI (cm ³) CSA - quadríceps	1-RM (kg) - leg press e chest press
Karavirta et. al, 2011	8	Tr: 25, Con: 16	Homens idosos sedentários	21	2	10	2-4 x 8-20	40-85	Não	Análise histoquímica (Mm ²) CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - leg press
Kemi et. al, 2011	4	Tr: 12, Con: 11	Mulheres jovens ativas	8	3	1	5 x 5	85	Não	Dobras cutâneas - MM (kg) membros superiores	1-RM (kg) - flexão de cotovelo
Kirk et. al, 2007	8	Tr: 11, Con: 8	Homens jovens sedentários	24	3	9	1 x 6	85-90	Não	DEXA - MM (kg) total	1-RM (lb) - chest press e leg press
Kraemer et. al, 2003	5	Tr1: 18, Tr2:21, Tr3:21, Tr4:19, Con:6	Mulheres jovens ativas	24	2	8	3 x 3-8	N/D	Não	MRI (cm ²) CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - leg press e chest press

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Krčmárová et, al, 2018	9	Tr1: 10, Tr2: 10, Con: 11	Mulheres idosas sedentárias	12	2	8	3 x 10-12	N/D	Não	Bioimpedância - MM - (kg) total	6-RM (kg/peso corporal) - leg press
Kubo et. al, 2020	8	Tr1: 10, Tr2: 12, Tr3: 10, Con: 10	Homens jovens ativos	10	2	1	3-7 x 4-12	N/D	Sim	MRI (cm ³) CSA - peitoral	1-RM (kg) - bench press
Kukuljan et. al, 2009	8	Tr: 32, Con: 35	Homens idosos sedentários	72	3	10	2-3 x 8-12	50-85	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press e bench press
Lamas et. al, 2010	7	Tr1: 11, Tr2: 11, Con: 7	Homens jovens ativos	8	3	1	3 x 7	30-60	Não	Planimetria computadorizada - CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - agachamento
Lange et. al, 2002	6	Tr: 8, Con: 7	Homens idosos sedentários	12	3	7	4 x 10	N/D	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press
Levinger et. al., 2007	8	Tr1: 4H, 8M; Tr2: 10H, 5M; Con: 4H, 9M	Homens e mulheres jovens sedentários	10	3	8	3 x 15-20	40-60	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - soma de 7 exercícios
Lo et. al, 2011	8	Tr: 10, Con: 10	Homens jovens sedentários	24	3	10	2 x 12	75-90	Não	DEXA - MM (kg) total	1-RM (kg) - extensor de joelho
Lovell et. al, 2010	8	Tr: 12, Con: 12	Homens idosos sedentários	16	3	1	3 x 8	70-90	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - agachamento

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Marques et. al, 2011	9	Tr: 15, Con: 20	Mulheres idosas sedentárias	32	3	8	2 x 10-12	50-80	Não	DEXA - MCM (kg) total	Dinamômetro (N.m) - extensor de joelho
Marston et. al, 2019	7	Tr1: 14, Tr2: 15, Con: 15	Homens e mulheres jovens sedentários	12	2	4	5 x 5	70-80	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press e bench press
Matta et. al, 2014	6	Tr: 12, Con: 11	Homens jovens sedentários	14	2	1	3 x 10	55	Sim	Ultrassom (cm ²) - CSA - reto femural	Isométrico (N.m) - extensor de joelho
McCartney et. al, 1995	6	Tr: 22 H, 17 M; Con: 16 H, 19 M	Homens e mulheres idosas sedentárias	42	2	7	3 x 10-12	50-80	Não	Tomografia computadorizada (cm ²) - CSA - quadríceps	1-RM (kg) - leg press e bench press
McBride et. al., 2003	5	Tr: 9, Con: 10	Homens e mulheres jovens sedentários	12	2	3	1 x 6-8	N/D	Sim	DEXA - MCM (kg) membros inferiores	1-RM (kg) - leg press
Nichols et. al., 1993	10	Tr: 18, Con: 18	Mulheres idosas sedentárias	24	3	7	3 x 9	80	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) extensor de joelho
Olmedillas et. al., 2011	8	Tr: 9, Con: 7	Homens jovens sedentários	12	3	7	3 x 10	N/D	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - bench press e leg press
Olson et. al, 2006	7	Tr: 15, Con: 15	Mulheres jovens sedentárias	48	2	9	3 x 9	N/D	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) -leg press

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Orsati et. al, 2008	8	Tr: 21, Con: 22	Mulheres idosas sedentárias	16	3	9	3 x 10	60-80	Não	Bioimpedância - MM - (kg) total	1-RM (kg) extensor de joelho
Pinto et. al, 2013	7	Tr: 19, Con: 17	Mulheres idosas sedentárias	6	2	3	2 x 20	N/D	Sim	Ultrassom (mm) - ESP - reto femural	1-RM (kg) extensor de joelho
Pipes, 1978	4	Tr: 12, Con: 12	Homens jovens sedentários	10	3	4	3 x 8	75	Não	Pesagem hidrostática - MCM (kg) total	1-RM (kg) - Rosca direta, leg press, puxada e desenvolvimento
Prestes et. al, 2015	7	Tr1: 20, Tr2: 19, Con: 10	Mulheres idosas sedentárias	16	2	10	3 x 8-14	N/D	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - bench press, leg press e rosca direta
Pyka et. al, 1994	9	Tr: 4 H, 7 M; Con: 4 H, 10 M	Homens e mulheres idosos sedentários	30	3	12	3 x 8	65-75	Não	Planimetria manual (μm^2) - CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - bench press e leg press
Radaelli et. al, 2015	7	Tr1: 12, Tr2: 13, Con: 10	Homens jovens sedentários	24	3	9	1-3-5 x 10	N/D	Sim	Dobras cutâneas - MCM (kg) total	5-RM (kg) - bench press e leg press
Reeves et. al, 2004	9	Tr: 4 H, 5 M; Con: 4 H, 5 M	Homens e mulheres idosos sedentários	14	3	7	2 x 10	60-80	Não	Ultrassom (cm^2) - CSA - reto femural	Dinamômetro (N.m) - extensor de joelho
Ribeiro et. al, 2017	10	Tr1: 25, Tr2: 26, Con: 25	Mulheres idosas sedentárias	8	3	8	3 x 10	N/D	Sim	DEXA - MM (kg) total	1-RM (kg) - chest press e extensor de joelho

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Richardson et. al, 2019	7	Tr1: 10, Tr2:10, Tr3:10, Tr4:10,Con:10	Homens e mulheres idosos ativos	10	2	8	3 x 7	80	Não	Bioimpedância - MCM - (kg) total	1-RM (kg) - leg press
Sale et. al, 1992	5	Tr: 9, Con: 7	Homens jovens sedentários	19	3	1	3 x10-20	N/D	Não	Planimetria computadorizada (mm ²) - CSA - quadríceps	1-RM (kg) - leg press
Saremi et. al,2010	10	Tr: 8, Con: 8	Homens jovens ativos	8	3	6	3 x 8-10	60-70	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press e bench press
Sarin et. al, 2019	7	Tr: 59, Con: 18	Homens jovens sedentários	12	3	9	2-3 x 10-15	50-80	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - extensor de joelho
Scanlon et, al, 2014	8	Tr: 13, Con: 12	Homens e mulheres idosos sedentários	6	2	8	2-4 x 8-12	70-85	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - extensor de joelho
Shaw et. a, 2016	7	Tr: 19, Con: 18	Mulheres idosas sedentárias	6	2	10	3 x 12	65-85	Não	Dobras cutâneas - MCM (kg) total	1-RM (kg) - shoulder press e leg press
Sieljacks et. al, 2019	6	Tr: 12, Con: 10	Homens jovens sedentários	6	3	1	4 x 10-12	70	Não	Biópsia muscular (Mm ²) CSA - vasto lateral	3-RM (kg) - extensor de joelho
Singh et. al, 2009	10	Tr: 26, Con: 28	Mulheres jovens sedentárias	15	2	9	3 x 8-10	N/D	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press e bench press

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Sipila et. al, 1996	8	Tr: 16, Con: 11	Mulheres idosas sedentárias	18	3	4	3-4 x 8-10	60-75	Não	Bioimpedância - MCM - (kg) total	Dinamômetro (N.m) - extensor de joelho
Sillanpää et. al1, 2009	7	Tr: 17, Con: 12	Mulheres idosas sedentárias	21	2	8	3-4 x 15-20	40-90	Não	DEXA - MCM (kg) total	Dinamômetro (N) - bench press e 1-RM (kg) - leg press
Sillanpää et. al3, 2010	8	Tr: 27, Con: 9	Mulheres idosas sedentárias	21	2	8	3-4 x 15-20	40-90	Não	DEXA - MCM (kg) total	Dinamômetro (N) - extensor de joelho
Simão et. al, 2012	7	Tr1: 11, Tr2: 10, Con: 9	Homens jovens sedentários	12	2	4	3 x 9	N/D	Sim	Ultrassom (mm) - ESP - extensores e flexores do cotovelo	1-RM (kg) - bench press e extensão tríceps
Smith et. al, 2010	5	Tr1: 9, Tr2: 9, Con: 5	Mulheres jovens sedentárias	10	2	9	1 x 10	N/D	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - bench press e leg press
Solberg et. al1, 2013	8	Tr: 30, Con: 33	Homens e mulheres idosos sedentários	13	3	8	2 x 10	80-90	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - chest press e extensor de joelho
Souza et. al, 2014	9	Tr1: 9, Tr2: 9, Tr3: 8, Con: 5	Homens jovens ativos	6	2	2	2-3 x 8-12	N/D	Não	MRI (mm ²) CSA - quadríceps	1-RM (kg) - agachamento
Spinetti et. al, 2013	9	Tr1: 10, Tr2:13, Con: 9	Homens jovens ativos	12	2	4	2-4 x 5-15	N/D	Sim	Ultrassom (mm) - ESP - bíceps e tríceps braquial	1-RM (kg) - bench press, puxador, rosca direta e extensor de tríceps

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Strandberg et. al, 2015	10	Tr: 21, Con: 21	Mulheres idosas sedentárias	24	2	5	3 x 14	70-85	Não	DEXA - MCM (kg) membros inferiores	1-RM (kg) extensor de joelho
Taaffe et. al, 1996	7	Tr1: 7, Tr2: 7, Con: 7	Mulheres idosas sedentárias	52	3	3	3 x 7-14	40-80	Não	Planimetria manual (μm^2) - CSA - vasto lateral	1-RM (kg) - leg press
Taaffe et. al2, 1995	8	Tr1: 12, Tr2: 13, Con: 11	Mulheres idosas sedentárias	15	3	10	3 x 7-14	40-80	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press e bench press
Tanimoto et. al, 2008	7	Tr: 12, Con: 12	Homens jovens sedentários	13	2	5	3 x 8	80-90	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - chest press e agachamento
Terzis et. al, 2008	8	Tr: 6, Con: 4	Homens jovens sedentários	14	3	9	2 x 8	N/D	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - bench press e leg press
Timmons et. al, 2018	10	Tr: 10 H, 11 M; Con: 8 H, 13 M	Homens e mulheres idosos sedentários	12	3	6	4 x 15	60	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - chest press e leg press
Tomeleri et, al, 2017	9	Tr: 15, Con: 15	Mulheres idosas sedentárias	12	2	8	1 x 10-15	N/D	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - chest press, extensor de joelho e rosca scott
Trindade et. al, 2019	9	Tr1: 12, Tr2: 12, Con: 7	Homens jovens sedentários	9	2	1	3 x máx	75	Sim	DEXA - MCM da coxa (kg) total	1-RM (kg) - leg press e extensor de joelho

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Unlu et. al, 2019	8	Tr1: 7, Tr2: 7, Con: 7	Homens jovens sedentários	12	3	1	3 x 7-9	50-85	Sim	MRI (cm ³) CSA - quadríceps	1-RM (kg) extensor de joelho
Villanueva et. al, 2014	8	Tr: 7, Con: 8	Homens idosos ativos	12	3	6	4 x 10	70	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - bench press
Vechin et. al, 2015	6	Tr: 8, Con: 7	Homens e mulheres idosos sedentários	12	2	1	4 x 10	70	Não	MRI (cm ²) CSA - quadríceps	1-RM (kg) - leg press
Vezzoli et. al, 2019	8	Tr: 10 H, 10 M; Con: 6 H, 9 M	Homens e mulheres idosos sedentários	12	3	4	3 x 14-16	60	Não	Bioimpedância - MM - (kg) total	Dinamômetro - handgrip (kg)
Walker et. al1, 2017	12	Tr: 35 H, 46 M; Con: 12 H, 10 M	Homens e mulheres idosos sedentários	12	2	8	2 x 18	50-60	Sim	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press
Walker et. al2, 2013	6	Tr1: 12, Tr2: 11, Con: 10	Homens jovens sedentários	20	2	9	2-3 x 8-14	60-85	Sim	DEXA - MCM (kg) membros inferiores	1-RM (kg) - leg press
Walker et. al3, 2014	7	Tr1: 13, Tr2: 13, Con: 11	Homens idosos sedentários	20	2	8	2-3 x 12-14	60-85	Sim	Ultrassom (cm ²) - CSA - vasto lateral	Dinamômetro (kg) - extensor de joelho
Walker et. al4, 2018	7	Tr1: 13, Tr2: 14, Con: 9	Mulheres idosas sedentárias	24	2	11	2-5 x 4-12 /16-20	50-90	Sim	Ultrassom (cm ²) - CSA - vasto lateral + vasto intermédio	1-RM (kg) - leg press

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

Tabela. Continuação....

Estudo	Escala TESTEX	Nº de sujeitos H / M	Característica dos participantes	Duração (semanas)	Frequência semanal	Número de exercícios	Séries / repetições	Intensidade (% 1-RM)	Repetições até a exaustão?	Hipertrofia (método / componente)	Avaliação da força muscular
Wallerstein et. al1, 2012	8	Tr1: 14, Tr2: 16, Con: 13	Homens e mulheres idosos sedentários	16	2	6	2-4 x 4-10	70-90	Não	MRI (mm ²) CSA - quadríceps	1-RM (kg) - leg press
Willoughby 2004	8	Tr: 12, Con: 10	Homens jovens sedentários	12	3	3	3 x 6-8	85-90	Não	Dobras cutâneas - MCM (kg) total	1-RM (kg) - extensor de joelho
Wilkinson et. al1, 2006	5	Tr: 10, Con: 10	Homens jovens sedentários	8	3	2	3 x 9	80-90	Sim	Tomografia (cm ²) CSA - quadríceps	1-RM (kg) - leg press e extensor de joelho
Wong et. al1, 2009	6	Tr1: 16, Tr2: 16, Con: 16	Homens e mulheres jovens sedentários	8	3	2	4-5 x 5-10	N/D	Não	MRI (cm ²) - CSA - vasto medial	Dinamômetro (N.m) - extensor de joelho
Yasuda et. al, 2009	6	Tr: 10, Con: 10	Homens jovens sedentários	6	3	1	3 x 10	75	Não	Ultrassom (cm ²) - CSA - peitoral	1-RM (kg) - bench press
Yasuda et. al, 2011	6	Tr: 10, Con: 10	Homens jovens ativos	6	3	1	3 x 10	75	Não	MRI (cm ²) - CSA - peitoral	1-RM (kg) - bench press
Ziegler et. al, 2019	8	Tr: 10 H, 3 M; Con: 8 H, 4 M	Homens e mulheres idosos sedentários	48	3	7	3 x 12	70	Não	DEXA - MCM (kg) total	1-RM (kg) - leg press e extensor de joelho

Nota: H= homem; M= mulher; Tr.= treinamento; Con.= controle; N/D = não descrito; 1-RM = teste de uma repetição máxima; DEXA = absorptometria radiológica de dupla energia; DC = dobras cutâneas; MRI = ressonância magnética; MCM = massa corporal magra; MM = massa muscular; CSA = área de seção transversa; ESP = espessura do músculo.

