

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO**

**EFEITOS DO TREINAMENTO CONCORRENTE COM E SEM A EXECUÇÃO DE
REPETIÇÕES ATÉ A FALHA CONCÊNTRICA NAS ADAPTAÇÕES
NEUROMUSCULARES E FUNCIONAIS EM HOMENS IDOSOS**

Juliana Lopes Teodoro

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lusa Cadore

Porto Alegre

2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO**

**EFEITOS DO TREINAMENTO CONCORRENTE COM E SEM A EXECUÇÃO DE
REPETIÇÕES ATÉ A FALHA CONCÊNTRICA NAS ADAPTAÇÕES
NEUROMUSCULARES E FUNCIONAIS EM HOMENS IDOSOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Juliana Lopes Teodoro

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lusa Cadore

Porto Alegre

2018

CIP - Catalogação na Publicação

Teodoro, Juliana Lopes

Efeitos do treinamento concorrente com e sem a execução de repetições até a falha concêntrica nas adaptações neuromusculares e funcionais em homens idosos / Juliana Lopes Teodoro. -- 2018.

69 f.

Orientador: Eduardo Lusa Cadore.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Treinamento concorrente. 2. Repetições máximas.
3. Repetições submáximas. 4. Adaptações neuromusculares. 5.
Envelhecimento. I. Cadore, Eduardo Lusa, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os funcionários e coordenadores do Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) e do centro natatório/sala de musculação da ESEFID/UFRGS pela disponibilização dos espaços e pelo suporte técnico. Agradeço à CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro.

Aos voluntários do projeto, meu total agradecimento pela participação de vocês. Obrigada pelas histórias compartilhadas, pelas vitórias comemoradas e pelas amizades sinceras.

Agradeço a todos os colaboradores deste projeto, Rafael Grazioli, Pedro Lopez, Francesco Boeno, Juliano Farinha, Erik Menger, Kelly Moraes, Laura Silva e Bernardo Linck, sem a dedicação e o comprometimento de vocês este trabalho não teria acontecido. Um agradecimento em especial a Larissa da Silva e a Carolina Fritsch que estiveram ao meu lado compartilhando momentos de alegrias e tristezas ao longo do projeto. Foi um imenso prazer trabalhar com vocês.

Obrigada aos demais membros do GPTF pelo acolhimento e companheirismo. Em especial, aos amigos que a pós-graduação me proporcionou, Clarissa Müller, Gabriela Martini, Salime Lisboa e Régis Radaelli, obrigada por tornarem as longas horas de estudo e trabalho em momentos agradáveis. Obrigada pelos incentivos, pelos ensinamentos e pelos momentos de descontração, meus dias são mais felizes graças a vocês.

A todos os amigos, especialmente Maurício e Marcela, obrigada por entenderem os momentos de ausência e loucura, vocês sempre tiveram palavras de apoio e cumplicidade, sendo fundamentais ao longo dessa jornada.

Agradeço também à banca examinadora pela contribuição em cada etapa da pesquisa. Ao Giovani, que soube transmitir inúmeros conhecimentos durante diversas disciplinas. Parabéns por despertar em nós, alunos, a curiosidade e a vontade de aprender cada vez mais. À Cintia, com quem iniciei minha participação na pesquisa, hoje sou extremamente grata por tudo o que aprendi contigo, seja no âmbito profissional ou pessoal. Não tenho como descrever a importância que tu tens para mim, tenho grande admiração por ti, pelo teu trabalho e por tudo o que tu vens conquistando. Gostaria de dizer que tu és uma excelente profissional a qual eu tento seguir como exemplo. Por último, e não menos importante, meus agradecimentos ao professor Ronei Pinto, que abriu as portas do grupo e desde então tem se mostrado um ótimo conselheiro, professor e amigo. Obrigada pela disponibilidade e por estender a mão todas as

vezes em que precisei de ajuda, nossas conversas contribuíram bastante para o meu aprendizado e fizeram com que eu sentisse cada vez mais vontade de seguir nesse caminho.

Ao meu orientador Eduardo Cadore, meu mais profundo agradecimento. Sou grata por tudo o que tens me proporcionado nesses últimos anos, por todos os ensinamentos, pelas orientações e pela confiança em meu trabalho. Tive sorte em encontrar um professor tão dedicado e que ama aquilo que faz, manifesto aqui minha admiração pelo teu trabalho e pela tua trajetória, sinto muito orgulho em poder dizer que sou orientada por ti.

Agradeço imensamente à minha família, Ademir Teodoro, Sandra Dutra, Cássia Teodoro e Juliano Murari. Sou grata por tudo o que fizeram e fazem por mim, não mediram esforços para que eu chegasse até aqui. Obrigada pelos incentivos, pelos puxões de orelha e pela segurança que me deram ao estarem sempre ao meu lado.

RESUMO

O treinamento concorrente é conhecido como uma alternativa eficiente para promover diversos benefícios fisiológicos além de minimizar os prejuízos causados pelo envelhecimento. Diferentes métodos têm sido investigados com o intuito de otimizar os ganhos gerados pelo treinamento, a partir disso, o treinamento de força com o uso de repetições até a falha concêntrica tem recebido considerável atenção por parte dos pesquisadores. Os resultados encontrados na literatura mostram-se controversos e existem escassos estudos comparando o uso de repetições máximas e submáximas em indivíduos idosos, principalmente em períodos mais longos de intervenção. Assim, o objetivo do presente estudo foi comparar os efeitos do treinamento concorrente com e sem a execução de repetições até a falha concêntrica nas adaptações neuromusculares e funcionais em homens idosos. Métodos: 36 homens idosos sedentários ($67,1 \pm 5,1$ anos) foram randomizados em três grupos: grupo com repetições até a falha (RFG, $n = 13$), grupo com repetições sem a falha e 50% do volume de treino de RFG (NFG, $n = 12$), e grupo com repetições sem a falha mas com volume equalizado ao RFG (ENFG, $n = 11$). Os protocolos de treinamento ocorreram 2 vezes por semana, durante 20 semanas. Durante a sessão de treino, os indivíduos iniciavam com exercícios de força e em seguida realizavam exercício aeróbico em esteira rolante. Foram realizadas avaliações de uma repetição máxima (1RM) nos exercícios de *leg press* e extensão de joelhos, pico de torque isométrico (PT_{iso}), taxa de produção de torque (TPT) em 50, 100 e 250ms e espessura muscular do vasto lateral, vasto medial, vasto intermédio e reto femoral, também foi avaliada a capacidade funcional através dos testes de sentar e levantar da cadeira e *timed up and go* (TUG) antes e depois do período de intervenção. Resultados: Após 20 semanas de treinamento, houve incrementos significativos nos valores de 1RM em *leg press* e extensão de joelhos ($p < 0,001$), no PT_{iso} ($p < 0,001$), na TPT (50, 100 e 250ms) ($p \leq 0,001$), na espessura muscular do quadríceps ($p < 0,05$) e no teste de sentar e levantar da cadeira ($p < 0,05$) em todos os grupos, sem diferença significativa entre eles. Conclusão: Os resultados sugerem que o treinamento concorrente com o uso de repetições até a falha concêntrica não promove benefícios adicionais na função muscular e na capacidade funcional de indivíduos idosos. Além disso, realizar exercícios com metade do volume de treinamento com moderada e alta intensidade (65-80% de 1RM) parece otimizar as adaptações neuromusculares e funcionais após 20 semanas de treinamento.

Palavras-chave: Treinamento concorrente; repetições máximas; repetições submáximas; adaptações neuromusculares; envelhecimento.

LISTA DE FIGURAS

Figure 1. Page 47 - Flowchart for screening, recruitment, allocation and intervention.

Figure 2. Page 49 - Training volume for 20 weeks.

Figure 3. Page 50 - Changes in maximal dynamic strength and functional performance.

Figure 4. Page 51 - Changes in isometric peak torque and rate of torque development.

Figure 5. Page 52 - Changes in quadriceps muscle thickness.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1. Página 27 – Efeitos do treinamento máximo e submáximo nas adaptações fisiológicas e funcionais.

Table 1. Page 40 - Physical characteristics pre and post interventions.

Table 2. Page 45 - Strength training volume from 13 to 20 weeks.

Table 3. Page 48 - Control period data.

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS

↑	Aumento
1RM	Uma repetição máxima
AST	Área de secção transversa
CMJ	Salto com contra movimento
Conc	Fase concêntrica
EMG	Ativação eletromiográfica
ENFG	Grupo com repetições sem a falha, mas com volume equalizado ao RFG
Exc	Fase excêntrica
FC_{máx}	Frequência cardíaca máxima
NFG	Grupo com repetições sem a falha e 50% do volume de treino de RFG
PT_{iso}	Pico de torque isométrico
rep	Repetições
RFG	Grupo com repetições até a falha
RM	Repetição máxima
RS	Repetição submáxima
Sem	semana
SJ	Salto agachado
TA	Treinamento aeróbico
TC	Treinamento concorrente
TF	Treinamento de força
TPT	Taxa de produção de torque
TUG	Teste <i>Timed up and go</i>
VO_{2máx}	Consumo máximo de oxigênio
VO_{2pico}	Consumo de oxigênio de pico
W_{máx}	Potência aeróbica máxima

SUMÁRIO

RESUMO	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE QUADROS E TABELAS	8
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS.....	9
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
2.3 Hipóteses	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Alterações fisiológicas e funcionais decorrentes do envelhecimento	17
3.2 Treinamento concorrente em idosos.....	18
3.3 Treinamento com e sem a execução de repetições até a falha concêntrica	22
3.3.1 Características do treinamento até a falha concêntrica.....	22
3.3.2 Efeitos do treinamento com repetições máximas e submáximas	23
4. REFERÊNCIAS	30
5. ARTIGO	35
ABSTRACT	36
INTRODUCTION	37
METHODS.....	38
Experimental design	38
Participants	39
Randomization and control period	40
Assessment Procedures	40
<i>Maximal dynamic strength</i>	41
<i>Muscle Thickness</i>	41
<i>Isometric peak torque and rate of torque development</i>	42
<i>Functional capacity</i>	43
Training interventions	43
<i>Strength training</i>	44
<i>Endurance training</i>	45
Statistical Analysis	46
RESULTS	46

Screening, recruitment and allocation	46
Control period, physical characteristics, training volume and adverse effects	47
Dynamic strength.....	49
Isometric peak torque and rate of torque development	50
Muscle thickness	51
Functional capacity.....	52
DISCUSSION.....	53
REFERENCES	57
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7. ANEXOS	62

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem ocorrido um aumento considerável da expectativa de vida, contribuindo para um elevado crescimento do número de indivíduos idosos. Apesar deste fenômeno populacional ocorrer a mais tempo em países desenvolvidos, também tem sido observado em países que estão em desenvolvimento, manifestando-se de forma ainda mais rápida (HE *et al.*, 2016). Nesse sentido, o envelhecimento populacional representa um verdadeiro desafio, pois a preocupação não se dá apenas com o aumento da idade, mas também, que as pessoas alcancem a velhice tendo boas condições de saúde. Manter a autonomia à medida que se envelhece é fundamental, por isso, existe cada vez mais a necessidade de desenvolver estratégias para a promoção e manutenção da saúde e da qualidade de vida dos idosos (SAAD, 2016).

Diversas alterações fisiológicas ocorrem com o avanço da idade, resultando em prejuízos na força, potência e massa muscular (IZQUIERDO *et al.*, 2003; AAGAARD *et al.*, 2007; AAGAARD *et al.*, 2010), bem como uma diminuição da capacidade cardiorrespiratória (ASTRAND *et al.*, 1973; IZQUIERDO *et al.*, 2001). Essas alterações prejudicam a capacidade funcional reduzindo a independência do idoso durante as atividades da vida diária, além de aumentar o risco de morte por doenças cardiovasculares e por diversas causas (IZQUIERDO *et al.*, 2001; PATERSON *et al.*, 2007; LEE *et al.*, 2011).

A prática de exercícios físicos de forma regular e sistemática pode minimizar os prejuízos decorrentes do envelhecimento, além de melhorar a independência funcional e a qualidade de vida do idoso. Em vista disso, o treinamento concorrente (TC) (treino de força combinado ao treino aeróbico) parece ser a estratégia mais eficiente para promover adaptações neuromusculares e cardiovasculares (WOOD *et al.*, 2001; IZQUIERDO *et al.*, 2004; CADORE *et al.*, 2011a, 2012), pois promove ganhos em força, potência, massa muscular, qualidade muscular, ativação neuromuscular, aumento no consumo máximo de oxigênio e na potência aeróbica máxima, e também, pode gerar melhorias no desempenho em testes funcionais (WOOD *et al.*, 2001; IZQUIERDO *et al.*, 2004; SILLANPÄÄ *et al.*, 2008; KARAVIRTA *et al.*, 2011; CADORE *et al.*, 2010, 2012).

A magnitude dessas adaptações depende da manipulação adequada das variáveis do treinamento, como por exemplo, a definição do número de séries, repetições, intensidade, tempo de intervalo, ordem e seleção dos exercícios (CADORE *et al.*, 2012; CADORE e IZQUIERDO, 2013; FERRARI *et al.*, 2013; RADAELLI *et al.*, 2014; WILHELM *et al.*, 2014). Embora as adaptações adquiridas com o treinamento estejam bem documentadas, com relação à execução de exercícios alcançando a falha concêntrica (repetições máximas), a literatura mostra-se ainda controversa quanto aos benefícios adicionais que este tipo de treinamento pode promover. Alguns estudos apresentam que a realização de repetições máximas (RM) estimula maiores incrementos em força e potência muscular (ROONEY *et al.*, 1994; DRINKWATER *et al.*, 2005). No entanto, existem estudos que apresentam adaptações neuromusculares semelhantes entre os grupos que realizam repetições máximas e submáximas (FOLLAND *et al.*, 2002; IZQUIERDO *et al.*, 2006; SAMPSON E GROELLER, 2015; NÓBREGA *et al.*, 2018; DA SILVA *et al.*, 2018; CADORE *et al.*, 2018), e ainda, existem estudos que apresentam maiores adaptações em indivíduos que realizam repetições submáximas (RS) (IZQUIERDO-GABARREN *et al.*, 2010; MARTORELLI *et al.*, 2017).

Em estudo de Rooney *et al.* (1994), homens e mulheres sedentários realizaram treinamento de força (TF) 3 vezes por semana, durante 6 semanas. Os indivíduos foram divididos em grupos de alta e baixa fadiga muscular. Após o período de treinamento, os resultados demonstraram que o grupo com elevada fadiga obteve incrementos significativamente maiores em força dinâmica em comparação ao grupo de baixa fadiga (56,3 vs. 41,2%, $p < 0,05$). Por outro lado, Izquierdo *et al.* (2006) observaram ganhos semelhantes de força máxima nos exercícios de supino e agachamento entre os grupos com RM e RS. Entretanto, o aumento da força resistente (maior número de repetições com 60% de 1RM) foi maior no grupo de RM e o aumento da potência muscular foi maior no grupo de RS, indicando uma possível vantagem em ganhos de potência naqueles que treinaram de maneira submáxima.

Com relação à hipertrofia muscular, Sampson e Groeller (2015) apresentaram que homens jovens após realizarem TF durante 12 semanas, com e sem RM, obtiveram ganhos semelhantes na área de secção transversa (AST) (~11,4%) e na força máxima (~30,5%) dos

flexores do cotovelo, sugerindo que a repetição até a falha não é essencial para gerar maiores efeitos neuromusculares nos membros superiores. Ademais, os autores observaram incrementos similares na força e na AST mesmo nos grupos com menor volume de treinamento. Nesse mesmo contexto, Da Silva *et al.* (2018) avaliaram a espessura muscular do quadríceps de indivíduos idosos com TC, observando maiores incrementos nos grupos com maiores volumes de treinamento, independente do uso ou não de RM, indicando que o volume de treino talvez seja mais importante para a hipertrofia de membros inferiores do que a realização de exercícios alcançando a falha concêntrica.

Grande parte da literatura apresenta os efeitos da execução de RM e RS em populações jovens (dos 20 aos 30 anos de idade), ao nosso conhecimento, apenas dois estudos realizaram essa investigação com indivíduos idosos. Da Silva *et al.* (2018) avaliaram as adaptações neuromusculares adquiridas com o TC e observaram ganhos semelhantes em força máxima dinâmica e isométrica, ativação muscular, tensão específica e desempenho de saltos entre os grupos que executavam séries com e sem a falha concêntrica. Na mesma direção, porém analisando parâmetros diferentes, Cadore *et al.*, (2018) observaram alterações no consumo de oxigênio de pico ($VO_{2\text{pico}}$), potência muscular obtida através de saltos com contra movimento e sem contra movimento (CMJ e SJ, respectivamente), composição corporal, desempenho funcional e níveis de colesterol HDL semelhantes entre os grupos com RM e RS, sugerindo que a realização de exercícios alcançando a falha não promove ganhos superiores em comparação a exercícios realizados de forma submáxima. Ambos os trabalhos apresentam períodos de intervenção de 12 semanas e não foram encontrados estudos com população idosa em maiores períodos de treinamento.

Embora os ganhos obtidos com o treinamento sejam de grande importância, existem outras questões que devem ser consideradas para a implementação de programas de treinamento com exercícios alcançando a falha concêntrica. Este método consiste na incapacidade de completar uma repetição em toda a amplitude de movimento devido à elevada fadiga muscular, em vista disso, alguns autores apontam que próximo ao ponto de falha, as repetições executadas são prejudicadas por altos níveis de fadiga, desconforto e esforço físico, inviabilizando a execução do movimento de maneira correta. Além disso,

acredita-se que o uso de RM por longos períodos de treinamento pode aumentar o risco de lesões musculoesqueléticas por uso excessivo (WILLARDSON, 2007; DAVIES *et al.*, 2016). Outro aspecto importante de salientar é que o exercício realizado buscando a falha concêntrica implica em manter determinados grupos musculares sob tensão durante longos períodos, acarretando em aumentos acentuados na pressão arterial e frequência cardíaca (NERY *et al.*, 2010; LOVELL *et al.*, 2011; GJOVAAG *et al.*, 2016). Essas questões são de extrema importância, especialmente tratando-se de indivíduos idosos, tendo em vista que essa população poderia sofrer maiores riscos cardiovasculares.

Com base na literatura, os resultados mostram-se ainda controversos com relação aos benefícios adicionais do TF com repetições alcançando a falha concêntrica. Além disso, os estudos que compararam as adaptações adquiridas com o uso de RM e RS consistiam em períodos de intervenção que variavam de 6 a 16 semanas (ROONEY *et al.*, 1994; DRINKWATER *et al.*, 2005; IZQUIERDO *et al.*, 2006), ao nosso conhecimento, não existem estudos realizando essa comparação em períodos mais longos. A maioria dos trabalhos investigaram indivíduos jovens e foram encontrados apenas dois estudos comparando os efeitos do TF com repetições máximas e submáximas em indivíduos idosos, também em períodos mais curtos. Desse modo, ainda não está claro se o uso de RM poderia gerar maiores adaptações neuromusculares e funcionais em indivíduos idosos durante períodos de treinamento mais longos (ex: 20 semanas), e ainda, se existe a necessidade de submetê-los a esse tipo de esforço físico e possíveis riscos à saúde durante programas de treinamento de maior duração. Considerando o TC como um modelo de treinamento eficiente para minimizar os efeitos fisiológicos do envelhecimento e a carência na literatura a respeito dos efeitos do treinamento com e sem repetições máximas em longo prazo, o presente trabalho chegou à seguinte questão:

“Existem diferenças nas adaptações neuromusculares e funcionais após 20 semanas de treinamento de força com repetições máximas e submáximas durante o treinamento concorrente em homens idosos?”

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Comparar os efeitos do treinamento concorrente com e sem a execução de repetições até a falha concêntrica nas adaptações neuromusculares e funcionais em homens idosos.

2.2 Objetivos Específicos

Comparar os efeitos do treinamento de força de três diferentes protocolos, com repetições máximas, repetições submáximas e repetições submáximas com volume equalizado durante o treinamento concorrente:

- Na força muscular dinâmica de membros inferiores;
- Na espessura muscular dos músculos do quadríceps;
- No pico de torque isométrico de membros inferiores;
- Na taxa de produção de torque de membros inferiores;
- No desempenho em testes funcionais.

2.3 Hipóteses

As hipóteses que nortearam o presente estudo:

- a) O treinamento com repetições máximas não proporciona benefícios adicionais nas adaptações neuromusculares e funcionais em indivíduos idosos.
- b) Após 20 semanas, os grupos com maior volume de treinamento induzem maiores ganhos de espessura muscular, independente do uso de repetições máximas ou submáximas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Alterações fisiológicas e funcionais decorrentes do envelhecimento

O processo de envelhecimento é caracterizado por um declínio progressivo na força, potência, massa e qualidade muscular (IZQUIERDO *et al.*, 2003; AAGAARD *et al.*, 2007; AAGAARD *et al.*, 2010), além da diminuição da capacidade cardiorrespiratória (ASTRAND *et al.*, 1973; IZQUIERDO *et al.*, 2001). Os declínios na função neuromuscular levam a prejuízos na mobilidade dos idosos, tornando-os mais frágeis e com maior risco de quedas, reduzindo a capacidade funcional durante as atividades de vida diária (LAURETANI *et al.*, 2003; HUNTER *et al.*, 2004; AAGAARD *et al.*, 2010). Já o declínio da capacidade cardiorrespiratória está relacionado com o risco de morte por doenças cardiovasculares e por todas as causas (IZQUIERDO *et al.*, 2001; HAWKINS & WISWELL, 2003; PATERSON *et al.*, 2007; LEE *et al.*, 2011).

As adaptações que ocorrem no sistema neuromuscular como a diminuição da força e da potência estão relacionadas com a redução da massa e a atrofia do tecido muscular, principalmente das fibras do tipo II, de contração rápida (HUNTER *et al.*, 2004; PATERSON *et al.*, 2007). Essas alterações são decorrentes da necrose e da redução de elementos de pontes cruzadas entre as fibras musculares, além da diminuição do número de mitocôndrias e seu conteúdo (LANG *et al.*, 2010). A perda de motoneurônios resultante do envelhecimento também contribui para a diminuição do tamanho e do número de fibras musculares, principalmente do quadríceps, ocasionando a redução da área de secção transversa e a diminuição da força, potência e taxa de produção de força, influenciando negativamente no desempenho funcional da população idosa (AAGAARD *et al.*, 2010; LANG *et al.*, 2010). Através de autópsias, foi possível observar que o envelhecimento é acompanhado por uma perda do número de axônios mielinizados e de axônios de grande diâmetro, considerados capazes de gerar potenciais de ação mais rapidamente. Esse decréscimo pode explicar, em parte, a contração muscular de forma mais lenta dos idosos (AAGAARD *et al.*, 2010). Outra alteração é a produção reduzida de IGF-1, proteína que atua no desenvolvimento dos músculos, no crescimento dos neurônios, na mielinização dos axônios e na reparação de

axônios danificados, e o aumento dos níveis de citocinas inflamatórias como TNF- α e TNF- β , que em grandes quantidades, podem enfraquecer os efeitos de IGF-1 no tecido muscular, nos neurônios e nos axônios (AAGAARD *et al.*, 2010; LANG *et al.*, 2010).

Além de prejuízos no sistema neuromuscular e na capacidade funcional, também são observados prejuízos no sistema cardiovascular da população idosa. De acordo com Hawkins e Wiswell (2003), ocorre um declínio de 10% no $VO_{2máx}$ a cada década e esse valor pode ser ainda maior quando se trata de indivíduos idosos sedentários. Essas modificações podem estar relacionadas à adaptações centrais e periféricas, dentre elas, a diminuição do débito cardíaco máximo em consequência da diminuição do volume máximo de ejeção e da frequência cardíaca máxima, pequenas alterações na diferença arteriovenosa de oxigênio (ASTRAND *et al.*, 1973; IZQUIERDO *et al.*, 2001) e redução da função neuromuscular (IZQUIERDO *et al.*, 2001; CADORE *et al.* 2011a). De acordo com alguns estudos, a baixa capacidade cardiorrespiratória é um forte e independente preditor de risco de doenças cardiovasculares e mortalidade (HAWKINS & WISWELL, 2003; PATERSON *et al.*, 2007; LEE *et al.*, 2011) tornando-se evidente a necessidade de manutenção e melhoria da aptidão cardiorrespiratória.

Em suma, tornam-se inevitáveis as alterações nos sistemas neuromuscular e cardiovascular com o avanço da idade, entretanto, tais mudanças podem ser minimizadas com a prática de exercícios físicos de forma regular e sistemática, além de gerar diversos benefícios para a saúde, independência funcional e qualidade de vida da população idosa.

3.2 Treinamento concorrente em idosos

Indivíduos idosos que realizam TF de maneira isolada obtêm incrementos significativos em força, potência, massa muscular e qualidade muscular, resultando em mudanças benéficas na capacidade funcional (PINTO *et al.*, 2014b; RADAELLI *et al.*, 2014; TIGGEMANN *et al.*, 2016). Já o TA realizado isoladamente promove ganhos significativos no VO_{2pico} , na potência aeróbica máxima ($W_{máx}$) e na economia neuromuscular (HOLVIALA *et al.*, 2010; CADORE *et al.*, 2011a). Considerando as alterações decorrentes do avanço da idade, o TC parece ser a estratégia mais eficiente para minimizar os efeitos do envelhecimento

e promover incrementos nas capacidades neuromuscular e cardiorrespiratória de idosos (WOOD *et al.*, 2001; IZQUIERDO *et al.*, 2004; CADORE *et al.*, 2010, 2011a, 2014; CADORE, IZQUIERDO, 2013; FERRARI *et al.*, 2013; 2016).

Adaptações Neuromusculares

Apesar de alguns estudos apresentarem que o TC possa reduzir os ganhos na força muscular quando comparado aos ganhos adquiridos através do TF (BELL *et al.*, 2000; CADORE *et al.*, 2010), diversos outros estudos apresentam que o TC e o TF produzem ganhos similares em força máxima (WOOD *et al.*, 2001; IZQUIERDO *et al.*, 2004; KARAVIRTA *et al.*, 2011).

Em estudo de Wood *et al.* (2001), 36 idosos foram randomizados em dois grupos: TF (3x por semana) e TC (TF 3x + TA 2x por semana) durante 12 semanas. Ambos os grupos obtiveram incrementos na força máxima, sem diferenças entre eles. Além disso, houve melhora da aptidão funcional em algumas avaliações da AAHPERD, onde o grupo de TC obteve ganhos significativamente maiores ($p < 0,05$) que o grupo que treinou força de forma isolada. Em conformidade, Izquierdo *et al.* (2004) observaram resultados semelhantes em homens idosos após 16 semanas de treinamento, sendo que, o grupo submetido ao TF apresentou incrementos na força máxima, potência e área de secção transversa do quadríceps femoral de 41, 37 e 11%, respectivamente; enquanto que aqueles submetidos ao TC apresentaram incrementos de 38, 38, e 11%, respectivamente.

Em oposição a esses resultados, Sillanpää *et al.* (2009) submeteram mulheres (± 51 anos) aos treinamentos de força e concorrente durante 21 semanas e, após a intervenção, verificaram ganhos significativos na força de membros inferiores (9% vs. 12%, respectivamente), apresentando diferença significativa entre os grupos ($p < 0,001$). Neste caso, o volume de treinamento semanal pode explicar os maiores incrementos no grupo concorrente, visto que este grupo realizou treino de força 2x e aeróbico 2x semanais (2+2), enquanto que o grupo força treinou apenas 2x por semana.

Diferentemente desses estudos, Cadore *et al.* (2010) observaram maiores incrementos de força máxima do quadríceps no grupo TF (67%) em comparação com o grupo TC (41%), sugerindo um possível efeito de interferência nas adaptações neuromusculares quando o mesmo grupo muscular é ativado nos exercícios aeróbico e força. Todavia, o grupo TC obteve 41% de ganhos na força, sendo considerada uma alteração importante na perspectiva de saúde dos idosos. A solução para minimizar o efeito de interferência sobre os ganhos de força é a realização do TF antes do TA na mesma sessão. De acordo com Cadore *et al.* (2013), indivíduos que desempenharam TA antes do TF obtiveram incrementos de 21,9% enquanto que os indivíduos que treinaram o inverso incrementaram 35,1% em força máxima de membros inferiores ($p < 0,01$). Todavia, esse resultado não foi observado para espessura muscular do quadríceps, pois as adaptações foram semelhantes entre os indivíduos que iniciaram com TF ou TA (~9%).

Contrariando esses achados, Wilhelm *et al.* (2014) observaram ganhos neuromusculares similares em idosos que desempenhavam exercícios de força antes do aeróbico ou vice-versa. Após 12 semanas de intervenção, os grupos força-aeróbico e aeróbico-força incrementaram 14 vs. 18% em força máxima, 26 vs. 22% em potência e, 13 vs. 15% na capacidade funcional, respectivamente, sem diferenças significativas entre os grupos. O que poderia explicar os diferentes resultados entre este estudo e o estudo de Cadore *et al.* (2013), são as diferenças na frequência semanal (2x vs. 3x, respectivamente) e nas intensidades adotadas no TA e TF.

Além da ordem dos exercícios, a frequência semanal também deve ser considerada a fim de otimizar a prescrição do TC. Em estudos de Ferrari *et al.* (2013; 2016), indivíduos idosos que realizaram TC duas ou três vezes na semana apresentaram ganhos semelhantes em força máxima, potência e espessura muscular de membros inferiores, demonstrando uma maior eficiência do TC com uma menor frequência semanal.

De acordo com os estudos supracitados, o TC com indivíduos idosos promove adaptações neuromusculares semelhantes ao TF isolado, todavia, é necessário que os exercícios de força sejam realizados anteriormente aos exercícios aeróbicos. Ademais, frequências semanais mais baixas necessitam de um menor tempo dedicado ao exercício e

promovem os mesmos ganhos que frequências mais altas, podendo facilitar a aderência dos idosos ao treinamento.

Adaptações Cardiorrespiratórias

Com base na literatura, a combinação dos treinos de força e aeróbico parece ser o modelo de treinamento mais adequado para gerar melhorias na função cardiorrespiratória em comparação ao TF realizado sozinho. Além disso, a combinação força/aeróbico não prejudica as adaptações cardiovasculares que são adquiridas pelo TA isolado (WOOD *et al.*, 2001; IZQUIERDO *et al.*, 2004; CADORE *et al.*, 2011; KARAVIRTA *et al.*, 2011).

Em estudo de Sillanpää *et al.* (2008), após 21 semanas de treinamento, homens idosos que realizaram TC obtiveram incrementos semelhantes em $VO_{2\text{pico}}$ quando comparados aqueles que desempenhavam apenas TA (11 vs. 11%). Resultados semelhantes foram observados em estudo de Karavirta *et al.* (2011), onde homens de 40 a 67 anos de idade foram divididos nos grupos aeróbico (2 sessões semanais) e concorrente (2x TF + 2x TA = 4 sessões semanais). Após 21 semanas de treinamento, foram observados incrementos similares na capacidade cardiorrespiratória no grupo aeróbico e grupo concorrente, 12% e 10% respectivamente.

Estas adaptações também foram observadas em estudo com menor período de treinamento (CADORE *et al.*, 2011a). Idosos que treinaram durante 12 semanas incrementaram $VO_{2\text{pico}}$ em 20,4% e 22% para os grupos aeróbico e concorrente, e os incrementos na $W_{\text{máx}}$ foram de 22% e 20,4% respectivamente. Esses estudos apresentaram adaptações cardiorrespiratórias semelhantes nos grupos de TA e TC, sem diferenças significativas entre eles, porém, os grupos que treinaram apenas força não apresentaram melhorias cardiorrespiratórias. Esses achados demonstram a ausência de um efeito de interferência nos ganhos aeróbicos durante o TC.

Com relação à ordem do treinamento na mesma sessão, após 12 semanas de intervenção os idosos que iniciaram o treino com exercícios de força ou exercícios aeróbicos incrementaram o $VO_{2\text{pico}}$ e a $W_{\text{máx}}$ de forma significativa ($p < 0,001$), sem diferenças entre os

grupos. A partir disso, a ordem dos exercícios parece não influenciar nas adaptações cardiorrespiratórias de indivíduos idosos (CADORE *et al.*, 2012).

Em síntese, o TC quando prescrito de forma adequada, promove melhorias nas funções neuromusculares e cardiorrespiratórias na mesma magnitude que o TF e o TA desempenhados de forma isolada, sugerindo que a combinação de exercícios de força e aeróbico torna-se um método ideal para otimizar as adaptações decorrentes do treinamento, contribuindo para uma melhora na saúde de indivíduos idosos.

3.3 Treinamento com e sem a execução de repetições até a falha concêntrica

3.3.1 Características do treinamento até a falha concêntrica

O TC já está bem documentado como um modelo de treinamento eficiente para promover adaptações neuromusculares e cardiorrespiratórias (CADORE *et al.*, 2010, 2011a, 2011b, 2012; WILHELM *et al.*, 2014). A magnitude dessas adaptações depende, fundamentalmente, da maneira como as variáveis são manipuladas durante a prescrição do treinamento, como a definição do volume de treino, da intensidade, do tempo de intervalo, da ordem e da seleção dos exercícios (CADORE *et al.*, 2012; CADORE e IZQUIERDO, 2013; FERRARI *et al.*, 2013; RADAELLI *et al.*, 2014; WILHELM *et al.*, 2014). Com relação ao TF, a realização de exercícios levando à falha concêntrica tem recebido considerável atenção por parte dos pesquisadores, no entanto, os benefícios adicionais que este tipo de treinamento pode promover ainda são questionáveis.

Na literatura encontram-se diversos conceitos de exercícios alcançando a falha concêntrica, podendo ser considerado como a redução ou a incapacidade de completar uma repetição em toda a amplitude de movimento devido à elevada fadiga muscular (IZQUIERDO *et al.*, 2006), ou ainda, o momento ao longo do movimento em que o grupo muscular ativado é incapaz de contrair-se concentricamente completando uma repetição em toda a sua amplitude (MEDRANO, 2010).

Alguns autores acreditam que a realização de exercícios alcançando a falha concêntrica provoca aumento no recrutamento das unidades motoras e do estresse mecânico, e

que essa prática está relacionada a maiores incrementos na força e potência muscular (ROONEY *et al.*, 1994; DRINKWATER *et al.*, 2005; WILLARDSON, 2007). No entanto, outros autores acreditam que as respostas fisiológicas decorrentes do treinamento desempenhado até a falha não são determinantes para gerar mudanças significativas na estrutura e função muscular, e que exercícios executados de maneira submáxima podem produzir incrementos neuromusculares semelhantes às RM (FOLLAND *et al.*, 2002; IZQUIERDO *et al.*, 2006; DRINKWATER *et al.*, 2007; IZQUIERDO-GABARREN *et al.*, 2010; SAMPSON E GROLLER, 2015).

Alguns pesquisadores indicam que à medida que o exercício máximo é realizado, aproximando-se do ponto de falha concêntrica, a execução do movimento é prejudicada pela fadiga e pelos altos níveis de esforço físico e desconforto. A partir disso, a tendência do indivíduo é a de compensar o movimento utilizando outras partes do corpo, inviabilizando a correta execução dos exercícios (WILLARDSON, 2007; IZQUIERDO-GABARREN *et al.*, 2010; DAVIES *et al.*, 2016). Acredita-se, também, que os indivíduos submetidos a longos períodos de treinamento com RM têm maiores riscos de *overtraining* e de lesões por uso excessivo (FRY & KRAEMER, 1997; WILLARDSON, 2007; DAVIES *et al.*, 2016). Outra característica do uso de RM é o longo período em que determinado músculo permanece sob tensão, podendo induzir a aumentos na pressão arterial, frequência cardíaca e duplo-produto (NERY *et al.*, 2010; LOVELL *et al.*, 2011; GJOVAAG *et al.*, 2016), o que poderia, supostamente, gerar maiores riscos cardiovasculares, especialmente em idosos e populações especiais. Nesse sentido, é importante que essas questões sejam levadas em consideração durante a prescrição de exercícios alcançando a falha, verificando se esse modelo de treino seria o mais adequado para determinada população.

3.3.2 Efeitos do treinamento com repetições máximas e submáximas

Considerando a literatura atual, o TF desempenhado até a falha apresenta diferentes resultados acerca das adaptações neuromusculares adquiridas. Alguns autores observam que após intervenções comparando os efeitos de RM e RS, os indivíduos que realizam exercícios

alcançando elevada fadiga têm os seus ganhos potencializados, todavia, diversos outros autores observam incrementos similares entre os grupos, tornando o uso de RM durante o TF ainda questionários

Força Máxima e Potência Muscular

Em estudo realizado por Rooney *et al.* (1994), 42 homens e mulheres realizaram TF 3 vezes por semana ao longo de 6 semanas. Todos os indivíduos executavam repetições máximas, porém, um grupo com intervalos de 30 segundos entre as repetições, a fim de minimizar a fadiga muscular, e outro grupo desempenhava o treinamento sem intervalo, alcançando elevada fadiga. O incremento em força máxima dinâmica foi significativamente maior no grupo de alta fadiga em comparação com o grupo de baixa fadiga (56,3% vs. 41,2%, $p < 0,001$, respectivamente). O que não foi observado em força máxima isométrica, visto que os grupos de alta fadiga e baixa fadiga obtiveram ganhos similares (22,1 vs. 19,8%, respectivamente). Esses resultados demonstram que o grupo que treinou com alta fadiga muscular obteve maiores ganhos apenas em força dinâmica. Em outro estudo, Drinkwater *et al.* (2005) investigaram atletas juniores de basquetebol divididos em dois grupos: grupo que alcançava a falha concêntrica (4 séries x 6 repetições) e grupo que não alcançava a falha concêntrica (8 séries x 3 repetições). Os autores constataram que o grupo que alcançava a falha induziu maiores ganhos na carga de 6RM em comparação com o outro grupo (9,5% vs. 5%, respectivamente).

Em oposição a esses achados, Folland *et al.* (2002) investigaram homens e mulheres submetidos a dois protocolos de treinamento: protocolo de alta fadiga (4 séries x 10 repetições x 30 segundos de intervalo entre as séries) e protocolo de baixa fadiga (40 repetições x 30 segundos de intervalo entre cada repetição). O treinamento ocorreu 3 vezes na semana, durante 9 semanas. Após esse período, os resultados observados na força isométrica foram semelhantes em ambos os grupos (alta fadiga = 18% e baixa fadiga = 14%), não apresentando diferenças significativas entre eles ($p = 0,22$). No mesmo contexto, Izquierdo *et al.* (2006) submeteram homens ativos em protocolos de treinamento com e sem repetições máximas, 2

vezes na semana, durante 16 semanas. Os autores observaram ganhos semelhantes em força máxima nos grupos com repetições máximas e submáximas no supino (23 vs. 23%) e no agachamento (22 vs. 23%, respectivamente). Porém, isso não foi observado na força resistente, pois o grupo que treinou até a falha resultou em maior número de repetições no supino em comparação com o outro grupo, mas essa diferença não ocorreu no agachamento, indicando que os ganhos na força resistente em membros superiores e inferiores são distintos.

Contrariando os estudos supramencionados, Izquierdo-Gabarren *et al.* (2010) observaram maiores incrementos nos indivíduos que realizaram RS, porém, somente no grupo com volume equalizado ao grupo de RM. Os sujeitos deste trabalho foram divididos em três grupos: grupo que realizou 4 exercícios com repetições máximas (4RF), grupo que realizou 4 exercícios sem repetições máximas (4NRF) e grupo que realizou 2 exercícios sem repetições máximas (2NRF). Após o período de intervenção, foi observado maior incremento na força máxima no grupo 4NRF em comparação com 4RF e 2NRF (4,6%, 2,1% e 0,6%, respectivamente). A partir disso, pode-se sugerir que quando o volume de treinamento é o mesmo entre os grupos, o uso de repetições até a falha não se faz necessário.

Com relação à potência muscular, Izquierdo *et al.* (2006) observaram maiores incrementos no grupo que não realizou exercícios máximos de membros inferiores no agachamento. Os autores sugerem que o exercício executado até a falha não produz estímulos necessários para maximizar os ganhos de potência durante um período de 16 semanas, podendo levar a sua redução durante um treinamento de longo prazo. Resultados semelhantes foram encontrados em estudo de Izquierdo-Gabarren *et al.* (2010) em que a potência de membros superiores obteve maiores ganhos em indivíduos que executavam exercícios sem a falha concêntrica, mas que equiparavam o volume com aqueles que desempenhavam o exercício até a falha. Nesse sentido, pensando em programas de treinamento que visam incrementar a potência, parece não ser benéfico a utilização de RM, sendo fundamental a redução da fadiga para que o esforço máximo ocorra em cada repetição (IZQUIERDO *et al.* 2006; GRIGOLETTO *et al.*, 2013).

Com base nos dados mencionados, a execução de séries sem a falha concêntrica parece ser mais eficiente para potencializar os ganhos na potência muscular. Ademais, apesar

de alguns autores apresentarem superioridade nos ganhos de força máxima para os grupos de RM, a maioria dos trabalhos não apresenta incrementos adicionais com a utilização de repetições até a falha concêntrica durante o TF.

Massa Muscular

Com relação ao aumento da massa muscular, os estudos que compararam os efeitos do treinamento com a utilização de RM e RS sobre essa variável são bem recentes. Sampson e Groeller (2015), submeteram homens jovens ao exercício de flexão de cotovelo durante 12 semanas de treinamento e observaram aumentos de aproximadamente 11,4% na área de secção transversa de flexores do cotovelo nos grupos de RM e RS, sem diferença significativa entre eles. No entanto, além da manipulação do número de repetições completadas em cada série os autores manipularam também a velocidade de execução do movimento

O estudo de Sampson e Groeller (2015) foi o primeiro a mensurar a hipertrofia muscular, os trabalhos subsequentes isolaram o efeito da velocidade do movimento e compararam o uso de RM, RS e RS com volume equalizado às RM. Em estudo de Martorelli *et al.* (2017), mulheres jovens também foram submetidas ao TF com exercício de flexão de cotovelo durante o período de 10 semanas. Após a intervenção, foram observados incrementos na espessura muscular semelhantes nas mulheres que realizavam RM e RS com volume equalizado, enquanto que as jovens que realizavam RS com menor volume não tiveram alteração significativa na espessura.

Corroborando esses achados, porém com outro público e grupo muscular investigados, Da Silva *et al.*, (2018) verificaram os efeitos das repetições máximas e submáximas no TF durante o TC nos membros inferiores de homens idosos sedentários. Após 12 semanas de treinamento, foram observados maiores incrementos nos músculos do quadríceps nos grupos que desempenhavam maior volume de treino, independente do uso de RM ou RS.

Esses resultados sugerem que o treinamento com a execução de RM e RS promove incrementos semelhantes na hipertrofia muscular, e que talvez, o volume de treinamento

possa causar maior influência no aumento da massa muscular em comparação a execução ou não de repetições até a falha.

Capacidade Funcional

Ao nosso conhecimento, apenas um estudo comparou os efeitos de séries com e sem a falha concêntrica no desempenho em testes funcionais. Em estudo de Cadore *et al.* (2018), idosos submetidos ao TC durante 12 semanas obtiveram melhorias significativas na realização do teste de sentar e levantar da cadeira cinco vezes. Os indivíduos incrementaram de forma semelhante, independente do uso ou não de RM e do volume de treinamento, indicando que a execução de exercícios alcançando elevada fadiga não promove efeitos superiores na capacidade funcional de indivíduos idosos.

No **quadro 1** são apresentadas as características dos programas de treinamento e as adaptações adquiridas com o uso de RM e RS.

Quadro 1. Efeitos do treinamento máximo e submáximo nas adaptações fisiológicas e funcionais.

Autor	População e Idade	Duração e Frequência	Grupos e Protocolos	Resultados
Rooney <i>et al.</i> (1994)	Homens e mulheres jovens (± 26 anos)	6 sem 3x/sem	Grupo sem intervalo entre repetições/ alta fadiga Grupo com intervalo entre repetições/ baixa fadiga	Maior \uparrow na força máxima dinâmica em alta fadiga; \uparrow similares na força isométrica em alta e baixa fadiga.
Folland <i>et al.</i> (2002)	Homens e mulheres (± 23 anos)	9 sem 3x/sem	Grupo alta fadiga: 4 séries x 10 rep x 30seg intervalo entre séries Grupo baixa fadiga: 40 rep x 30seg entre as repetições	\uparrow similares na força dinâmica e isométrica em alta e baixa fadiga.
Drinkwater <i>et al.</i> (2005)	Atletas juniores de basquetebol (± 18 anos)	6 sem 3x/sem	Grupo = 4 séries x 6 repetições (até a falha concêntrica) Grupo = 8séries x 3 repetições (sem alcançar a falha concêntrica)	Maior \uparrow na força máxima e na potência muscular no grupo que treinou até a falha concêntrica.

Izquierdo <i>et al.</i> (2006)	Homens ativos (± 24 anos)	16 sem 2x/sem	RF = Grupo com RM NRF = Grupo com RS	↑ similares na força máxima no supino e agachamento; Maior ↑ na força resistente de membros superiores em RM; Maior ↑ na potência muscular de membros inferiores em SRM.
Drinkwater <i>et al.</i> (2007)	Atletas de basquetebol e voleibol (± 21 anos)	6sem 3x/sem	Grupo 4x6 (maior intervalo entre séries) Grupo 8x3 Grupo 12x3 (maior volume)	↑ similares na força máxima dinâmica e na potência muscular em todos os grupos.
Izquierdo-Gabarren <i>et al.</i> (2010)	Atletas remadores (± 25 anos)	8 sem 2x/sem	4RF = 4 exercícios com RM 4NRF = 4 exercícios com RS 2NRF = 2 exercícios com RS	Maior ↑ na força máxima dinâmica e potência muscular em 4NRF.
Sampson e Groeller (2015)	Homens jovens (± 23 anos)	12 sem 3x/sem	C = conc. e exc. em 2seg / até a falha RS = conc. rápida e exc. em 2seg/ sem a falha SSC = conc. e exc. rápidas / sem a falha	↑ similares na força dinâmica, CVM, EMG e AST em todos os grupos.
Martorelli <i>et al.</i> , (2017)	Mulheres jovens (± 21 anos)	10 sem 2x/sem	RF = rep. até a falha RNF = rep. sem a falha RNFV = rep. sem a falha mas com volume equalizado ao RF	↑ similares na força máxima e força resistente em todos os grupos; ↑ no PT nos grupos sem a falha (RNFV e RNF); ↑ na espessura muscular nos grupos de maior volume (RF e RNFV).

Nóbrega <i>et al.</i> , 2018	Homens jovens (± 23 anos)	12 sem 2x/sem	HIRT-V = alta intensidade, sem falha LIRT-V = baixa intensidade, sem falha HIRT-F = alta intensidade, com falha LIRT-F = baixa intensidade, com falha	↑ similares na força, AST, ângulo de penação; Maior ↑ em EMG nos grupos de altas intensidades, independente do uso de RM ou RS.
Da Silva <i>et al.</i> , 2018	Homens idosos (± 66 anos)	12 sem 2x/sem	RFG = rep. até a falha NFG = rep. sem a falha ENFG = rep. sem a falha mas com volume equalizado ao RFG	↑ similares na força dinâmica, PT _{iso} , TPT (50, 100, 250), tensão específica, CMJ, SJ, EMG; Maior ↑ na espessura muscular nos grupos de maior volume (RFG e ENFG).
Cadore <i>et al.</i> , (2018)	Homens idosos (± 66 anos)	12 sem 2x/sem	RFG = rep. até a falha NFG = rep. sem a falha ENFG = rep. sem a falha mas com volume equalizado ao RFG	Alterações similares na capacidade funcional, VO _{2pico} , composição corporal e níveis de colesterol HDL.

↑ = aumento; sem = semanas; x/sem = número de sessões por semana; rep = repetições; seg = segundos; RM = repetições máximas; RS = repetições submáximas; conc = fase concêntrica; exc = fase excêntrica; CVM = contração voluntária máxima; EMG = ativação eletromiográfica; AST = área de secção transversa; PT_{iso} = pico de torque isométrico; TPT = taxa de produção de torque; CMJ = salto com contra movimento; SJ = salto agachado; VO_{2pico} = consumo de oxigênio de pico.

Apesar de existir uma contradição quanto à necessidade do TF com repetições máximas, a maioria dos estudos apresenta que a realização de exercícios alcançando a falha concêntrica parece não resultar em benefícios adicionais nos ganhos neuromusculares e funcionais. Adicionalmente, alguns resultados indicam que o volume de treinamento pode potencializar as adaptações adquiridas, independente do uso de RM ou RS.

Os estudos mencionados tiveram intervenções com períodos variando de 6 a 16 semanas, ao nosso conhecimento, não foram encontrados estudos comparando exercícios com e sem a falha concêntrica em períodos mais longos. A maioria dos trabalhos foi realizada com indivíduos jovens, sendo escassos os estudos que investigaram o uso de RM e RS em indivíduos idosos.

4. REFERÊNCIAS

AAGAARD, Per et al. Mechanical muscle function, morphology, and fiber type in lifelong trained elderly. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 39, n. 11, p. 1989-1996, 2007.

AAGAARD, Per et al. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 20, n. 1, p. 49-64, 2010.

ASTRAND, Irma et al. Reduction in maximal oxygen uptake with age. **Journal of Applied Physiology**, v. 35, n. 5, p. 649-654, 1973.

BELL, G. J. et al. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. **European journal of applied physiology**, v. 81, n. 5, p. 418-427, 2000.

CADORE, Eduardo L. et al. Effects of strength, endurance, and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 25, n. 3, p. 758-766, 2011.(a)

CADORE, Eduardo Lusa et al. Functional and physiological adaptations following concurrent training using sets with and without concentric failure in elderly men: A randomized clinical trial. **Experimental gerontology**, 2018.

CADORE, Eduardo Lusa et al. Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: effects of intrasession exercise sequence. **Age**, v. 35, n. 3, p. 891-903, 2013.

CADORE, Eduardo Lusa et al. Neuromuscular economy, strength, and endurance in healthy elderly men. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 25, n. 4, p. 997-1003, 2011.(b)

CADORE, E. L. et al. Physiological effects of concurrent training in elderly men. **International journal of sports medicine**, v. 31, n. 10, p. 689-697, 2010.

CADORE, Eduardo Lusa et al. Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. **Experimental gerontology**, v. 47, n. 2, p. 164-169, 2012.

CADORE, E. L.; IZQUIERDO, M. How to simultaneously optimize muscle strength, power, functional capacity, and cardiovascular gains in the elderly: an update. **Age**, v. 35, n. 6, p. 2329-2344, 2013.

DA SILVA, Larissa Xavier Neves et al. Repetitions to failure versus not to failure during concurrent training in healthy elderly men: A randomized clinical trial. **Experimental gerontology**, v. 108, p. 18-27, 2018.

DAVIES, Tim et al. Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 46, n. 4, p. 487-502, 2016.

DRINKWATER, Eric J. et al. Training leading to repetition failure enhances bench press strength gains in elite junior athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 2, p. 382, 2005.

DRINKWATER, Eric J. et al. Increased number of forced repetitions does not enhance strength development with resistance training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 3, p. 841, 2007.

FERRARI, Rodrigo et al. Efficiency of twice weekly concurrent training in trained elderly men. **Experimental gerontology**, v. 48, n. 11, p. 1236-1242, 2013.

FERRARI, Rodrigo et al. Effects of Different Concurrent Resistance and Aerobic Training Frequencies on Muscle Power and Muscle Quality in Trained Elderly Men: A Randomized Clinical Trial. **Aging and disease**, v. 7, n. 6, p. 697, 2016.

FOLLAND, Jonathan P. et al. Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training. **British journal of sports medicine**, v. 36, n. 5, p. 370-373, 2002.

FRY, Andrew C.; KRAEMER, William J. Resistance exercise overtraining and overreaching. **Sports medicine**, v. 23, n. 2, p. 106-129, 1997.

GJOVAAG, Terje et al. Hemodynamic responses to resistance exercise in patients with coronary artery disease. **Med Sci Sports Exerc**, v. 48, n. 4, p. 581-588, 2016.

HAWKINS, Steven A.; WISWELL, Robert A. Rate and mechanism of maximal oxygen consumption decline with aging. **Sports medicine**, v. 33, n. 12, p. 877-888, 2003.

HE, W.; GOODKIND, D.; KOWAL, P. **An Aging World: 2015 International Population Reports. 2016.** P95/09-1.

HOLVIALA, Jarkko et al. Effects of combined strength and endurance training on treadmill load carrying walking performance in aging men. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 24, n. 6, p. 1584-1595, 2010.

HUNTER, Sandra K.; DUCHATEAU, Jacques; ENOKA, Roger M. Muscle fatigue and the mechanisms of task failure. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 32, n. 2, p. 44-49, 2004.

IZQUIERDO, Mikel et al. Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 17, n. 1, p. 129-139, 2003..

IZQUIERDO, Mikel et al. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 36, n. 3, p. 435-443, 2004.

IZQUIERDO, Mikel et al. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 5, p. 1647-1656, 2006.

IZQUIERDO, M. et al. Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. **Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 4, p. 1497-1507, 2001.

IZQUIERDO-GABARREN, Mikel et al. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 42, n. 6, p. 1191-1199, 2010.

KARAVIRTA, L. et al. Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40–67-year-old men. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 21, n. 3, p. 402-411, 2011.

LANG, T. et al. Sarcopenia: etiology, clinical consequences, intervention, and assessment. **Osteoporosis international**, v. 21, n. 4, p. 543-559, 2010.

LAURETANI, Fulvio et al. Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. **Journal of applied physiology**, v. 95, n. 5, p. 1851-1860, 2003.

LEE, Duck-chul et al. Long-term effects of changes in cardiorespiratory fitness and body mass index on all-cause and cardiovascular disease mortality in men. **Circulation**, v. 124, n. 23, p. 2483-2490, 2011.

LOVELL, Dale I.; CUNEO, Ross; GASS, Greg C. The blood pressure response of older men to maximum and sub-maximum strength testing. **Journal of science and medicine in sport**, v. 14, n. 3, p. 254-258, 2011.

MARTORELLI, Saulo et al. Strength training with repetitions to failure does not provide additional strength and muscle hypertrophy gains in young women. **European journal of translational myology**, v. 27, n. 2, 2017.

MEDRANO, Iván. Muscular failure training in conditioning neuromuscular programs. **Journal of Human Sport and Exercise**, n. II, 2010.

- NERY, Sandra de Souza et al. Intra-arterial blood pressure response in hypertensive subjects during low-and high-intensity resistance exercise. **Clinics**, v. 65, n. 3, p. 271-277, 2010.
- NÓBREGA, Sanmy R. et al. Effect of resistance training to muscle failure vs. volitional interruption at high-and low-intensities on muscle mass and strength. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 32, n. 1, p. 162-169, 2018.
- PATERSON, D.H., Jones, G.R., Rice, C.L. Ageing and physical activity: evidence to develop exercise recommendations for older adults. *Can. J. Public Health* 98. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 32, n. S2E, p. S69-S108, 2007.
- PINTO, Ronei Silveira et al. Short-term strength training improves muscle quality and functional capacity of elderly women. **Age**, v. 36, n. 1, p. 365-372, 2014.
- RADAELLI, Regis et al. Time course of low-and high-volume strength training on neuromuscular adaptations and muscle quality in older women. **Age**, v. 36, n. 2, p. 881-892, 2014.
- ROONEY, KIERAN J.; HERBERT, Robert D.; BALNAVE, Ronald J. Fatigue contributes to the strength training stimulus. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 26, n. 9, p. 1160-1164, 1994.
- SAAD, Paulo M. Envelhecimento populacional: demandas e possibilidades na área de saúde. **Séries Demográficas**, v. 3, p. 153-166, 2016.
- SAMPSON JA, H. Groeller H. Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength? **Scand J Med Sci Sports** 2015.
- SILLANPÄÄ, Elina et al. Body composition and fitness during strength and/or endurance training in older men. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 40, n. 5, p. 950-958, 2008.
- SILLANPÄÄ, Elina et al. Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. **European journal of applied physiology**, v. 106, n. 2, p. 285-296, 2009.
- TIGGEMANN, Carlos Leandro et al. Effect of traditional resistance and power training using rated perceived exertion for enhancement of muscle strength, power, and functional performance. **Age**, v. 38, n. 2, p. 42, 2016.
- WILHELM, Eurico Nestor et al. Concurrent strength and endurance training exercise sequence does not affect neuromuscular adaptations in older men. **Experimental gerontology**, v. 60, p. 207-214, 2014.

WILLARDSON, Jeffrey M. The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 2, p. 628, 2007.

WOOD, Robert H. et al. Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 33, n. 10, p. 1751-1758, 2001.

5. ARTIGO

Concurrent training performed with and without repetitions to failure in older men: a randomized clinical trial

Corresponding to

Juliana Lopes Teodoro

School of Physical Education, Physioteraphy and Dance

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Rua Felizardo 750, Bairro Jardim Botânico CEP: 90690-200

Porto Alegre, RS, Brazil

email: julopesteodoro@hotmail.com

ABSTRACT

The purpose of this investigation was to compare the effects of 20 weeks of concurrent training with and without repetitions to concentric failure on neuromuscular and functional adaptations in older men. Methods: Thirty-six sedentary older men (67.1 ± 5.1 years) were randomized into three groups: a group of repetitions to failure (RFG, $n = 13$), a group of repetitions not to failure and 50% of the training volume of the RFG (NFG, $n = 12$), and a group of repetitions not to failure with equal training volume of the RFG (ENFG, $n = 11$). Training protocols were performed twice a week for 20 weeks. In each session, the individuals started with strengthening exercises and then performed aerobic exercise on a treadmill. Before and after the intervention, individuals were assessed for their one repetition maximum (1RM) for leg press (LP) and knee extension (KE) exercises, the isometric peak torque (PT_{iso}) of the knee extensors, rate of torque development (RTD) at 50 ms, 100 ms and 250 ms, muscle thicknesses of the *vastus lateralis* (VL), *vastus intermedius* (VI), *vastus medialis* (VM) and *rectus femoris* (RF), as well as functional performance on sit-to-stand, and timed up and go tests. Results: After training, there were significant ($p < 0.001$) increases in the leg press and knee extension 1RM, PT_{iso} , and RTD outcomes. Also, there were significant increases in muscle thickness of the quadriceps, and in the sit-to-stand test ($p < 0.05$) in all groups. No significant differences were observed between groups. Conclusion: Our results suggest that concurrent training using repetitions to concentric failure does not promote additional benefits for neuromuscular function, muscle thickness or functional capacity of older individuals.

Keywords: Concurrent training; maximal repetitions; submaximal repetitions; neuromuscular adaptations; aging.

INTRODUCTION

Concurrent training (CT) has been shown to be an efficient strategy for minimizing the neuromuscular and cardiovascular impairments caused by aging (Wood et al., 2001; Izquierdo et al., 2004; Cadore et al., 2011, 2012). The magnitude of adaptations induced by CT fundamentally depends on the manipulation of acute training variables (Cadore et al., 2012; Cadore and Izquierdo, 2013; Ferrari et al., 2013; Radaelli et al., 2014; Wilhelm et al., 2014). Regarding strength training (ST), performing exercises leading to concentric failure (repetition maximum - RM) has received considerable attention from researchers; however, the additional benefits that this type of training can promote are still questionable, especially in the context of CT (Izquierdo-Gabarr n et al. 2010; Da Silva et al. 2018; Cadore et al. 2018).

It has been suggested that performing repetitions to failure would optimize muscular adaptations (Willardson, 2007), but few studies have shown that this training strategy induces greater strength gains than the nonfailure approach (Rooney et al., 1994; Drinkwater et al., 2005). Indeed, several investigations have observed that repetitions to failure produce similar changes in maximal strength (Folland et al., 2002; Izquierdo et al., 2006; Martorelli et al., 2017; Nóbrega et al., 2018; Da Silva et al., 2018), maximal neuromuscular activity (Sampson e Groeller, 2015; Nóbrega et al., 2018; Silva et al., 2018), hypertrophy (Sampson e Groeller, 2015; Martorelli et al., 2017; Nóbrega et al., 2018; Da Silva et al., 2018) and muscle power output (Cadore et al., 2018) compared with the nonfailure approach. These findings suggest that repetitions to failure may not be a critical factor for promoting significant changes in muscle function and structure. Nevertheless, most of the abovementioned studies have investigated this issue in young adults, and to the best of the authors' knowledge, only two studies have focused on the effects of ST using repetitions to failure or nonfailure in older men (Da Silva et al., 2018; Cadore et al., 2018). Recently, Da Silva et al. (2018) demonstrated that CT performed using repetitions not to failure (i.e., submaximal repetitions) promoted similar gains in the maximal strength, muscle thickness, maximal neuromuscular activity, rate of torque development (RTD) and jumping performance in older men when compared to the repetitions to failure approach. In addition, Cadore et al. (2018) have shown that CT using repetitions to failure and not to failure induced similar enhancements in sit-to-stand ability, muscle power output, VO_{2peak} , body composition and serum HDL in older men. However, these studies verified adaptations following 12 weeks of training (Da Silva et al., 2018; Cadore et al., 2018), while studies involving young populations

investigated this issue across training periods ranging from 6 to 16 weeks (Rooney et al., 1994; Drinkwater et al., 2005; Izquierdo et al., 2006; Martorelli et al., 2017; Sampson e Groeller, 2015). Thus, it remains unclear if the same findings (i.e., similar adaptations to maximal and submaximal repetitions) would be observed over longer training interventions (i.e., 20 weeks).

Because ST performed with repetitions to failure results in a longer time under tension, which induces greater increases in the blood pressure, heart rate, and rate-pressure product (Nery et al., 2010; Lovell et al., 2011; Tajra et al. 2015; Gjovaag et al., 2016), these responses could increase the cardiovascular risk in older. Thus, it seems relevant to compare the effects of performing repetitions to failure and not to failure on neuromuscular adaptations to training in the older. In addition, considering an approach of repetitions not to failure, the minimal number of repetitions needed to induce optimal gains in neuromuscular function, muscle hypertrophy and functional capacity in the older over the long term is still unclear. Considering that CT is an effective training model that counteracts the physiological effects of aging and that there are a lack of studies in the literature comparing the effects of ST with and without repetitions to failure over longer interventions, the present study aims to compare neuromuscular and functional adaptations following concurrent training performed using repetitions to failure and not to failure in older men. To investigate the effects of repetitions to failure and not to failure, we also aimed to verify the influence of the training volume by adding more sets when training not to failure was adopted. Our hypothesis was that training performing repetitions to failure would not provide additional benefits in neuromuscular and functional adaptations in older individuals. Moreover, we also hypothesized that after 20 weeks, the groups that performed the greatest training volume would have greater muscle thickness gains, regardless of the use of maximal or submaximal repetitions.

METHODS

Experimental design

To investigate the effects of CT composed of ST workouts performed with and without repetitions to concentric failure in older individuals, individuals in three training groups performed 20 weeks of CT protocols. Because we also aimed to isolate the effects of ST volume (i.e., sets \times repetitions), individuals in two training

groups performed submaximal repetitions (i.e., 50% of the possible maximum repetitions), but one group compensated for the lower number of repetitions per set by performing twice the number of sets compared with the repetitions to failure group, which resulted in similar training volume to that group. Along with the ST program, low to moderate intensity endurance training was included for all participants to promote cardiovascular gains. This study is part of a large project, and data related to neuromuscular measures after 12 weeks of training (i.e., maximum strength, torque development rate, maximal neuromuscular activity, and muscle thickness) have been published elsewhere (da Silva et al., 2018). Data on functional capacity, muscle power output, blood pressure, lipid profile and glucose after 12 weeks of training have also been published (Cadore et al., 2018). This randomized clinical trial was approved by the local Institutional Ethics Committee (register number 39550914.3.0000.5347) and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki.

Participants

Thirty-six healthy older men (67.1 ± 5.1 years) who had not been engaged in any regular systematic training program during the previous 3 months participated in this study after completing an ethical consent form. The participants volunteered for the present investigation following announcements in widely read local newspapers, social media, and announcements at a local university. The participants were carefully informed about the design of the study, and special information was given regarding the possible risks and discomfort related to the procedures. Medical evaluations were performed using clinical anamnesis and effort electrocardiography (ECG) to ensure each subject's suitability for the testing procedure. The exclusion criteria were any history of neuromuscular, metabolic, hormonal or cardiovascular diseases (except controlled stage 1 hypertension). In addition, participants who smoked or had stopped smoking less than one year prior to participation in the study were excluded. The participants were not taking any medications that could influence hormonal or neuromuscular metabolism. The participants were requested to avoid any strenuous physical activity outside of the interventions and to maintain their dietary habits for the entire duration of the experiment. The complete enrollment, allocation and assessment of individuals are presented in the “*Results*” section (**Figure 1**).

Randomization and control period

The sample size was calculated using G POWER software (version 3.0.1), which determined that a sample of $n = 14$ participants would be necessary to detect an effect size of 0.5 and provide a statistical power of over 0.85 in all variables. The participants were randomly assigned and placed into three groups through electronic randomization (www.randomizer.org): a group with concurrent training with ST performed using repetitions until concentric failure (RFG), a group with concurrent training with ST performed using repetitions not to failure (NFG), and a group concurrent training with ST performed using repetitions not to failure but with equal total ST volume to that of the RFG (ENFG). Concealment was guaranteed by a researcher who was blinded with respect to the participants. Twelve individuals (age: 68.0 ± 5.2 years; body mass: 83.0 ± 9.7 kg; height: 170 ± 7 cm; body mass index: 28.7 ± 4.2 kg/m²) were evaluated twice before the start of training to provide control period data (weeks -4 and 0). The physical characteristics were determined using body mass (resolution of 0.1 kg) and height (resolution of 1 mm), as well as body composition assessed using the skinfold technique. A seven-site skinfold equation was used to estimate body density (Jackson and Pollock, 1978), and body fat was subsequently calculated using the Siri equation (Siri, 1993) (Table 1).

Table 1: Physical characteristics pre- and post-interventions (Mean \pm SD).

	RFG		NFG		ENFG	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Age (years)	66.8 ± 4.9	67.3 ± 4.8	68.3 ± 7.0	68.7 ± 7.2	66.2 ± 3.3	66.8 ± 3.3
Height (cm)	170 ± 8	170 ± 8	170 ± 5	170 ± 5	170 ± 7	170 ± 7
Weight (kg)	76.8 ± 10.7	76.2 ± 10.7	80.3 ± 10.2	80.7 ± 11.3	86.4 ± 14.6	87.4 ± 14.0
BMI (kg/cm ²)	26.7 ± 3.5	26.4 ± 3.1	27.6 ± 2.9	27.7 ± 3.2	29.4 ± 4.6	29.6 ± 4.5
Body Fat (%)	23.3 ± 5.4	$21.5 \pm 4.9^*$	24.8 ± 5.0	$23.9 \pm 4.3^*$	27.1 ± 6.6	$25.8 \pm 5.2^*$

RFG, repetitions to failure group; NFG, repetitions not to failure group; ENFG, repetitions not to failure group with equalized volume; BMI, body mass index. *Significant difference from pre-training values: $P < 0.001$.

Assessment Procedures

The total duration of the study was 20 weeks, and the subjects were evaluated on four occasions (Figure 1) by the same investigator who was blinded to the training group to which the participants belonged. Exceptions

of blinding were regarding the one repetition maximum (1RM) and functional outcomes, to which assessors were not completely blinded regarding individuals' groups but were blinded to their pretraining values. To test the stability and reliability of the performance variables, a subsample of the participants was assessed twice before the beginning of training (weeks -4 and 0). One week prior to the tests, the subjects were familiarized with the procedures of the 1RM test, isokinetic dynamometer and functional performance test. The evaluation sessions were interspersed with rest periods of 48 h to limit the effects of fatigue on performance.

Maximal dynamic strength

Maximal dynamic strength was assessed using the 1RM test for bilateral leg press (LP) and bilateral knee extension (KE) exercises (KonnenGym, Beijing, China). On the test day, the subjects warmed up for five minutes by walking on a treadmill at a self-selected speed and performed specific movements for the exercise test. Each subject's maximal load was determined with no more than five attempts, and an adequate amount of recovery time was permitted between each attempt (3-5 min). If the 1RM could not be determined in five attempts, another testing day was scheduled. Each valid repetition was considered when subjects performed full knee extension with proper technique. Throughout the testing procedures, subjects were verbally encouraged to produce their maximum strength all the time.

Muscle Thickness

The lower limb muscle thickness (MT) was measured using B-mode ultrasound (Nemio XG, Toshiba, Japan). A 38-mm and 9.0-MHz linear array probe (image depth of 70 mm, 90 dB of general gain, and time-gain compensation at a neutral position) was placed on the skin perpendicular to the tissue interface, and the scanning head was coated with a water-soluble transmission gel to provide acoustic contact without depressing the dermal surface. Three images of each muscle were digitalized and analyzed using ImageJ version 1.42 software (National Institute of Health, Bethesda, Maryland, USA). The subcutaneous adipose tissue-muscle interface and the muscle-bone interface were identified, and the distance from the adipose tissue-muscle interface was defined as the MT. The MT was determined for the *vastus lateralis* (VL), *vastus medialis* (VM), *vastus intermedius* (VI) and *rectus femoris* (RF). The measurement for the VL was taken midway between the lateral condyle of the femur and greater trochanter (Miyatani et al., 2002), whereas the measurement for the VM was taken at 30% of

the distance between the lateral condyle of the femur and the greater trochanter (Korhonen et al., 2009). However, the measurement for the VI and RF were measured at 60% of the distance from the greater trochanter to the lateral epicondyle and 3 cm lateral to the midline of the anterior thigh (Chilibeck et al., 2004). The MT values were considered the mean of three different images taken pre- and post-training. To ensure that all MT measurements were made at the same sites at all time points, transparent paper was used to map the site of measurement on the right thigh of each subject (Cadore et al., 2013). The measurements were performed with the participants in a supine position after 15 minutes of rest to allow fluid shift stabilization (Arroyo et al., 2016) and after 72 hours without any vigorous physical activity.

Isometric peak torque and rate of torque development

The maximal isometric peak torque (PT_{iso}) was obtained using an isokinetic dynamometer (Cybex Norm, New York, NY, USA). The dynamometer was connected to a 2000 Hz A/D converter (Miotec, Porto Alegre, RS, Brazil), which made it possible to quantify the torque exerted when each subject executed knee extension at the determined angle. Participants performed a 5-minute warm-up on an ergometer cycle and then sat with their hips and thighs firmly strapped to the seat of the dynamometer with the hip angle at approximately 85° and the lateral femoral condyle of the right leg aligned with the axis of rotation of the dynamometer. Each subject warmed up with 10 submaximal isokinetic repetitions at an angular velocity of 120°·s⁻¹ followed by a pretest of submaximal isometric knee extension contraction to remind the participants about the testing procedures and instructions. All subjects were instructed to avoid any countermovement immediately before knee extension contraction. If any maximal voluntary contraction (MVC) was initiated with a countermovement, it was discarded, and a new trial was performed. Three 5-s knee extensions were performed with 120° knee extension (180° represented full extension) with a 2-min rest interval between each attempt to minimize the possible effects of fatigue. All participants were instructed and encouraged to exert maximum strength “as hard and as fast as possible” after the starting command (Maffiuletti et al., 2016; Sahaly et al., 2001). Signal processing included filtering at a cut-off frequency of 10 Hz. Maximal peak torque was defined as the highest value of the torque (N·m) recorded during unilateral knee extension. The isometric torque-time analysis on the absolute scale included the rate of torque development (RTD) at 50 ms (RTD₅₀), 100 ms (RTD₁₀₀), and 250 ms

(RTD₂₅₀) ($\text{N} \cdot \text{s}^{-1}$). The RTD variables were calculated from the force onset, which was considered the point that the force exceeded 2.5% of the peak torque (Aagaard et al., 2002) and were determined using MATLAB software (MathWorks Inc., Natick, MA, US).

Functional capacity

Functional capacity was assessed by two tests in the following order: a timed up and go (TUG) test and a sit-to-stand test. Participants had three trials to perform each test with one min intervals between each trial and received instructions to perform each test as fast as possible without running. The best trial was used in the data analysis. The TUG test consisted of measuring the time it took to perform the task of standing from a chair, walking in a line to a point 3 m away, walking around a cone and returning to the chair and sit down again. The subjects started with their back against the chair and their hands on their hips. The sit-to-stand test consisted of measuring the time it took to stand up five times from a chair. Participants were instructed to stand up fully and to place their backs against the chair between repetitions.

Training interventions

Training sessions were performed twice a week, separated from each other by 48 h, and the subjects performed both strength and endurance training in the same session. All groups performed strength training prior to endurance training during the intervention to optimize neuromuscular gains (Cadore et al., 2013). Importantly, the differences between training interventions occurred only in the exercises for the quadriceps muscles (i.e., bilateral leg press and bilateral knee extension) because we focused the investigation on those muscles. Therefore, during the intervention period, participants in the RFG performed concurrent training with the ST workout repetitions performed to concentric failure in all sets in the target exercises. Participants in the NFG performed concurrent training with the ST workout performed at 50% of the possible repetition maximum (RM) in the target exercises. Participants in the ENFG performed concurrent training with the ST workout performed at 50% of the possible RM in the target exercises, but with double the number of sets to be equal to the total ST volume as the RFG in these exercises. The strength and endurance training period from weeks 1 to 12 has been published previously (Da Silva et al. 2018; Cadore et al. 2018). All the training sessions were carefully supervised by at least three experienced personal trainers.

Strength training

Before the start of the interventions, subjects completed two familiarization sessions to practice the ST exercises. All training sessions began with a five-min warm up of walking on a treadmill at a self-selected speed and a specific warm-up with leg presses and chest presses at 30% of the training load for 15 to 20 repetitions. The strength training sessions lasted approximately 40 minutes. The numbers of sets and repetitions performed during the intervention for the leg press and knee extension exercises are shown in Table 2. From weeks 1 to 4, strength training started at an intensity of 65% of 1RM. From week 5 to 8, the intensity was increased to 70% of 1RM + 5% (i.e., considering that there was an increase in the 1RM values, we increased the load of the reference by 5%). The intensity was increased to 75% of 1RM + 5% from week 9 to 11. Before the posttraining assessments, we provided a tapering week (week 12) during which the number of sets and repetitions was reduced to 80% of that performed the previous week for each quadriceps exercise but maintaining the training load to reduce possible residual fatigue in the assessments. After retesting the individuals' 1RM values and adjusting the workloads accordingly, from week 13 to 16, the intensity was increased to 80% and from weeks 17-19 the same intensity was used, but adding a set. Similar to week 12, a tapering microcycle was used in week 20, and individuals performed 80% of the sets and repetitions performed in the previous week. In the non-concentric failure groups (NFG and ENFG), the initial number of repetitions was determined in a pilot study testing the average number of repetitions performed by 10 older men at different intensities (i.e., 65 - 80% of 1 RM). We adopted this strategy because participants were randomized, and all groups started the intervention simultaneously. The recovery time between sets was 120 seconds.

Along with quadriceps exercises, individuals also performed bench press, abdominal exercises, back extension, knee flexion and seated row. In these exercises, participants started performing 2 sets of 18-20 repetitions and progressing loads until 2 sets of 6-8 repetitions per sets. The number of repetitions was approximately 80 % of the RM possible with the loads.

Table 2: Strength training volume (sets and repetitions) from 13 to 20 weeks.

Leg press exercise/ weeks		13	14	15	16	17	18	19	20
RFG	Sets	3	3	3	3	4	4	4	2
	Reps	10.7 ± 3.8	12.3 ± 3.9	12.8 ± 4.2	13.3 ± 3.7	12.9 ± 3.7	13.6 ± 4.4	14.0 ± 4.0	11.2 ± 2.3
	95% IC	9.8 - 11.7	11.3 - 13.2	11.9 - 13.8	12.4 - 14.2	12.1 - 13.7	12.7 - 14.5	13.1 - 14.8	10.5 - 11.9
NFG	Sets	3	3	3	3	4	4	4	2
	Reps	5	5	6	6	5	6	6	5
ENFG	Sets	6	6	6	6	8	8	8	4
	Reps	5	5	6	6	5	6	6	5
Knee extension exercise/ weeks		13	14	15	16	17	18	19	20
RFG	Sets	3	3	3	3	4	4	4	2
	Reps	7.2 ± 2.1	7.8 ± 1.8	8.6 ± 1.9	8.6 ± 2.1	7.9 ± 2.2	7.7 ± 1.7	8.0 ± 1.8	6.5 ± 0.9
	95% IC	6.7 - 7.7	7.3 - 8.2	8.1 - 9.0	8.1 - 9.1	7.5 - 8.4	7.3 - 8.1	7.7 - 8.4	6.3 - 6.8
NFG	Sets	3	3	3	3	4	4	4	2
	Reps	3	4	4	4	4	4	4	3
ENFG	Sets	6	6	6	6	8	8	8	4
	Reps	3	4	4	4	4	4	4	3

RFG, repetitions to failure group; NFG, repetitions not to failure group; ENFG, repetitions not to failure group with equalized volume; Reps, repetitions; 95% IC, 95% interval confidence. Repetitions are presented in mean, SD and 95% IC.

Endurance training

The endurance training program was performed using a treadmill, at the intensity relative to the maximal heart rate (HR_{max}) determined in a maximal incremental test. During the first two weeks, subjects exercised for 20 minutes at 60-65% of HR_{max} , progressing to 65-70% of HR_{max} in the weeks 3 and 4. In the weeks 5 and 6, subjects exercised for 25 minutes at 65-70% of HR_{max} , and progressed to 30 minutes from the week 7 to 9 at same intensity. In the weeks 10 and 11, subjects trained during 30 minutes at 70-75% of HR_{max} . As in the ST, we also designed a tapering week (week 12) before the post-training assessment in the endurance training, and subjects performed 25 minutes at 70-75% of HR_{max} . After the assessments, from the week 13-15 the intensity was the same but the training during 30 minutes and progressed to 35 minutes from the week 16 to 19. Similar to week 12, in the week 20 the subjects performed 25 minutes at 70-75% of HR_{max} . All training groups performed the same endurance training program.

Statistical Analysis

The results are presented as mean \pm SD. Normal distribution and homogeneity parameters were checked with Shapiro-Wilk and Levene test`s respectively. Statistical comparisons in the control period (from week -4 to week 0) were performed by using Student`s paired *t*-tests. Pre-training values between groups were compared using one-way Analysis of Variance (ANOVA). The training-related effects were assessed using a two-way ANOVA (group x time). If a time vs. group interaction was observed, follow up analysis was proceed using one-way ANOVA with Tukey`s post hoc test for group factor, and repeated measures ANOVA for time factor. Significance was accepted when $p \leq 0.05$. All statistical procedures were performed using the SPSS software (version 21.0). The eta-square values were used for the effect size, according to the following classification: small ($\eta^2 \geq 0.02$), medium ($\eta^2 \geq 0.13$) or large effect sizes ($\eta^2 \geq 0.26$) (Cohen, 1988).

RESULTS

Screening, recruitment and allocation

In this study, 112 individuals initially volunteered to participate, and 36 older men completed the pre- and post-20 week measurements and had their data included in the statistical analysis (RFG: $n = 13$; NFG: $n = 12$; ENFG: $n = 11$) (Figure 1). Due to technical problems, the sample size for the muscle thickness data was as follows: RFG = 9; NFG = 12; ENFG = 11.

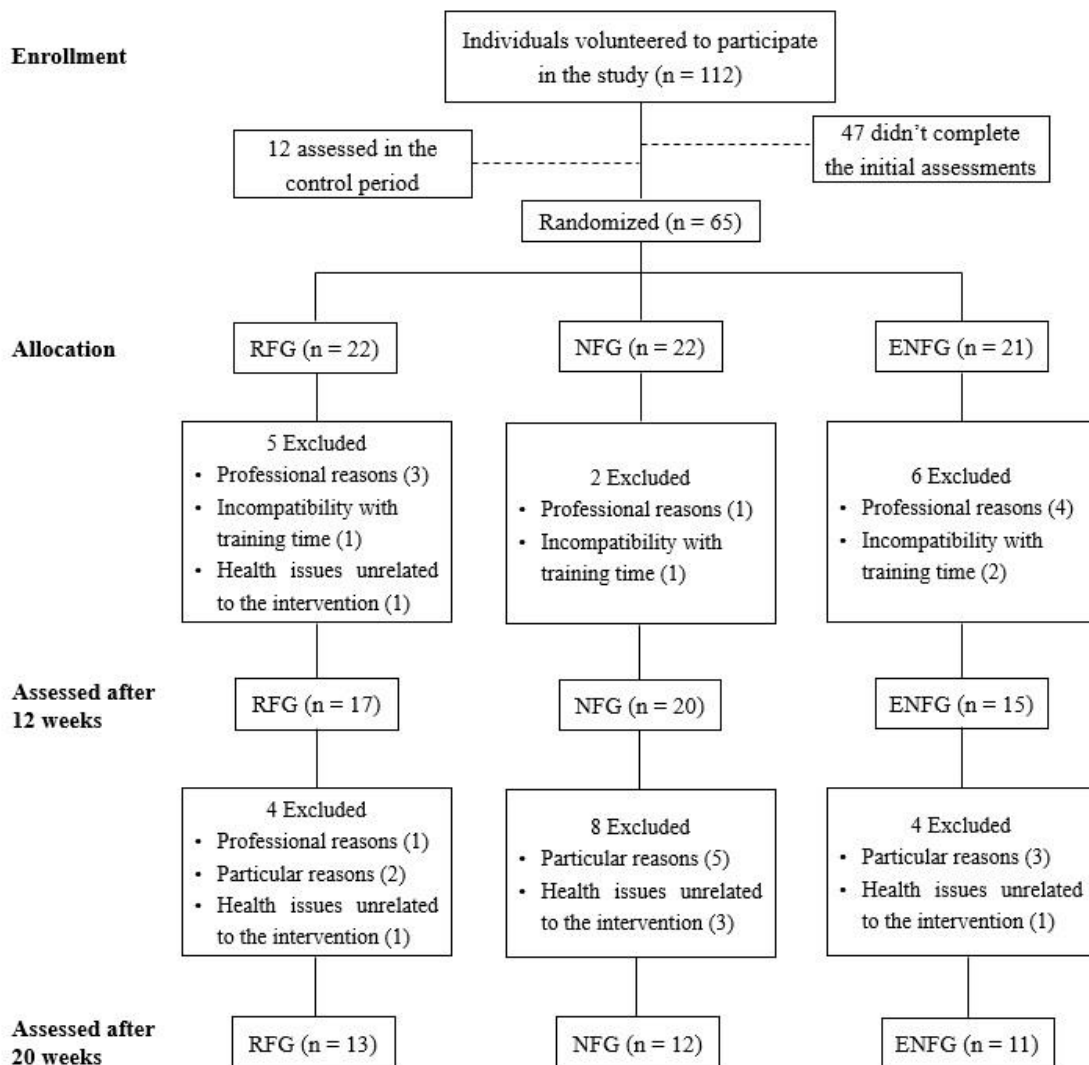


Figure 1. Flowchart for enrollment, allocation and assessment. RFG, repetitions to failure group; NFG, repetitions not to failure group; ENFG, repetitions not to failure group with equalized volume.

Control period, physical characteristics, training volume and adverse effects

Data on the control period, ICCs, and typical error of measurement are presented in Table 3. During the control period (i.e., between week -4 and week 0), no significant changes were observed in any assessed outcome. The physical characteristics of the three groups are reported in Table 1. Before and after training, there were no differences between the groups in body mass (kg), height (cm), age (years), BMI (kg/cm²) and percent fat (%). Significant differences were observed in the total ST volumes in the leg press and knee extension

exercises among groups ($P < 0.001$). The RFG and ENFG presented significantly greater total training volumes than the NFG (Figure 2), while no differences were observed between the RFG and ENFG. During the intervention period, the participants reported no adverse effects related to the training programs.

Table 3: Control period data (Mean \pm SD) ($n = 12$), test-retest reliability coefficient (ICCs) and typical error of measurement.

	Week -4	Week 0	Typical error	ICC values
LP 1RM (kg)	145 \pm 75	150 \pm 68	6.82	0.99
KE 1RM (kg)	72 \pm 20	75 \pm 22	1.37	0.95
VL MT (mm)	20.9 \pm 3.7	21.6 \pm 3.7	0.77	0.96
VM MT (mm)	23.9 \pm 3.2	23.2 \pm 4.9	1.36	0.93
VI MT (mm)	16.6 \pm 4.3	16.6 \pm 4.6	1.12	0.94
RF MT (mm)	17.6 \pm 3.0	18.0 \pm 3.7	0.84	0.95
RTD ₅₀ (N.m.s ⁻¹)	520 \pm 232	505 \pm 192	21	0.88
RTD ₁₀₀ (N.m.s ⁻¹)	525 \pm 249	504 \pm 203	24	0.91
RTD ₂₅₀ (N.m.s ⁻¹)	390 \pm 177	377 \pm 149	22	0.90
PT _{iso} (N.m)	197 \pm 34	192 \pm 40	13.4	0.88
TUG (s)	5.5 \pm 1.0	6.4 \pm 1.4	0.35	0.89
Sit-to-stand (s)	7.6 \pm 1.6	7.3 \pm 1.0	0.22	0.90

LP 1RM and KE 1RM, maximal dynamic strength in the leg press and knee extension exercises, respectively; MT, muscle thickness; VL, *vastus lateralis*; VM, *vastus medialis*; VI, *vastus intermedius*; RF, *rectus femoris*; RTD₅₀, RTD₁₀₀ and RTD₂₅₀, rate of torque development at 50, 100 and 250ms, respectively; PT_{iso}, isometric peak torque; TUG, timed up and go. No significant differences during control period. Note: typical error values are presented in the specific unit of each measurement.

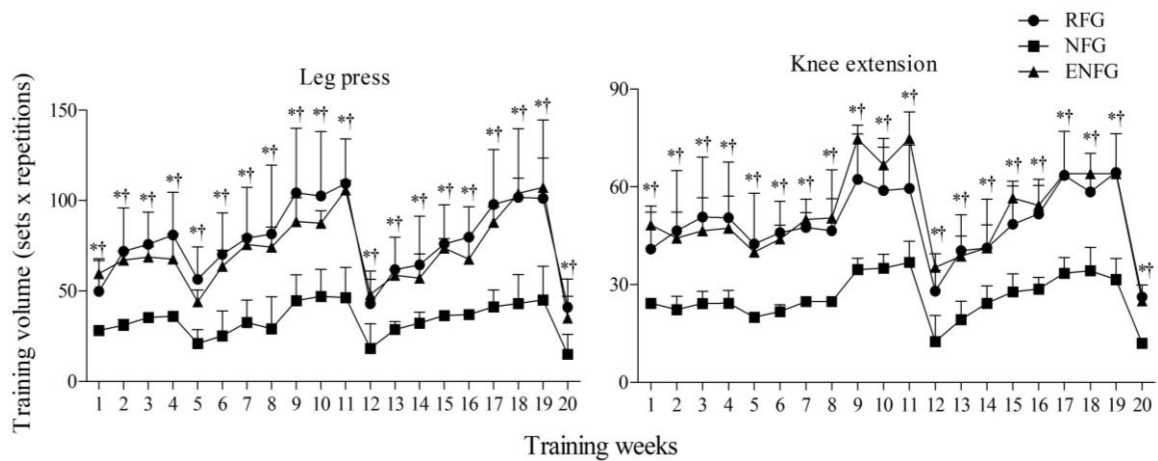


Figure 2. Mean \pm SD of training volume (sets x repetitions) of leg press and knee extension for 20 weeks. RFG, repetitions to failure group; NFG, repetitions not to failure group; ENFG, repetitions not to failure group with equalized volume. *RFG significantly greater than NFG; †ENFG significantly greater than NFG ($p \leq 0.05$).

Dynamic strength

At baseline, there were no differences between the groups in the LP and KE 1RM (kg). In the LP 1RM, there was a significant time effect ($P < 0.001$; $\eta^2 = 0.93$), whereas no significant group effect or time vs. group interaction was observed (Figure 3a). After 20 weeks, all training groups significantly improved the LP 1 RM values (RFG: $71 \pm 28\%$; NFG: $68 \pm 28\%$; ENFG: $57 \pm 16\%$), with no differences among groups. In the KE 1RM, there was a significant time effect ($P < 0.001$; $\eta^2 = 0.87$), whereas no group effect or time vs. group interaction was observed (Figure 3b). After 20 weeks, all training groups significantly improved their KE 1 RM values (RFG: $46 \pm 23\%$; NFG: $37 \pm 16\%$; ENFG: $45 \pm 22\%$), with no differences among groups.

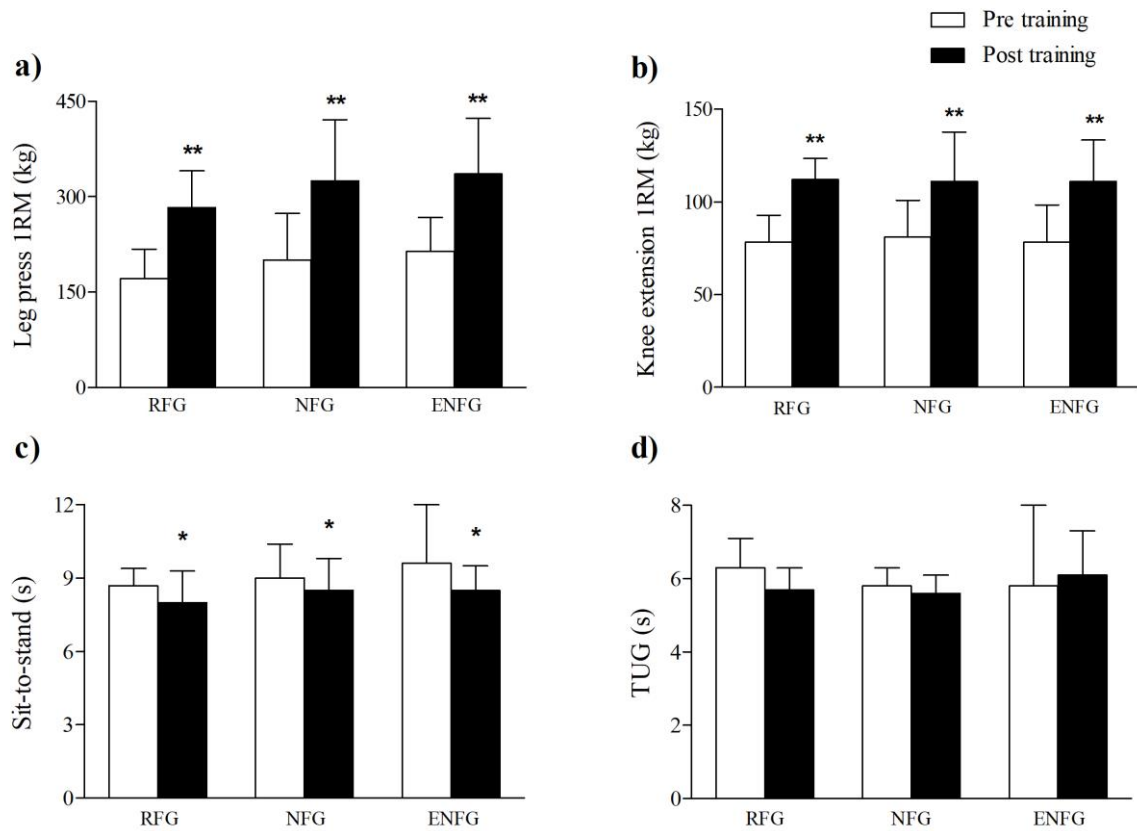


Figure 3: Pre and post 20 weeks values (mean \pm SD): a) leg press one maximum repetition (1RM) (kg); b) knee extension 1RM (kg); c) Sit-to-stand test (s); and, d) timed up and go test (TUG) (s). RFG, repetitions to failure group; NFG, repetitions not to failure group; ENFG, repetitions not to failure group with equalized volume. Significant differences from pre training values * $P < 0.05$; ** $P < 0.001$.

Isometric peak torque and rate of torque development

At baseline, there were no differences between groups in PT_{iso} (N.m) and RTD outcomes ($N.m.s^{-1}$). After training, there was a significant time effect ($P < 0.001$; $\eta^2 = 0.57$), whereas no group effect or time vs. group interaction was observed (Figure 4a). All training groups significantly improved their PT_{iso} values (RFG: $22 \pm 14\%$; NFG: $12 \pm 13\%$; ENFG: $12 \pm 15\%$), with no differences among groups.

There were significant time effects in RTD_{50} ($P < 0.001$; $\eta^2 = 0.33$) (Figure 4b), RTD_{100} ($P = 0.001$; $\eta^2 = 0.30$) (Figure 4c) and RTD_{250} ($P < 0.001$; $\eta^2 = 0.73$) (Figure 4d), whereas no group effects or time vs. group interactions were observed. After 20 weeks, all training groups significantly improved their RTD_{50} (RFG: $18 \pm$

54%; NFG: $48 \pm 34\%$; ENFG: $34 \pm 48\%$), RTD_{100} (RFG: $10 \pm 50\%$; NFG: $43 \pm 36\%$; ENFG: $33 \pm 44\%$) and RTD_{250} (RFG: $5 \pm 17\%$; NFG: $22 \pm 34\%$; ENFG: $7 \pm 21\%$), with no differences among groups.

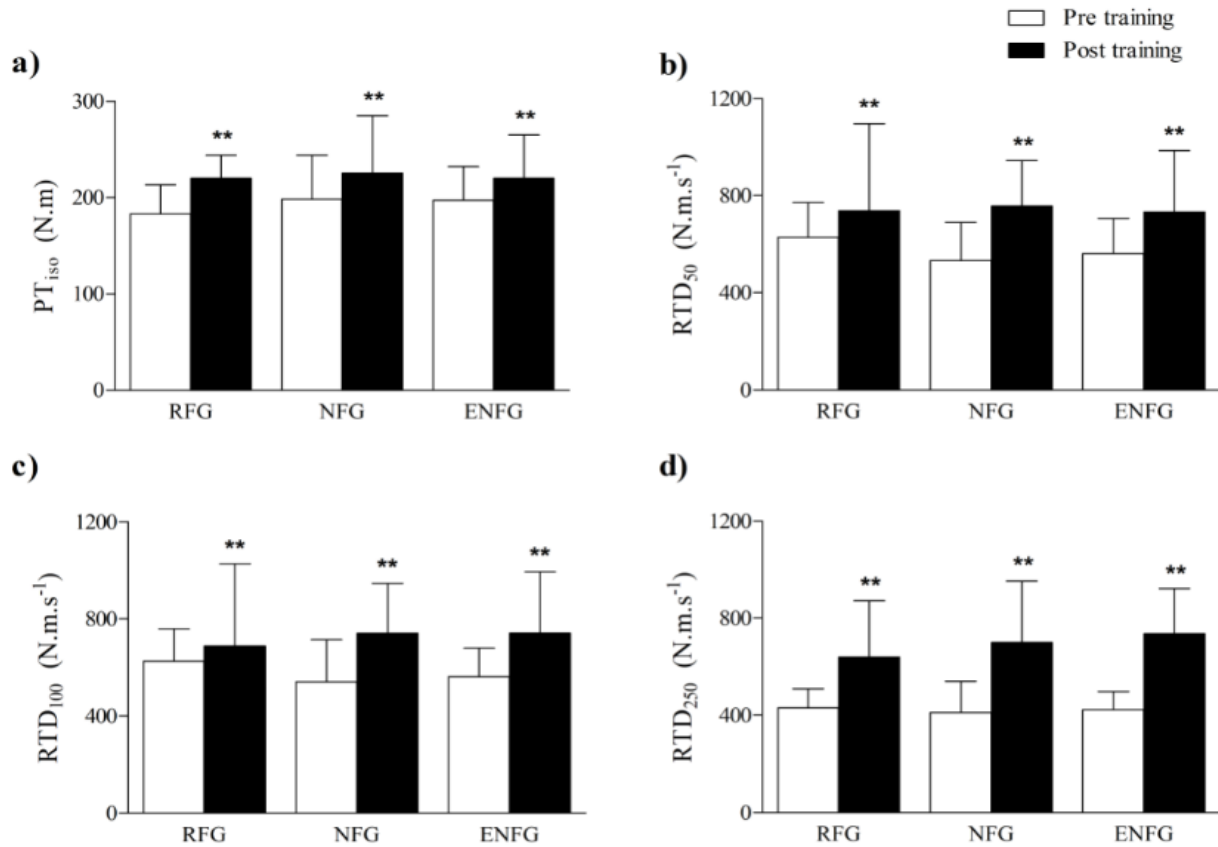


Figure 4: Pre and post 20 weeks values (mean \pm SD): a) isometric peak torque (PT_{150}); b, c and d) rate of torque development at 50 (RTD_{50}), 100 (RTD_{100}) and 250ms (RTD_{250}), respectively. RFG, repetitions to failure group; NFG, repetitions not to failure group; ENFG, repetitions not to failure group with equalized volume. Significant different from pre training values: $**P \leq 0.001$.

Muscle thickness

At baseline, there were no differences among groups in the VL, RF, VI and VM MT (mm). After training, there was a significant time effect ($P < 0.05$; $\eta^2 = 0.24$) in the VL MT, and no significant group effect or time vs. group interaction was observed (RFG: $10\% \pm 20\%$; NFG: $9 \pm 24\%$; ENFG: $14 \pm 18\%$). There was a significant time effect in the RF MT ($P < 0.05$; $\eta^2 = 0.25$), and no significant group effect or time vs. group interaction was observed (RFG: $11\% \pm 25\%$; NFG: $8 \pm 17\%$; ENFG: $13 \pm 9\%$). In the VI MT, there was a

significant time effect ($P < 0.05$; $\eta^2 = 0.19$), and no significant group effect or time vs. group interaction was observed (RFG: $18\% \pm 50\%$; NFG: $3 \pm 16\%$; ENFG: $22 \pm 22\%$). Regarding the VM MT, there was a significant time effect ($P < 0.05$; $\eta^2 = 0.18$), and no significant group effect or time vs. group interaction was observed (RFG: $11\% \pm 18\%$; NFG: $5 \pm 18\%$; ENFG: $9 \pm 15\%$) (Figure 5).

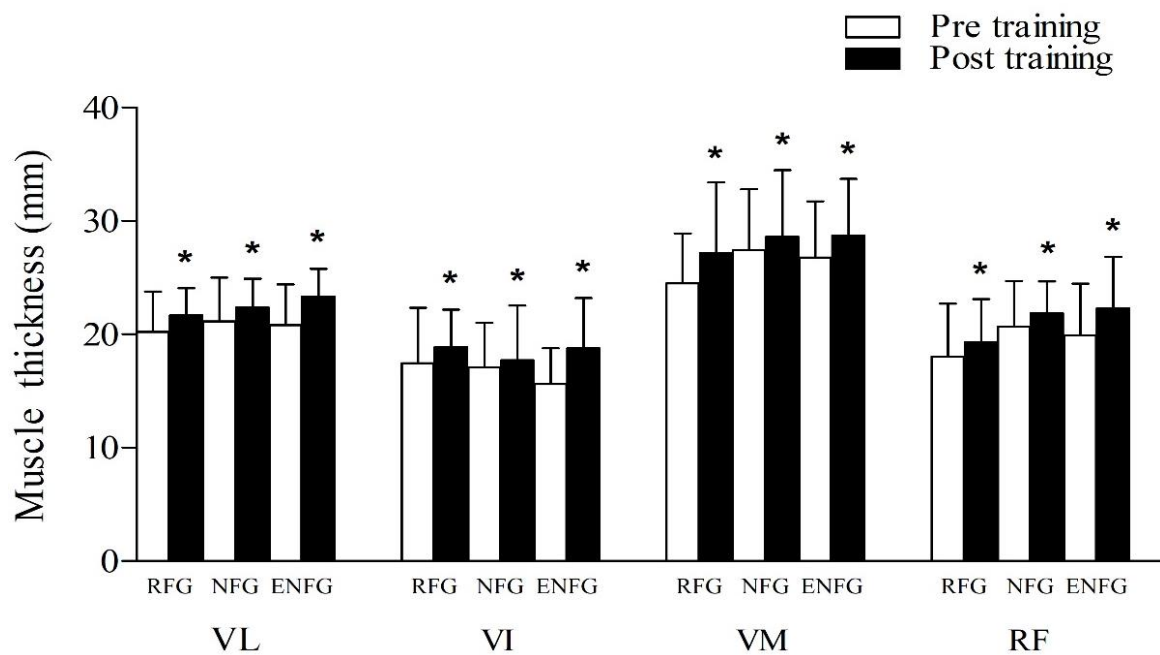


Figure 5: Mean \pm SD of muscle thickness, pre and post 20 weeks of concurrent training. VL, *vastus lateralis*; VI, *vastus intermedius*; VM, *vastus medialis*; RF, *rectus femoris*; RFG, repetitions to failure group; NFG, repetitions not to failure group; ENFG, repetitions not to failure group with equalized volume. Significant difference from pre training values * $P < 0.05$.

Functional capacity

At baseline, there were no differences among groups in the sit-to-stand or TUG tests. There was a significant time effect in sit-to-stand performance ($P < 0.05$; $\eta^2 = 0.19$), but no significant group effect or time vs. group interaction was observed (RFG: $7 \pm 11\%$; NFG: $3 \pm 23\%$; ENFG: $8 \pm 16\%$) (Figure 3c). In addition, there was no time effect, group effect, or time vs. group interaction ($P > 0.05$) in TUG performance (RFG: $8\% \pm 6\%$; NFG: $3 \pm 11\%$; ENFG: $3 \pm 17\%$) (Figure 3d).

DISCUSSION

The aim of the present study was to compare neuromuscular and functional adaptations following concurrent training performed using repetitions to failure and not to failure over long term in older men. The main finding of the present study was that all CT groups experienced similar neuromuscular and functional gains after 20 weeks of concurrent training, regardless of performing repetitions to failure or greater ST volumes. This finding indicates that performing sets to concentric failure does not promote greater gains in maximal dynamic strength, explosive strength, isometric peak torque, muscle thickness or functional test performance. In addition, according to the present results, performing a lower training volume (i.e., 50% of the maximum volume) seems to be a sufficient stimulus to induce marked neuromuscular gains in older men.

Concurrent training seems to be an interesting strategy to mitigate age-related strength declines, as it might induce similar adaptations to isolated strength training (Cadore et al., 2014). After the intervention period, the improvements found in the lower limb maximal dynamic and isometric strength (PT_{iso}) were in agreement with gains observed in previous studies investigating CT in older men (Izquierdo et al., 2004; Cadore et al., 2010; Karavirta et al., 2011). Regarding the use of repetitions to failure or not to failure, our findings are in accordance with those of other studies that carried out similar comparisons over shorter training periods (from 6 to 16 weeks) in young (Folland et al., 2002; Izquierdo et al., 2006; Sampson and Groeller, 2015; Martorelli et al., 2017; Nóbrega et al., 2018) and older individuals (Da Silva et al., 2018). In a previous study performed in our laboratory, Da Silva et al. (2018) showed that 12 weeks of CT induced marked adaptations in the maximal dynamic strength and isometric peak torque of the lower limbs, regardless of whether repetitions to failure or greater ST volumes were used. Notwithstanding, to the best of the authors' knowledge, no previous study has investigated the effects of performing repetitions to failure and not to failure over longer ST interventions (i.e., 20 weeks), especially in older individuals. A unique finding of the present study is that these similar magnitudes of strength adaptations among the RFG, NFG and ENFG remained when assessed in the long-term (i.e., 20 weeks). This means that to optimize lower limb maximal strength gains in older men, it seems that only 50% of possible maximal repetitions are needed, at least when the training intensity and exercises performed in the present study are applied. It should also be mentioned that the strength gains observed after 20 weeks (i.e., 57-

71% and 37-46% in the LP and KE exercises, respectively) were apparently greater than those observed after 12 weeks of training (i.e., 41-45% in the LP and 23-31% in the KE exercises). This means that all CT groups maintained a high strength gain rate even in the long term.

In this study, the quadriceps muscle hypertrophy ranging from 3 to 22% is consistent with the increase reported in other investigations involving older subjects (Cadore et al., 2013; Radaelli et al., 2014). Our initial hypothesis was that CT interventions using greater ST volumes (i.e., RFG and ENFG) would lead to greater muscle hypertrophy. Surprisingly, contrary to our hypothesis, the protocols used in the RFG, NFG and ENFG were similarly effective in increasing the muscle thickness of the VL, VI, VM and RF, regardless of the training volume. Our findings are opposite to our previous results that were determined after 12 weeks of CT in the study by Da Silva et al. (2018). In that study, we observed that following 12 weeks of CT, the groups using greater ST volumes had increased quadriceps muscle thickness to a greater magnitude than the groups using lesser ST volumes (Da Silva et al., 2018), whereas in the present study, the increments were similar in all CT protocols, regardless of the training volume or performance of sets to failure. Taken together, these data suggest that in the short term, the quadriceps muscle thickness was more influenced by the training volume (Da Silva et al., 2018), whereas in the long term (i.e., 20 weeks), the increase in the intensity of up to 80% of 1RM across weeks 13 to 20 may have compensated for the lower volume in the NFG, inducing similar hypertrophy. Another possible explanation is that low-volume ST may require a longer training period to achieve a similar hypertrophic response than high-volume protocols. In this way, using low volume non-failure approach might be advantageous when high ST volume or effort is not possible. Notwithstanding, it should be noted that it is possible that the reduction in the sample size compared with that the study by Da Silva et al. (2018) may have influenced the results. Therefore, future studies with a larger number of individuals may be necessary to confirm the present findings. Despite this limitation, in agreement with our results, Nóbrega et al. (2018) submitted young men to knee extension ST for 12 weeks, and they observed similar improvements in maximal strength and muscular hypertrophy among groups performing repetitions to failure and not to failure, independent of ST intensity and even without volume compensation. Taken together, these findings indicate that performing repetitions leading to concentric failure is not critical for inducing increases in strength and muscle size when sufficient ST intensity is achieved. Our findings also suggest that when a threshold of ST volume is achieved,

additional ST volume does not induce a greater magnitude of muscle hypertrophy, at least until 20 weeks of training in older men.

All CT interventions increased the RTD outcomes (i.e., 0-50,0-100, 0-250 ms), with no additional benefit of repetitions to failure or greater volumes of repetitions. This finding agrees with those of previous studies involving young populations, which showed no additional rapid force increases or even non-responsiveness of individuals performing repetitions to concentric failure (Izquierdo et al., 2006; Izquierdo-Gabarren et al., 2010; Martorelli et al., 2017). In addition, this finding also agrees with that of a previous study performed in our laboratory, which showed similar RTD enhancements among groups (i.e., RFG, NFG and ENFG) after 12 weeks of intervention (Da Silva et al. 2018). Nevertheless, our RTD data are very original because no previous study has investigated RTD adaptations to ST performed using repetitions to failure or not to failure in older men with a long intervention (i.e., 20 weeks).

RTD improvements are very important because, although there is a marked decrease in muscle strength, explosive strength and muscle power output decrease at a greater rate than muscle strength with advancing age (Izquierdo et al., 1999). It should be mentioned that marked increases in RTD outcomes were observed even in individuals who did not perform an explosive type of ST. However, although we did not encourage our individuals to perform the concentric phase as fast as possible, we also did not encourage them to control this phase and perform it slowly. Therefore, it is possible that the participants may have produced a high rate of force development during ST sets to overcome inertia. Indeed, our results corroborate those of previous studies assessing CT and ST adaptations in older individuals not performing explosive ST (Cadore et al. 2013; Pinto et al., 2014). Increases in RTD at different time intervals are influenced by different physiological parameters. For example, increases in the initial RTD interval (i.e., 0-50 ms) are more related to neural factors (motor unit discharge and doublet discharges) (Andersen and Aagaard, 2006), whereas later values (i.e., 200-300 ms) are more influenced by muscle contraction properties and maximal voluntary contraction (Maffiuletti et al., 2016). Thus, because we observed significant improvements in the RTD in all time intervals, it is possible that the changes in RTD observed in the present study may be related to the enhancements in lower limb PT_{iso} and by specific neural adaptations (Maffiuletti et al., 2016). Our data have great clinical relevance because the

increments in these outcomes are associated with improvement in the performance of activities of daily living and reduction in the risk of falls (Reid e Fielding, 2012; Casas-Herrero et al., 2013; Maffiuletti et al., 2016).

Considering that functional capacity is reduced during ageing and that performing activities of daily living independently is extremely important for older individuals to maintain their quality of life (Briggs et al., 2016), it is necessary to search for strategies to optimize improvements in this capacity. To date, only one study has verified the effect of maximal and submaximal repetitions on the functionality of the older (Cadore et al., 2018). The present findings demonstrate that ST performed using sets to failure does not produce additional benefits in functional test performance. Although the CT programs used in the present study appeared to be effective in promoting improvements in sit-to-stand ability, they did not change the TUG performance, which is in agreement with the results of previous studies investigating older individuals without apparent functional decline (Wilhelm et al., 2014; Cadore et al., 2018). The lack of improvement in the TUG performance might be attributed to the fact that all participants in the present study were independent and presented good functional capacity without any evident functional impairments. Therefore, it is possible that the TUG test had insufficient sensitivity to show improvements in performance in older individuals with this functional capacity level.

Sets using repetitions to failure promote high fatigue, which may induce high levels of discomfort and physical exertion, preventing the correct execution of the movement (Willardson, 2007; Davies et al., 2016). In addition, it is believed that the use of repetitions to failure for long training periods could increase the risk of overuse injuries (Fry & Kraemer, 1997; Willardson, 2007; Davies et al., 2016). Moreover, this approach also implies a longer time under tension, leading to higher increases in blood pressure, heart rate, and rate-pressure product (Nery et al., 2010; Lovell et al., 2011; Gjovaag et al., 2016), which may increase the risk of cardiovascular complications in the older. In view of the possible risks and discomforts related to the execution of repetitions leading to concentric failure, our results seem interesting because they indicate that repetitions not to failure are equally effective in improving neuromuscular performance and functional capacity in older men.

One could suggest that a possible limitation of the present study is that the endurance training performed by the participants could have had some influence on the ST adaptations. Nevertheless, all groups performed the same endurance intervention, and thus, a possible influence would be the same in all groups. Moreover, the endurance session was composed of a low volume and moderate training intensity, and it was

always performed after strength training in all sessions, which minimized the possibility of interference effect (Cadore and Izquierdo, 2013).

In summary, concurrent strength and endurance training performed using repetitions to failure or not to failure promoted similar gains in the lower limb maximal strength, rate of torque development, muscle thickness and functional capacity in healthy older men. In addition, even when performing 50% of the possible maximal repetitions with no volume compensation, older men had optimized neuromuscular performance, muscle hypertrophy and functional capacity gains within 20 weeks of training. These results have an important practical application because they indicate that repetitions not to failure and lower ST volumes at moderate to high intensity are able to promote significant improvements in neuromuscular and functional outcomes in older men.

REFERENCES

AAGAARD, Per et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **Journal of applied physiology**, v. 93, n. 4, p. 1318-1326, 2002.

AAGAARD, Per et al. Mechanical muscle function, morphology, and fiber type in lifelong trained older. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 39, n. 11, p. 1989-1996, 2007.

AAGAARD, Per et al. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 20, n. 1, p. 49-64, 2010.

ANDERSEN, Lars L.; AAGAARD, Per. Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. **European journal of applied physiology**, v. 96, n. 1, p. 46-52, 2006.

ARROYO, Eliott et al. Effects of supine rest duration on ultrasound measures of the vastus lateralis. **Clinical physiology and functional imaging**, v. 38, n. 1, p. 155-157, 2016.

ASTRAND, Irma et al. Reduction in maximal oxygen uptake with age. **Journal of Applied Physiology**, v. 35, n. 5, p. 649-654, 1973.

BORDE, Ron; HORTOBÁGYI, Tibor; GRANACHER, Urs. Dose–response relationships of resistance training in healthy old adults: a systematic review and meta-analysis. **Sports medicine**, v. 45, n. 12, p. 1693-1720, 2015.

BRIGGS, Andrew M. et al. Musculoskeletal health conditions represent a global threat to healthy aging: a report for the 2015 World Health Organization world report on ageing and health. **The Gerontologist**, v. 56, n. Suppl_2, p. S243-S255, 2016.

- BURD, Nicholas A. et al. Bigger weights may not beget bigger muscles: evidence from acute muscle protein synthetic responses after resistance exercise. **Applied physiology, nutrition, and metabolism**, v. 37, n. 3, p. 551-554, 2012.
- BURD, Nicholas A. et al. Resistance exercise volume affects myofibrillar protein synthesis and anabolic signalling molecule phosphorylation in young men. **The Journal of physiology**, v. 588, n. 16, p. 3119-3130, 2010.
- CADORE, Eduardo L. et al. Effects of strength, endurance, and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in older men. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 25, n. 3, p. 758-766, 2011
- CADORE, Eduardo Lusa et al. Functional and physiological adaptations following concurrent training using sets with and without concentric failure in older men: A randomized clinical trial. **Experimental gerontology**, 2018.
- CADORE, Eduardo Lusa et al. Neuromuscular adaptations to concurrent training in the older: effects of intrasession exercise sequence. **Age**, v. 35, n. 3, p. 891-903, 2013.
- CADORE, Eduardo Lusa et al. Physiological effects of concurrent training in older men. **International journal of sports medicine**, v. 31, n. 10, p. 689-697, 2010.
- CADORE, Eduardo Lusa et al. Strength and endurance training prescription in healthy and frail older. **Aging and disease**, v. 5, n. 3, p. 183, 2014.
- CADORE, Eduardo Lusa et al. Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in older men. **Experimental gerontology**, v. 47, n. 2, p. 164-169, 2012.
- CADORE, E. L.; IZQUIERDO, M. How to simultaneously optimize muscle strength, power, functional capacity, and cardiovascular gains in the older: an update. **Age**, v. 35, n. 6, p. 2329-2344, 2013.
- CASAS-HERRERO, Alvaro et al. Functional capacity, muscle fat infiltration, power output, and cognitive impairment in institutionalized frail oldest old. **Rejuvenation research**, v. 16, n. 5, p. 396-403, 2013.
- CHILIBECK, Philip D. et al. Effect of creatine ingestion after exercise on muscle thickness in males and females. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 36, n. 10, p. 1781-1788, 2004.
- COHEN, Jacob. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd. 1988.
- DA SILVA, Larissa Xavier Neves et al. Repetitions to failure versus not to failure during concurrent training in healthy older men: A randomized clinical trial. **Experimental gerontology**, v. 108, p. 18-27, 2018.
- DAVIES, Tim et al. Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. **Sports medicine**, v. 46, n. 4, p. 487-502, 2016.
- DRINKWATER, Eric J. et al. Training leading to repetition failure enhances bench press strength gains in elite junior athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 2, p. 382, 2005.
- FERRARI, Rodrigo et al. Efficiency of twice weekly concurrent training in trained older men. **Experimental gerontology**, v. 48, n. 11, p. 1236-1242, 2013.
- FOLLAND, Jonathan P. et al. Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training. **British journal of sports medicine**, v. 36, n. 5, p. 370-373, 2002.

- FRY, Andrew C.; KRAEMER, William J. Resistance exercise overtraining and overreaching. **Sports medicine**, v. 23, n. 2, p. 106-129, 1997.
- GJOVAAG, Terje et al. Hemodynamic responses to resistance exercise in patients with coronary artery disease. **Med Sci Sports Exerc**, v. 48, n. 4, p. 581-588, 2016.
- GOROSTIAGA, Esteban M. et al. Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. **PloS one**, v. 7, n. 7, p. e40621, 2012.
- HE, W.; GOODKIND, D.; KOWAL, P. **An Aging World: 2015 International Population Reports. 2016.** P95/09-1.
- HERMAN, Seth et al. Upper and lower limb muscle power relationships in mobility-limited older adults. **The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences**, v. 60, n. 4, p. 476-480, 2005.
- HUNTER, Sandra K.; DUCHATEAU, Jacques; ENOKA, Roger M. Muscle fatigue and the mechanisms of task failure. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 32, n. 2, p. 44-49, 2004.
- IZQUIERDO, Mikel et al. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 5, p. 1647-1656, 2006.
- IZQUIERDO, M. et al. Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. **Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 4, p. 1497-1507, 2001.
- IZQUIERDO, Mikel et al. Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 17, n. 1, p. 129-139, 2003
- IZQUIERDO, Mikel et al. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 36, n. 3, p. 435-443, 2004.
- IZQUIERDO-GABARREN, Mikel et al. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 42, n. 6, p. 1191-1199, 2010.
- JACKSON, Andrew S.; POLLOCK, Michael L. Generalized equations for predicting body density of men. **British journal of nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497-504, 1978.
- JONES, C. Jessie; RIKLI, Roberta E.; BEAM, William C. A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. **Research quarterly for exercise and sport**, v. 70, n. 2, p. 113-119, 1999.
- KARAVIRTA, L. et al. Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40–67-year-old men. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 21, n. 3, p. 402-411, 2011.
- KORHONEN, Marko T. et al. Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 41, n. 4, p. 844-856, 2009.
- LAURETANI, Fulvio et al. Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. **Journal of applied physiology**, v. 95, n. 5, p. 1851-1860, 2003.

- LOVELL, Dale I.; CUNEO, Ross; GASS, Greg C. The blood pressure response of older men to maximum and sub-maximum strength testing. **Journal of science and medicine in sport**, v. 14, n. 3, p. 254-258, 2011.
- MAFFIULETTI, Nicola A. et al. Rate of force development: physiological and methodological considerations. **European journal of applied physiology**, v. 116, n. 6, p. 1091-1116, 2016.
- MARTORELLI, Saulo et al. Strength training with repetitions to failure does not provide additional strength and muscle hypertrophy gains in young women. **European journal of translational myology**, v. 27, n. 2, 2017.
- MIYATANI, Masae et al. Validity of ultrasonograph muscle thickness measurements for estimating muscle volume of knee extensors in humans. **European journal of applied physiology**, v. 86, n. 3, p. 203-208, 2002.
- NERY, Sandra de Souza et al. Intra-arterial blood pressure response in hypertensive subjects during low-and high-intensity resistance exercise. **Clinics**, v. 65, n. 3, p. 271-277, 2010.
- NÓBREGA, Sanmy R. et al. Effect of resistance training to muscle failure vs. volitional interruption at high-and low-intensities on muscle mass and strength. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 32, n. 1, p. 162-169, 2018.
- RADAELLI, Regis et al. Time course of low-and high-volume strength training on neuromuscular adaptations and muscle quality in older women. **Age**, v. 36, n. 2, p. 881-892, 2014.
- REID, Kieran F.; FIELDING, Roger A. Skeletal muscle power: a critical determinant of physical functioning in older adults. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 40, n. 1, p. 4, 2012.
- ROONEY, KIERAN J.; HERBERT, Robert D.; BALNAVE, Ronald J. Fatigue contributes to the strength training stimulus. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 26, n. 9, p. 1160-1164, 1994.
- SAHALY, R. et al. Maximal voluntary force and rate of force development in humans—importance of instruction. **European Journal of Applied Physiology**, v. 85, n. 3-4, p. 345-350, 2001.
- SAMPSON JA, H. Groeller H. Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength? **Scand J Med Sci Sports** 2015.
- SCHOENFELD, Brad J. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 24, n. 10, p. 2857-2872, 2010.
- SIRI, W. E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. **Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)**, v. 9, n. 5, p. 480, 1993.
- TAJRA, V., VIEIRA, D.C., TIBANA, R.A., TEIXEIRA, T.G., SILVA, A.O., FARIAS, D.L., NASCIMENTO, DdA.C., DE SOUZA, N.M., WILLARDSON, J., PRESTES, J. Different acute cardiovascular stress in response to resistance exercise leading to failure versus not to failure in older women with and without hypertension - pilot study. **Clin Physiol Funct Imaging** 35:127-133, 2015.
- WILHELM, Eurico Nestor et al. Concurrent strength and endurance training exercise sequence does not affect neuromuscular adaptations in older men. **Experimental gerontology**, v. 60, p. 207-214, 2014.
- WILLARDSON, Jeffrey M. The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 2, p. 628, 2007.
- WOOD, Robert H. et al. Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 33, n. 10, p. 1751-1758, 2001.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossos achados indicam que o treinamento concorrente com o treino de força utilizando repetições até a falha concêntrica, com 50% das repetições até a falha, e com 50% das repetições até a falha mas com volume equalizado (i.e., utilizando o dobro de séries) foram igualmente eficazes em promover adaptações na força máxima dinâmica e isométrica, na taxa de produção de torque, na massa muscular de membros inferiores e na capacidade funcional de homens idosos sedentários.

Nossos resultados são importantes já que o treinamento com repetições máximas pode provocar altos níveis de desconforto e esforço físico, podendo inviabilizar a execução correta dos movimentos. Além disso, realizar um maior número de repetições a fim de alcançar a falha concêntrica implica em manter a musculatura sob tensão durante períodos mais longos, o que pode induzir um maior aumento da pressão arterial e da frequência cardíaca, ocasionando maiores riscos cardiovasculares em idosos. Portanto, do ponto de vista prático, o uso de repetições máximas parece não ser necessário para potencializar os ganhos, ao passo que, as repetições submáximas com 50% do número máximo de repetições e com intensidade moderada a alta, parece ser um modelo de treinamento eficiente para promover melhorias neuromusculares e funcionais em homens idosos.

7. ANEXOS

- A) Termo de Consentimento Livre e Esclarecido;
- B) Carta de anuência;
- C) Divulgação do projeto;
- D) Modelo de relatório de avaliações dos participantes;
- E) Artigos originados pelo presente projeto.

Anexo A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido;

TCLE - Eu entendo que participarei como sujeito do estudo intitulado **“ADAPTAÇÕES FISIOLÓGICAS AO TREINAMENTO CONCORRENTE COM E SEM A EXECUÇÃO DE SÉRIES ATÉ A FALHA CONCÊNTRICA EM HOMENS IDOSOS”**, que envolverá a avaliação da composição corporal (percentual de gordura e massa magra do corpo), da força máxima dinâmica em diferentes exercícios de musculação, do torque muscular isométrico, ativação muscular, capacidade aeróbica avaliada através de um teste máximo em esteira rolante, glicose, valores de colesterol e triglicérides, pressão arterial, variabilidade da frequência cardíaca e da quantidade de massa muscular da coxa, através de ultrassonografia. Estou ciente que todos esses testes serão realizados antes, durante (após 12 semanas) e após 20 semanas de treinamento físico, envolvendo exercícios de musculação juntamente com esteira rolante, que entendo que serei submetido 2 vezes por semana durante esse período. Esses testes que realizarei são parte desse estudo e terão a finalidade de comparar os efeitos da execução do treino de força com e sem a execução de séries até a falha muscular. Eu, por meio desta, autorizo Eduardo Lusa Cadore, bolsistas ou profissionais selecionados para realizar os seguintes procedimentos:

1. Aplicar-me um treinamento de musculação somado ao treino aeróbico em esteira rolante durante 20 semanas, 2 vezes por semana, na presença de profissionais de Educação Física habilitados para a orientação do treinamento.
2. Aplicar-me a testes de força máxima, envolvendo grupos musculares das pernas antes e após o período de treinamento físico.
3. Aplicar-me testes de capacidade aeróbica, que serão realizados em esteira rolante, com intensidade aumentada de minuto em minuto, até que ocorra minha interrupção voluntária.
4. Mensurar minha espessura muscular, nos músculos da coxa, através de ultrassonografia.
5. Coletar sangue do meu braço, com o objetivo de mensuração da glicose e gorduras sanguíneas;

6. Submeter-me à avaliação da quantidade de gordura e massa livre de gordura que possuo, através de equipamento especializado;
7. Aferir-me a pressão arterial.

Nos testes de força:

Estão envolvidos os seguintes riscos e desconfortos: dor e cansaço muscular temporário.

No teste de esforço máximo (teste em esteira rolante):

1. Eu estarei respirando através de uma máscara, na qual estará anexado um analisador de gases por mim expirados.
2. Estão envolvidos os seguintes riscos e desconfortos: dor e cansaço muscular temporário. Há a possibilidade de mudanças anormais da minha frequência cardíaca e pressão sanguínea ou mesmo um ataque do coração durante os testes. Porém, eu entendo que minha frequência cardíaca (número de batimentos cardíacos por minuto) será monitorada durante todos os testes de laboratório através de um eletrocardiógrafo (monitor específico para), e que eu posso terminar o teste em qualquer momento sob meu critério.
3. Estará presente um médico responsável, além de estar disponível, no laboratório, uma linha telefônica para a Assistência Médica de Emergência, fone 192 (SAMU).

Dos procedimentos de testes:

- a. Os procedimentos expostos acima têm sido explicados para mim por Eduardo Lusa Cadore e seus bolsistas selecionados;
- b. Eduardo Lusa Cadore e seus bolsistas irão responder qualquer dúvida que eu tenha em qualquer momento relativo a esses procedimentos;
- c. Todos os dados relativos a minha pessoa irão ficar confidenciais e disponíveis apenas sob minha solicitação escrita. Além disso, eu entendo que no momento da publicação, não irá ser feita associação entre os dados publicados e a minha pessoa; ainda, esses dados estarão disponíveis até a publicação dos manuscritos científicos referentes a esse projeto, no máximo 2 anos após o encerramento do mesmo.

d. Não haverá compensação financeira pela minha participação neste estudo; e. Poderei fazer contato com o orientador do estudo Professor Doutor Eduardo Lusa Cadore, para quaisquer problemas referentes a minha participação no estudo ou se eu sentir que há uma violação dos meus direitos, através do telefone (051) 3308-5817. Além disso, posso entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo telefone (051) 3308-3629.

f. Durante a investigação, há qualquer instante durante o testes, eu tenho o direito de me recusar a prosseguir com os mesmos.

g. Todos os procedimentos a que serei submetido serão conduzidos por profissionais, professores ou bolsistas com experiência prévia em todos os procedimentos.

h. Estou ciente de que não haverá um médico presente em todos os treinos, mas minha participação no estudo estará condicionada a liberação médica, ocorrida antes do início do estudo.

Porto Alegre, _____ de _____ de 2016.

Nome em letra de forma: _____

Assinatura: _____

Anexo B - Carta de Anuência



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA
LABORATÓRIO DE PESQUISA DO EXERCÍCIO**

DECLARAÇÃO DE ANUÊNCIA DE REALIZAÇÃO DE PESQUISA NO LAPEX

Declaro para os devidos fins, que autorizo a realização da pesquisa intitulada **“Adaptações Fisiológicas ao treinamento concorrente com e sem a execução de séries com repetições máximas em homens idosos”** sob a orientação do professor **EDUARDO LUSA CADORE** no Laboratório de Pesquisa do Exercício.

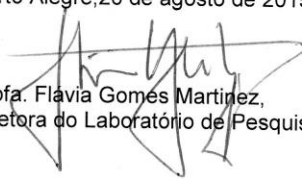
Alunos: **ERIK MENGER**

LARISSA XAVIER

JULIANA TEODORO

RAFAEL GRAZIOLI


Porto Alegre, 20 de agosto de 2015.


Profa. Flávia Gomes Martinez,
Diretora do Laboratório de Pesquisa do Exercício.


LABORATÓRIO DE PESQUISA DO EXERCÍCIO - ESEF/UFRGS

Rua Felizardo, nº 750 - Jardim Botânico - Porto Alegre / RS
Fones: (51) 3308.5817 / 3308.5842 / 3308.5818

Anexo C - Divulgação do projeto por meio de redes sociais e jornais.



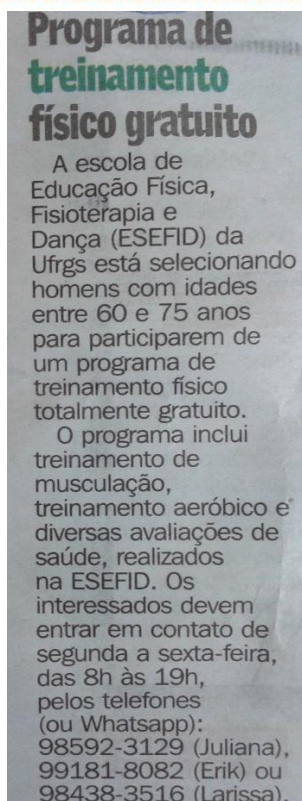
A Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança (ESEFID) da UFRGS convida **homens de 60 a 75 anos** para participar de um projeto de pesquisa envolvendo treinamento de musculação e aeróbico durante 5 meses.



- A participação é GRATUITA;
- Serão realizadas avaliações antes, durante e após o período de treinamento;
- Para participar, é importante que os interessados:
 - Não pratiquem exercícios físicos regulares há 3 meses;
 - Não sejam fumantes;
 - Não apresentem doenças cardíacas, metabólicas ou respiratórias crônicas (à exceção de hipertensão grau I controlada por medicamento).



Os interessados devem entrar em contato de segunda a sexta-feira, das 8h às 19h, pelos telefones (51) 98592-3129 Juliana, (51) 98438-3516 Larissa ou (51) 99181-8082 Erik. Professor responsável: Eduardo Cadore



Programa de treinamento físico gratuito

A escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança (ESEFID) da Ufrgs está selecionando homens com idades entre 60 e 75 anos para participarem de um programa de treinamento físico totalmente gratuito.

O programa inclui treinamento de musculação, treinamento aeróbico e diversas avaliações de saúde, realizados na ESEFID. Os interessados devem entrar em contato de segunda a sexta-feira, das 8h às 19h, pelos telefones (ou Whatsapp): 98592-3129 (Juliana), 99181-8082 (Erik) ou 98438-3516 (Larissa).

Anexo D – Modelo de relatório de avaliações dos participantes



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Grupo de Pesquisa em Treinamento de Força - Setor Neuromuscular
Juliana Teodoro, Larissa Xavier e Erik Menger



Relatório de avaliações do projeto “Adaptações fisiológicas ao treinamento concorrente com e sem a execução de séries até a falha concêntrica em homens idosos”.

Nome:

Data de Nascimento:

Início da participação:

Término da participação:

Dados de composição corporal por dobras cutâneas	1^a (mês)	2^a (mês)	3^a (mês)
Peso			
Altura			
% Massa magra total			
% Massa gorda total			

Coleta sanguínea	1^a (mês)	2^a (mês)	3^a (mês)	Valores de Referência
Colesterol Total mg/dL				
Colesterol HDL mg/dL				
Triglicerídeos mg/dL				
Glicose mg/dL				

Avaliação da capacidade cardiorrespiratória (Teste de ergoespirometria em esteira)				
Coleta/data	1^a (mês)	2^a (mês)	3^a (mês)	Valores de referência
Frequência cardíaca máxima				
Consumo de oxigênio de pico ml/kg ⁻¹ /min ⁻¹				

Avaliações físicas e funcionais	1^a (mês)	2^a (mês)	3^a (mês)
Espessura muscular			
Carga de 1 repetição máxima no <i>Leg press</i>			
Carga de 1 repetição máxima na extensão de joelhos			
Altura salto SJ			
Altura salto CMJ			
Tempo no teste <i>Timed up and go</i>			
Tempo no teste de sentar e levantar 5 vezes			
Força de preensão manual			
Pico de torque (aparelho isocinético)			

Comentários: