

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Educação Física

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano

EFEITO DE DOIS VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA NAS  
ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES DE MULHERES IDOSAS

REGIS RADAELLI

Porto Alegre-RS

2013

REGIS RADAELLI

EFEITO DE DOIS VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA NAS  
ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES DE MULHERES IDOSAS

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação em Ciências do  
Movimento Humano da Escola de  
Educação Física da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul

Orientador: Prof. Dr. Ronei Silveira Pinto

Porto Alegre-RS

2013

### CIP - Catalogação na Publicação

Radaelli, Regis

Efeito de dois volumes de treinamento de força nas adaptações neuromusculares de mulheres idosas / Regis Radaelli. -- 2013.

132 f.

Orientador: Ronei Silveira Pinto.

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, 2013.

1. Treinamento de força. I. Silveira Pinto, Ronei, orient. II. Título.

REGIS RADAELLI

EFEITO DE DOIS VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA NAS  
ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES DE MULHERES IDOSAS

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Marco Aurélio Vaz - UFRGS

Prof. Dr. Martim Bottaro - UNB

Prof. Dr. Alexandre Simões - UFRGS

## AGRADECIMENTOS

Aos professores **Alexandre Simões** e **Marco Aurélio Vaz** pelas contribuições na avaliação deste projeto.

Ao professor **Martim Bottaro** pelas contribuições neste projeto e pelos ensinamentos em tantos outros.

Aos funcionários do **LAPEX** e **PPGCMH** pela ajuda no desenvolvimento do projeto, em especial **Rosângela (Dani)**, **Luciano** e **André**.

A minha querida **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, **Escola de Educação Física** e **LAPEX** os quais proporcionaram grandes momentos da minha vida.

Aos meus colegas de laboratório **Marcelo Gava**, **Felipe Minozzo**, **Cristiano Ughini**, **Clarissa Brusco**, e ex-colegas **Bruna Gonçalves** e **Fernanda Weber** pelo auxílio, paciência e por me ajudarem a ser uma pessoa melhor.

A **Kelley Moraes**, **Anelise Gaya**, **Fabiano Lacerda** e **Amanda Peruzzolo** por toda a imensurável ajuda neste estudo e sem eles a conclusão não seria possível.

Aos meus amigos **João Fernandes**, **Lucas Lopez**, **Roberto Vidal** por toda a amizade, por me proporcionarem tantos momentos divertidos e de crescimento pessoal.

A **Eurico Wilhelm Neto**, a pessoa mais “chata legal” que conheço, pelo companheirismo e amizade e também por toda a ajuda neste e nos demais projetos.

A minha colega de laboratório e amiga **Cíntia Botton**, uma das pessoas mais batalhadoras que conheço, por toda ajuda neste projeto, pelo companheirismo nos momentos de felicidade, mas sobretudo nos momentos de dificuldade.

Ao irmão que a vida me deu, **Anderson Rech**, por toda ajuda não só na execução de projetos acadêmicos, mas na execução dos projetos de vida. E eu nunca vou me esquecer da ajuda no momento mais complicado da minha vida.

Ao professor **Ronei Silveira Pinto**, por toda a ajuda e excelência nos ensinamentos, por ter confiado em mim, e sobretudo por ter acreditado em mim.

A minha sobrinha **Bruna**, por todo amor e ajuda durante a nossa convivência, e por toda a torcida que sempre teve por mim. Amo você.

As minhas duas irmãs maravilhosas, **Beridiana** e **Darléia**, por todo o amor, a ajuda, os ensinamentos, a paciência e por me fazerem entender o real significado da palavra família. Amo vocês.

A meu pai **Lidio** e minha mãe **Lucia**, meu heróis, por todo o imensurável amor, por terem dedicado incríveis esforços para que eu pudesse ter uma educação de qualidade e por nunca me deixarem desistir. Pai e mãe, muito obrigado por tudo, amo vocês.

**"Que a força esteja com você!"**

***Star Wars* Episódio IV: Uma Nova Esperança**

## RESUMO

O processo de envelhecimento causa importantes prejuízos na função neuromuscular. O treinamento de força já demonstrou ser um eficiente método de exercício para amenizar em certo grau os efeitos do processo de envelhecimento. Porém, para isso algumas variáveis, como o volume de treinamento, precisam ser controladas. Assim, o objetivo desse estudo foi verificar o efeito de dois volumes de treinamento de força, série simples e séries múltiplas, nas adaptações neuromusculares dos membros inferiores e superiores de mulheres idosas. No primeiro estudo experimental, 27 sujeitos foram divididos em dois grupos de treinamento: grupo série simples (SS; n=14) e grupo séries múltiplas (SM; n=13). O grupo SS realizou uma série em exercício, enquanto que o grupo SM realizou três séries em cada exercício. O valor de uma-repetição máxima (1-RM) de extensão de joelho e flexão de cotovelo, a espessura muscular (EM) dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo, bem como a força isométrica máxima e a ativação eletromiográfica (EMG) máxima dos membros inferiores e superiores foram avaliadas pré e após seis semanas de treinamento. Os resultados demonstraram que ambos os grupos incrementaram significativamente o 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo e a EM dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo, sem diferença entre eles. No estudo experimental dois, 20 mulheres idosas foram divididas em dois grupos de treinamento: grupo SS (n=11) e grupo SM (n=9). O 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo, a EM dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo, força isométrica máxima e ativação EMG máxima dos membros inferiores e superiores, bem como a qualidade muscular avaliada por *echo intensity* obtida por ultrassonografia ( $QM_{EI}$ ), por tensão específica ( $QM_{TE}$ ), e por tensão específica ajustando os valores de massa muscular por uma escala alométrica ( $QM_{EA}$ ). Após 13 semanas de treinamento, ambos os grupos incrementaram significativamente o 1-RM de extensão de joelho e a flexão de cotovelo, a EM dos membros inferiores e superiores e a EMG máxima dos músculos vasto medial e bíceps braquial, bem como a  $QM_{EI}$ ,  $QM_{TE}$ ,  $QM_{EA}$ , sem diferença entre os grupos em nenhuma variável. No estudo experimental três, 20 sujeitos foram divididos em dois grupos de treinamento, grupo SS (n=11) e SM (n=9). O



1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo, a EM dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo, força isométrica máxima e ativação EMG máxima dos membros inferiores e superiores, bem como a  $QM_{EI}$  foram avaliadas após 6, 13 e 20 semanas de treinamento. Ambos os grupos incrementaram significativamente o 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo após 6, 13 e 20 semanas de treinamento, sendo que após 20 semanas o grupo SM apresentou um ganho significativamente maior. A força isométrica máxima dos membros inferiores apenas aumentou após 20 semanas de treinamento e a força isométrica máxima dos membros superiores aumentou após 13 e 20 semanas de treinamento. A EM dos membros inferiores e superiores aumentou em todos os momentos, de modo que após 20 semanas o grupo SM apresentou um ganho significativamente maior com relação a EM dos membros inferiores. Ambos os grupos apresentaram ganho significativo na EMG máxima dos membros inferiores e superiores apenas após 20 semanas de treinamento. A  $QM_{EI}$  aumentou significativamente após 13 e 20 semanas de treinamento em ambos os grupos, de modo que o grupo SM apresentou um ganho significativamente maior. O resultado desse estudo demonstraram que mulheres idosas podem obter ganhos significativos com um pequeno e um grande volume de treinamento nos membros superiores, já os membros inferiores necessitam de um grande volume para obter ganhos durante longos períodos de treinamento.

**Palavras chave:** Envelhecimento, volume de treino, hipertrofia muscular, qualidade muscular.

## ABSTRACT

The aging process results in important impairments in neuromuscular function. The strength training has been shown to be a safe and an efficient method for attenuate some effects of the aging process. However, the effectiveness of strength training is dependent of the control of acute variables such as the training volume. Therefore, the aim of present study was assess the effects of the two strength training volumes, single set and multiple sets, on neuromuscular adaptations of lower- and upper-body muscles in older women. In the first experimental study, 27 subjects were divided into two training groups: single set group (SS; n=14) and multiple sets group (SM; n=13). The SS group performed one set per exercise, while the SM group performed three sets per exercise. Knee extension and elbow flexion one-repetition maximal (1-RM), muscle thickness (MT) of the knee extensors and of the elbow flexors, as well maximal electromyography (EMG) activation of the lower- and upper-body muscles were evaluated before and after six weeks of training. The results showed that both groups significantly increased the knee extension and elbow flexion 1-RM and the knee extensors and elbow flexors MT, with no difference between groups. In the second experimental study, 20 subjects were divided into two training groups: SS group (n=11) and SM group (n=9). The knee extension and elbow flexion 1-RM, MT of the knee extensors and of the elbow flexors, maximal isometric strength and maximal EMG activation of the lower- and upper-body muscles, as well as muscle quality (MQ) of the lower-body muscles measured by echo intensity obtained by ultrasonography ( $MQ_{EI}$ ), strength per unit of muscle mass ( $MQ_{ST}$ ), and strength per unit of muscle mass adjusted with an allometric scale ( $MQ_{AS}$ ) were obtained. After 13 weeks of training, both groups significantly increased knee extension and elbow flexion 1-RM, MT of the knee extensors and elbow flexors, maximal EMG activation, as well  $QM_{EI}$ ,  $QM_{TE}$ ,  $QM_{EA}$ , with no differences between groups. In the third experimental study, 20 subjects were divided in the two training groups, SS groups (n=11) and SM group (n=9). The knee extension and elbow flexion 1-RM, knee extensors and elbow flexors MT, maximal isometric strength and maximal EMG activation of the lower- and upper-body muscles and  $MQ_{EI}$  was measured after 6, 13 and 20 weeks of training. Both groups significantly

increased knee extension and elbow flexion at after 6, 13 and 20 weeks of training, however after 20 weeks knee extension 1-RM gains were greater for SM group. The maximal isometric strength of the lower-body significantly increased only after 20 weeks and the maximal isometric strength of the upper-body increased after 13 and 20 weeks of training, with no difference between groups. Both groups showed significant increases in MT of the knee extensors and elbow flexors muscles after 6, 13 and 20 weeks of training, with greater gains for the SM group after 20 weeks in knee extensors MT. The  $MQ_{EI}$  significantly increased after 13 and 20 weeks of training in both groups, with a gain significantly higher in the SM group. The findings of this study showed that older women may obtain significant gains in upper-body muscles with a lower strength training volume during long period of the training. For lower-body muscles a lower and high volume strength training were similarly effective during the early period and until three months of training; nevertheless the high-volume resulted in gains substantially higher after long period of training,

**Key words:** Aging, training volume, muscle hypertrophy, muscle quality.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Desenho experimental do estudo relacionado ao Capítulo II.....39
- Figura 2.** Sujeito posicionado para o teste de força isométrica máxima dos membros inferiores.....44
- Figura 3.** Sujeito posicionado para o teste de força isométrica máxima dos membros superiores.....45
- Figura 4.** Curva força-tempo (acima), sinal eletromiográfico (EMG) e o recorte no sinal EMG onde o valor da raiz quadrada da média foi calculado.....48
- Figura 5.** Locais de avaliação da espessura muscular dos extensores de joelho e flexores de cotovelo; RF: reto femoral; VI: vasto intermédio; VL: vasto lateral; VM: Vasto medial; FC: flexores de cotovelo.....50
- Figura 6.** Volume do treinamento de flexão de cotovelo (esquerda) e extensão de joelho (direita) do grupo série simples e séries múltiplas durante o período de treinamento; \* significativamente maior do que o grupo SS ( $p \leq 0,001$ ); SM: séries múltiplas; SS: série única.....51
- Figura 7.** Desenho experimental do estudo relacionado ao capítulo III.....60
- Figura 8.** Determinação da qualidade muscular a partir da região de interesse no músculo reto femoral.....67
- Figura 9.** Valores absolutos (média  $\pm$  DP) de espessura muscular (mm) dos músculos do quadríceps, EM QUA<sub>soma</sub> e EM FC<sub>soma</sub> antes e após 13 semanas de treinamento; \* significativamente maior do que o valor pré ( $p \leq 0,001$ ).....70
- Figura 10.** Desenho experimental do estudo relacionado ao Capítulo IV.....78

**Figura 11.** Mudanças relativas na força dinâmica máxima (1-RM) de extensão de joelho (acima) e flexão de cotovelo (abaixo) durante as 20 semanas de treinamento. Os valores estão apresentados em média e desvio padrão; SM: séries múltiplas; SS: série simples; \* significativamente diferente do grupo SS ( $p \leq 0,01$ ).....87

**Figura 12.** Mudanças relativas na espessura muscular do quadríceps (esquerda) e dos flexores de cotovelo (direita) durante as 20 semanas de treinamento; Os valores estão apresentados em média e desvio padrão; EM  $QUA_{SOMA}$ : soma das EMs do quadríceps femoral (VL + VI + VM + RF); EM  $FC_{SOMA}$ : soma das EMs dos flexores de cotovelo (BB + BR); SM: séries múltiplas; SS: série simples; \* significativamente diferente do grupo SS ( $p \leq 0,01$ ).....90

**Figura 13.** Mudanças relativas no valor de *echo intensity* durante as 20 semanas de treinamento; Os valores estão apresentados em média e desvio padrão; SS: série simples; SM: séries múltiplas; \* significativamente diferentes do grupo SS ( $p \leq 0,05$ ).....91

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Valores absolutos de força dinâmica e força isométrica máxima pré e pós treinamento, mudança percentual e tamanho do efeito (média  $\pm$  DP).....52
- Tabela 2.** Valores absolutos de ativação máxima de membros inferiores e superiores pré e pós treinamento (média  $\pm$  DP).....53
- Tabela 3.** Valores absoluto de espessura muscular pré e pós treinamento, mudança percentual e tamanho do efeito (média  $\pm$  DP).....54
- Tabela 4.** Valores absolutos de força dinâmica e força isométrica máxima pré e pós treinamento e mudança percentual (média  $\pm$  DP).....68
- Tabela 5.** Valores absolutos de ativação máxima dos extensores de joelho e flexores de cotovelo pré e pós treinamento e mudança percentual (média  $\pm$  DP).....69
- Tabela 6.** Valores absolutos e mudança percentual da qualidade muscular ( $\Delta\%$ ) após 13 semanas de treinamento (média  $\pm$  DP).....71
- Tabela 7.** Valores absolutos de força dinâmica máxima e força isométrica máxima pré treinamento, após 6, após 13 e após 20 semanas de treinamento (média  $\pm$  DP).....86
- Tabela 8.** Valores absolutos de ativação EMG máxima do quadríceps femoral e bíceps braquial pré, pós 6, pós 13 e pós 20 semanas de treinamento.....88

**Tabela 9.** Valores absolutos de espessura muscular do quadríceps e dos flexores de cotovelo pré, pós 6, pós 13 e pós 20 semanas de treinamento (média  $\pm$  DP).....89

**Tabela 10.** Valores absolutos de *echo intensity* pré, pós 6, pós 13 e pós 20 semanas de treinamento (média  $\pm$  DP).....91

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1-RM – uma-repetição máxima

AST – área de secção transversa

BB – bíceps braquial

BR - braquial

cm – centímetros

CIVM - contração isométrica voluntária máxima

EM – espessura muscular

EMG – eletromiografia

EM FC<sub>Soma</sub> – soma das espessuras dos músculos flexores de cotovelo

EM QUA<sub>Soma</sub> - soma das espessuras dos músculos extensores de joelho

FC – flexor de cotovelo

Hz - hertz

K $\Omega$  - Quilohm

Kg – quilograma

MHz – mega-hertz

mm - milímetros

QM – qualidade muscular

QM<sub>EA</sub> - qualidade muscular ajustando os valores de massa muscular por uma escala alométrica

QM<sub>EI</sub> – qualidade a partir da *echo intensity*

QM<sub>TE</sub> – qualidade muscular via tensão específica

mapk - *mitogen-activated protein kinase*

mTOR - *Akt/mammalian target of rapamycin*

RF – reto femoral

RM – repetições máximas



S - segundo

SM – séries múltiplas

SS – série simples

TE – tamanho do efeito

TNF- $\alpha$  – Fator de necrose muscular

TF- treinamento de força

VI – vasto intermédio

VL- vasto lateral

VM – vasto medial

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| APRESENTAÇÃO.....  | 22 |
| INTRODUÇÃO .....   | 23 |
| OBJETIVO.....  | 26 |
| Objetivo geral.....  | 26 |
| Objetivos específicos .....  | 26 |
| <br>   |    |
| CAPÍTULO I .....   | 28 |
| Revisão de literatura .....  | 28 |
| Volume de treinamento e Ganhos de força.....   | 28 |
| Volume do Treinamento e Duração do Treinamento .....   | 31 |
| Volume do Treinamento e Adaptações neuromusculares dos membros superiores e inferiores.....  | 33 |
| Qualidade muscular .....   | 36 |
| <br>   |    |
| CAPÍTULO II .....  | 39 |
| EFEITO DE SEIS SEMANAS DE TREINAMENTO DE FORÇA COM SÉRIE SIMPLES E SÉRIES MÚLTIPLAS NAS ADATAÇÕES NEUROMUSCULARES DE MEMBROS SUPERIORES E INFERIORES DE MULHERES IDOSAS..... | 39 |
| Objetivo.....  | 39 |
| Desenho experimental .....   | 39 |
| Delineamento da pesquisa.....  | 39 |
| Definição operacional das variáveis .....  | 40 |
| Variáveis independentes.....   | 40 |
| Variáveis dependentes.....   | 40 |
| Métodos .....  | 40 |
| Sujeitos .....   | 40 |
| Cronograma do Treinamento .....  | 41 |
| 1-RM de Extensão de joelho .....   | 41 |
| 1-RM de Flexão de Cotovelo .....   | 42 |

|  |    |
|--|----|
| Força Isométrica Máxima dos Membros Inferiores .....   | 43 |
| Força Isométrica Máxima dos Membros Superiores .....   | 44 |
| Ativação Eletromiográfica Máxima dos Membros Inferiores .....  | 46 |
| Ativação Eletromiográfica Máxima dos Membros Superiores .....  | 47 |
| Espessura Muscular dos Membros Inferiores e Superiores .....   | 48 |
| Análise Estatística .....  | 50 |
| Resultados .....   | 51 |
| Volume de Treinamento .....  | 51 |
| 1-RM de Extensão de joelho e flexão de cotovelo .....  | 51 |
| Força Isométrica máxima .....  | 52 |
| Ativação EMG máxima .....  | 53 |
| Espessura muscular .....   | 53 |
| Discussão .....  | 54 |
| Conclusão .....  | 58 |
| <br>   |    |
| CAPÍTULO III .....   | 60 |
| EFEITO DE TREZE SEMANAS DE TREINAMENTO DE FORÇA COM SÉRIE<br>SIMPLES E SÉRIES MÚLTIPLAS NAS ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES<br>DE MEMBROS INFERIORES E SUPERIORES E NA QUALIDADE<br>MUSCULAR DE MEMBROS INFERIORES DE MULHERES IDOSAS ..... | 60 |
| Objetivo .....   | 60 |
| Desenho experimental .....   | 60 |
| Delineamento da pesquisa .....   | 60 |
| Definição operacional das variáveis .....  | 61 |
| Variáveis independentes .....  | 61 |
| Variáveis dependentes .....  | 61 |
| Métodos .....  | 61 |
| Sujeitos .....   | 61 |
| Cronograma do treinamento .....  | 62 |
| 1-RM de extensão de joelho .....   | 63 |

|   |    |
|---|----|
| 1-RM de flexão de cotovelo .....  | 63 |
| Força Isométrica Máxima dos Membros Inferiores .....  | 64 |
| Força Isométrica Máxima dos Membros Superiores .....  | 64 |
| Ativação Eletromiográfica Máxima dos Membros Inferiores e Superiores ....   | 64 |
| Espessura Muscular dos Membros Inferiores e Superiores.....   | 65 |
| Qualidade Muscular .....  | 65 |
| Análise Estatística .....   | 67 |
| Resultados .....  | 67 |
| 1-RM de Extensão de joelho e Flexão de Cotovelo .....   | 67 |
| Força Isométrica Máxima.....  | 68 |
| Ativação EMG Máxima.....  | 69 |
| Espessura Muscular.....   | 70 |
| Qualidade muscular .....  | 71 |
| Discussão.....  | 71 |
| Conclusão .....   | 77 |
| <br>  |    |
| CAPÍTULO IV .....   | 78 |
| EFEITO DE SÉRIE SIMPLES E SÉRIES MÚLTIPLAS NAS ADAPTAÇÕES<br>NEUROMUSCULARES DE MEMBROS INFERIORES E SUPERIORES E NA<br>QUALIDADE MUSCULAR DE MEMBROS INFERIORES DE MULHERES<br>IDOSAS APÓS 6, 13 E 20 SEMANAS DE TREINAMENTO. .... | 78 |
| Objetivo.....   | 78 |
| Desenho Experimental.....   | 78 |
| Delineamento da pesquisa.....   | 78 |
| Definição operacional das variáveis .....   | 79 |
| Variáveis independentes.....  | 79 |
| Variáveis dependentes.....  | 79 |
| Métodos .....   | 79 |
| Sujeitos .....  | 79 |
| Cronograma do Treinamento .....   | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| 1-RM de Extensão de Joelho .....  | 81  |
| 1-RM de Flexão de Cotovelo .....  | 81  |
| Força Isométrica Máxima dos Membros Inferiores .....                      | 82  |
| Força Isométrica Máxima dos Membros Superiores .....                      | 82  |
| Ativação Eletromiográfica Máxima dos Membros Inferiores e Superiores .... | 82  |
| Espessura Muscular dos Membros Inferiores e Superiores .....              | 83  |
| Qualidade Muscular .....  | 84  |
| Análise Estatística .....   | 84  |
| Resultados .....  | 85  |
| 1-RM de Extensão de joelho e Flexão de Cotovelo .....                     | 85  |
| Força isométrica máxima .....   | 87  |
| Ativação EMG Máxima.....  | 88  |
| Espessura Muscular dos Membros Inferiores e Superiores .....              | 88  |
| Qualidade Muscular .....  | 90  |
| Discussão.....  | 91  |
| <br>  |     |
| Considerações Finais.....   | 98  |
| Referências Bibliográficas .....  | 99  |
| ANEXO 1 .....   | 116 |
| ANEXO 2 .....   | 119 |
| ANEXO 3 .....   | 122 |

## APRESENTAÇÃO

A presente dissertação foi elaborada com o intuito de responder a seguinte questão: quais são as diferenças nas adaptações neuromusculares de mulheres idosas após um curto, médio e longo período de treinamento de força com uma série e três séries em cada exercício? A busca pela resposta me conduziu ao desenvolvimento de três estudos experimentais os quais foram desenvolvidos durante o período da realização do mestrado acadêmico no Programa em Ciências do Movimento Humano, e que serão apresentados a seguir sob a forma de três capítulos (II, III e IV). No capítulo I, anterior aos dados originais destes estudos, será apresentada uma revisão de literatura sobre o efeito do volume do treinamento de força sobre os ganhos de força e hipertrofia muscular de membros inferiores e superiores, as diferenças nas adaptações neuromusculares induzidas por série simples e séries múltiplas nos membros inferiores e superiores, a influência da duração do período de treinamento, bem como sobre a qualidade muscular de membros inferiores.

Capítulo II: apresenta a primeira parte do estudo em que foi comparado o efeito da realização de série simples e séries múltiplas sobre as adaptações neuromusculares de membros inferiores e superiores de mulheres idosas após seis semanas de treinamento de força.

Capítulo III: compõe a segunda parte do estudo, em que foi comparado o efeito da realização de série simples e séries múltiplas nas adaptações neuromusculares de membros inferiores e superiores e na qualidade muscular de membros inferiores de mulheres idosas após treze semanas de treinamento de força. Os resultados desta parte do estudo foram publicados nos periódicos *Experimental Gerontology* (ANEXO 2) e *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* (ANEXO 3).

Capítulo IV: relata as adaptações neuromusculares de membros inferiores e superiores e da qualidade muscular de membros inferiores de mulheres idosas promovidas pela realização de programas de treino que envolvam série simples e séries múltiplas após seis, treze e vinte semanas de treinamento de força.

## INTRODUÇÃO

Durante o processo de envelhecimento ocorre uma redução significativa na capacidade de produção de força dos membros inferiores e superiores, decorrente de alterações no sistema neuromuscular (DOHERTY, 2003). Dentre algumas dessas alterações estão a sarcopenia (diminuição do tamanho e do número das fibras musculares), modificações neurais (remodelamento das unidades motoras, redução da ativação agonista e aumento da coativação), bem como a diminuição da qualidade muscular (LYNCH *et al.*, 1999; ANDERSEN, 2003; REEVES *et al.*, 2006; AAGAARD *et al.*, 2010; ARTS *et al.*, 2010). Nos sujeitos idosos, essa redução na capacidade de produção de força dos membros inferiores e superiores repercute de maneira negativa na realização de atividades da vida diária, além de diminuir no nível de independência (SKELTON *et al.*, 2002). Além disso, os idosos podem estar mais predispostos a quedas, pois a redução na capacidade de produção de força dos membros inferiores está relacionada a um maior risco de quedas (PAVOL *et al.*, 2002). Assim, um método de exercício que atenuar alguns efeitos do processo de envelhecimento de maneira eficiente é essencial para sujeitos idosos.

O treinamento de força (TF) é um eficiente e seguro método de exercício para amenizar alguns dos efeitos do processo de envelhecimento (FRONTERA *et al.*, 1988; HÄKKINEN *et al.*, 1998; GALVÃO e TAAFFE, 2004). No entanto, com o intuito potencializar os efeitos do TF, algumas variáveis agudas como a intensidade, o tempo de intervalo entre as sessões de treinamento, a seleção e ordem dos exercícios, bem como o volume do treinamento devem ser controladas (KRAEMER e RATAMESS, 2004).

O volume do TF é estimado a partir do número de séries e de repetições realizados em cada exercício (séries x repetições) (KRAMER e RATAMESS, 2004). No que diz respeito ao volume ideal para potencializar as adaptações neuromusculares, ainda existem controvérsias sobre qual volume seria o mais adequado, série simples (uma série) ou três séries (séries múltiplas) por exercício. Resultados de alguns estudos com indivíduos jovens apontam superioridade nos ganhos com três séries por exercício comparado com uma série por exercício (KEMMLER *et al.*, 2004; RHEA *et al.*, 2004; WOLFE *et al.*,

2004; HUMBURG *et al.*, 2007; KRIEGER J. W., 2010). Contudo, outros trabalhos não encontram diferença entre ganhos promovidos por uma série e três séries por exercício (STARKEY *et al.*, 1996; HASS *et al.*, 2000; OTTO 2006; BOTTARO *et al.*, 2010). Embora existam inúmeros trabalhos com indivíduos jovens, ainda existem poucos estudos analisando em indivíduos idosos o efeito do volume de treinamento nas adaptações neuromusculares.

Apenas dois estudos exploraram o efeito do volume do TF nas adaptações neuromusculares de indivíduos idosos. Em um desses estudos, (CANNON e MARINO 2010), os autores observaram que após 10 semanas de treinamento o grupo de mulheres idosas que treinou com uma série, bem como as que treinaram com três séries incrementaram significativamente a capacidade de produção de força, o volume muscular e o nível de ativação muscular dos extensores de joelho, sem diferença entre os grupos. Em outro estudo, Galvão e Taaffe (2005), observaram que após 20 semanas de TF, três séries incrementaram significativamente mais a força dos idosos do que uma série no exercício extensão de joelho, contudo não observaram diferença entre os grupos com relação aos ganhos de força no exercício flexão de cotovelo, flexão de joelho e *leg press*. No entanto, nesse estudo os autores não procuraram observar as diferenças na hipertrofia muscular, bem como no nível de ativação muscular provocadas pelos dois diferentes volumes.

Além do limitado número de trabalhos que analisaram o efeito do volume do TF nos ganhos de força, hipertrofia e nível de ativação muscular, também pouco é conhecido sobre o efeito do volume em diferentes períodos de treinamento em idosos. Em uma meta análise, Wolfe *et al.* (2004), utilizando trabalhos que realizaram comparações de volume em sujeitos jovens, sugeriram que uma e três séries em indivíduos idosos proporcionariam ganhos similares na força no período inicial do treinamento. Além disso, o ACSM (2009) sugere que nos períodos iniciais de um programa de TF, uma série e três séries, proporcionariam ganhos similares, sendo necessário incremento no volume ao longo do programa de treinamento conforme o sujeito aumenta o seu nível de condicionamento, de modo que continue ocorrendo significativas adaptações neuromusculares. Contudo, ainda faltam mais estudos que suportem essa hipótese.



Sendo assim, a partir das considerações descritas anteriormente, o objetivo do presente estudo foi observar o efeito da realização de um programa de treino que envolva série simples e séries múltiplas por exercício, nas adaptações neuromusculares de membros inferiores e superiores de mulheres idosas, em diferentes períodos de treinamento.

## OBJETIVO

### Objetivo geral

Comparar o efeito do treinamento de força realizado com uma série e três séries nas adaptações neuromusculares dos membros inferiores e superiores de mulheres idosas ( $\geq 60$  anos) após um curto (6 semanas), médio (13 semanas) e longo período (20 semanas) de treinamento.

### Objetivos específicos

- Comparar o efeito do TF realizado com uma série e três séries no valor de uma-repetição máxima (1-RM) de extensão de joelho e de flexão de cotovelo, na força isométrica máxima de membros inferiores e superiores, na ativação eletromiográfica máxima de membros inferiores e superiores e na espessura muscular de extensores de joelho e flexores de cotovelo após seis semanas de TF.
- Comparar o efeito do TF realizado com uma série e três séries no valor de 1-RM de extensão de joelho e de flexão de cotovelo, na força isométrica máxima de membros inferiores e superiores, na ativação eletromiográfica máxima de membros inferiores e superiores, na espessura muscular de extensores de joelho e flexores de cotovelo e na qualidade muscular de membros inferiores após 13 semanas de treinamento.
- Comparar o efeito do TF realizado com uma série e três séries no valor de uma-repetição máxima (1-RM) de extensão de joelho e de flexão de cotovelo, na força isométrica máxima de membros inferiores e superiores, na ativação eletromiográfica máxima de membros inferiores e superiores, na espessura

muscular de extensores de joelho e flexores de cotovelo e na qualidade muscular de membros inferiores após seis, treze e vinte semanas de treinamento.

## CAPÍTULO I

### Revisão de literatura

#### Volume de treinamento e Ganhos de força

Independentemente do volume utilizado, uma série ou três séries, ambos têm demonstrado eficiência em incrementar de maneira significativa a capacidade de produção de força dos membros inferiores e superiores dos indivíduos (HASS *et al.*, 2000; SANBORN *et al.*, 2000; SCHLUMBERGER *et al.*, 2001; RHEA *et al.*, 2002; WOLFE *et al.*, 2004; MARSHALL *et al.*, 2011). No entanto, os ganhos percentuais variam entre os estudos, o qual pode ser explicado pelas diferenças metodológicas entre eles, como a seleção e a ordem dos exercícios adotada, períodos de recuperação entre as séries, frequência semanal, e diferenças na intensidade utilizada no treinamento (GALVÃO e TAAFFE, 2004).

Especificamente tratando do volume do TF e do incremento na capacidade de produção de força, alguns estudos apontam superioridade para os treinamentos utilizando três séries (PAULSEN *et al.*, 2003; GALVÃO e TAAFFE, 2005; HUMBURG *et al.*, 2007), já outros não observam diferença entre uma e três séries (HASS *et al.*, 2000; MARX *et al.*, 2001; CANNON e MARINO, 2010; BOTTARO *et al.*, 2010). O primeiro trabalho na literatura a comparar o efeito do volume do TF sobre os ganhos de força foi realizado por Berger em 1962 (BERGER, 1962). Nesse estudo, o autor observou em indivíduos jovens que após 12 semanas de treinamento, três séries provocaram incrementos significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) no valor de uma repetição máxima (1-RM) do exercício supino do que uma série (grupo uma série 22,3% e grupo três séries 25,5%). Em estudos mais recentes também tem sido explorado o efeito do volume sobre os ganhos de força sugerindo que três séries seriam mais eficientes em incrementar a força. Schlumberger *et al.* (2001), compararam o efeito de seis semanas de treinamento, utilizando uma e três séries, nos ganhos de força dos membros superiores e inferiores de mulheres jovens com experiência prévia de seis meses em TF. Após as seis

semanas de treinamento foi observado incremento significativo ( $p < 0,05$ ) na produção de força de membros inferiores de 6% e 15% no grupo uma série e três séries, respectivamente, com diferença significativa entre os grupos ( $p < 0,05$ ). Já com relação aos membros superiores, apenas o grupo de três séries incrementou significativamente ( $p < 0,05$ ) o valor de 1-RM no exercício supino (grupo três séries 10% e grupo uma série 4,1%).

Em outro trabalho, Rhea et al. (2002), após 12 semanas de treinamento, observaram que homens jovens que utilizaram três séries incrementaram significativamente mais do que aqueles que treinaram com uma série o valor de 1-RM do exercício supino (grupo três séries 56% e grupo uma série 26%) e do exercício *leg press* (grupo três séries 30% e grupo uma série 20%).

Em outro estudo, Humburg et al. (2007), após nove semanas de treinamento, notaram que homens jovens que treinaram com três séries incrementaram significativamente mais o valor de 1-RM de flexão de cotovelo (uma série 10,3% e três séries 16,3%) e do exercício *leg press* (uma série 15,9% e três séries 10,9%).

Do mesmo modo, em uma meta análise, Krieger (2010) sugeriu que três séries têm a capacidade de incrementar em até 46% mais a capacidade de produção de força do que uma série. Em outras duas meta análises (RHEA, ALVAR *et al.*, 2002; RHEA *et al.*, 2003), os autores também atribuem superioridade nos ganhos de força a treinamentos realizados utilizando três séries.

O maior aumento na capacidade de produção de força com utilização de três séries baseia-se na ideia de que o tempo de recuperação entre as séries não é suficiente para que ocorra a recuperação das unidades motoras fadigadas, assim novas unidades motoras são recrutadas para a realização da série seguinte (RHEA *et al.*, 2002). Assim, o treinamento com três séries resultaria em um grande recrutamento de unidades motoras e de fibras musculares o que de maneira crônica poderia resultar em um maior aumento na capacidade de produção de força.

Contrariando esses estudos que apontam superioridade a séries múltiplas nos ganhos de força, outros trabalhos não encontraram diferença entre uma e três séries por exercício. Marx et al. (2001) compararam em mulheres jovens destreinadas em força o efeito de uma série e três séries por

exercício no aumento do valor de 1-RM de quatro exercícios (extensão de joelho, flexão de cotovelo, desenvolvimento de ombros e supino) e na força isométrica máxima de extensão de joelho. Após 13 semanas de treinamento, os autores não observaram diferença entre os grupos com relação ao incremento no valor de 1-RM de nenhum dos quatro exercícios ( $p>0,05$ ), bem como na força isométrica máxima de extensão de joelho.

Nesse sentido, Bottaro et al. (2010), após 12 semanas de treinamento, observaram que homens jovens do grupo uma série e do grupo três séries incrementaram significativamente ( $p<0,05$ ) o valor de pico de torque de flexão de cotovelo (grupo uma série 11,2% e grupo três séries 12,5%) e extensão de joelho (grupo uma série 5,1% e grupo três séries 10,9%), sem diferença entre os grupos ( $p>0,05$ ).

Apesar do grande número de estudos explorando o efeito do volume de treinamento no aumento da capacidade de produção de força de indivíduos jovens, poucos trabalhos investigaram o tema com uma população de indivíduos idosos. Um dos poucos trabalhos a realizar essa análise com essa população foi feito por Galvão e Taaffe (2005), que após 20 semanas de treinamento observaram ganhos significativamente maiores ( $p<0,05$ ) no valor de 1-RM de extensão de joelho no grupo que treinou utilizando três séries (grupo três séries  $38,9 \pm 24,7$  e grupo uma série  $20,8 \pm 19,9\%$ ). Contudo, os autores não encontraram diferença entre os grupos nos incrementos do valor de 1-RM do supino sentado e *Leg press* ( $p>0,05$ ).

Em outro estudo com indivíduos idosos, Cannon e Marino (2010), após 10 semanas de treinamento, não observaram diferença nos ganhos de força entre o grupo que treinou utilizando uma série e três séries no valor de 1-RM de extensão de joelho (grupo uma série 13,5% e grupo três séries 18,5%), bem como no valor de força máxima isométrica de extensão de joelho (grupo uma série 6,8% e grupo três séries 7,5%).

O motivo dos estudos de Galvão e Taaffe (2005) e de Cannon e Marino (2010) não terem observado diferença entre uma e três séries por exercício nos ganhos de força, pode ser devido ao fato de que indivíduos idosos apresentam limiares mais baixos para incrementos relacionados à força (RHEA et al., 2003). Assim, volumes menores como uma série, sobretudo nos períodos iniciais de treinamento, podem promover ganhos similares aos promovidos por

três séries. Em uma meta análise, Wolfe et al. (2004), sugeriram que no período inicial de treinamento uma e três séries proporcionariam similares ganhos na capacidade de produção de força de indivíduos idosos. Nesta perspectiva, se uma série é tão efetiva no que se refere aos ganhos de força, sua utilização pode ser mais favorável, no sentido de que o tempo para conclusão de uma sessão de treinamento é menor, podendo assim aumentar a aderência ao programa, além de promover menor nível de dor muscular tardia nos estágios iniciais do treinamento (GALVÃO e TAAFFE, 2005). Contudo, ainda faltam estudos que suportem essa ideia.

A partir dos argumentos demonstrados acima, pode-se concluir que, mesmo a literatura apresentando uma grande quantidade de trabalhos comparando os ganhos de força promovidos por uma série e três séries por exercício em indivíduos jovens, ainda faltam estudos investigando o efeito volume do TF em indivíduos idosos com relação ao aumento da capacidade de produção de força de membros inferiores e superiores. Além disso, também não está estabelecido se as diferenças entre uma e três séries, quando encontradas, são em decorrência de adaptações neurais ou morfológicas (KRIEGER J., 2010).

### **Volume do Treinamento e Duração do Treinamento**

O princípio do treinamento de força envolve a ideia da necessidade da progressão no volume e na intensidade ao longo do treinamento, de modo que as adaptações neuromusculares continuem ocorrendo (KRAEMER e RATAMESS, 2004). A partir do início de um programa de treinamento de força iniciam as adaptações no sujeito, sendo nas primeiras semanas os principais ganhos de ordem neural, e após um período de quatro a oito semanas, iniciam de maneira mais significativa as adaptações morfológicas (SALE, 1988; KRAEMER *et al.*, 1995). No entanto, de modo que ambas as adaptações neurais e morfológicas continuem a ocorrer é necessário uma progressão do volume e da intensidade do treinamento conforme aumenta o nível de condicionamento do sujeito (HÄKKINEN *et al.*, 1985; PLOUTZ *et al.*, 1994; KRAEMER *et al.*, 2000; TOIGO e BOUTELLIER, 2006).

Seguindo a ideia da progressão do TF, a duração do programa de treinamento utilizando uma série e três séries parece influenciar os resultados. No estudo de Berger (1962), o autor pode observar que o treinamento utilizando três séries provocou maiores ganhos do que uma série, na capacidade de produção de força, apenas a partir de 4-6 semanas de treinamento, enquanto que antes desse período ambos os volumes incrementaram a força de maneira similar. Kraemer et al. (2000) também sugeriram que nos períodos iniciais do TF uma e três séries teriam a capacidade de incrementar de maneira similar a produção de força, contudo sugerem que três séries podem promover ganhos significativamente maiores em periodizações longas.

Em uma meta-análise envolvendo 39 estudos, Wolfe et al. (2004) sugeriram que programas longos de treinamento com duração entre 17 e 40 semanas, constituídos de três séries, proporcionariam maiores ganhos na capacidade de produção de força do que os mesmos com uma série. Além disso, os maiores ganhos proporcionados por três séries seriam atribuídos prioritariamente a adaptações neurais e morfológicas decorrentes do maior volume ao longo do programa de treinamento. Contudo, nesse mesmo estudo, os autores puderam concluir que, em períodos curtos de treinamento com duração entre seis e 16 semanas, não haveria diferença nos ganhos de força utilizando uma e três séries, suportando a hipótese de que uma e três séries no início do programa de treinamento teriam o mesmo efeito sobre as adaptações neuromusculares.

Nessa mesma lógica, o posicionamento do ACSM (2009) sugere que nos períodos iniciais do treinamento não há a necessidade de utilizar grandes volumes (três séries), mas com o decorrer do programa e com aumento do condicionamento do sujeito haveria a necessidade de incremento na intensidade e no volume do TF, seguindo o princípio da progressão.

Apesar da recomendação de organizações voltadas a saúde e de estudos sugerindo que em períodos curtos de TF uma e três séries, proporcionariam adaptações similares, e que períodos longos de treinamento exigiriam maiores volumes para potencializar as adaptações, ainda faltam estudos que suportem essa ideia, sobretudo com indivíduos idosos.



## **Volume do Treinamento e Adaptações neuromusculares dos membros superiores e inferiores**

Grupos musculares dos membros superiores e inferiores parecem apresentar diferentes respostas neuromusculares a treinamentos realizados utilizando uma série e três séries.

Nessa perspectiva, Paulsen et al. (2003) observaram que os homens que treinaram com três séries comparado com os que treinaram com uma série, durante o período de seis semanas, três vezes em cada semana, obtiveram ganhos significativamente maiores ( $p < 0,01$ ) no valor de 1-RM de extensão de joelho (grupo três séries  $8,7 \pm 3,0\%$  e  $3,6 \pm 3,5\%$  grupo uma série), contudo ambos os grupos, uma série e três séries, obtiveram ganhos significativos e similares ( $p < 0,01$ ) no valor de 1-RM do exercício supino (grupo uma série  $11,4 \pm 1,8\%$  e grupo três séries  $13,7 \pm 2,1\%$ ).

Em outro estudo, Ronnestad et al. (2007) observaram que após 11 semanas de treinamento, com três sessões em cada semana, sujeitos que treinaram com três séries obtiveram ganhos significativamente maiores ( $p < 0,001$ ) do que sujeitos que treinaram com uma série na força de membros inferiores (grupo três séries 41% e grupo uma série 21%); no entanto, não foi observada diferença entre os grupos com relação ao incremento da força em membros superiores.

As diferenças entre os músculos dos membros inferiores e superiores não estão apenas restritas aos ganhos de força. As respostas hipertróficas de músculos dos membros superiores e inferiores a uma série e as três séries também são diferentes. Em um estudo recente, Hassen et al. (2012) treinaram um grupo de homens jovens com uma série e um grupo de homens jovens com três séries, durante 11 semanas, com três sessões em cada semana. Após o período de treinamento, os autores observaram que ambos os grupos apresentaram incrementos significativos na área de secção transversa (AST) do quadríceps ( $p < 0,05$ ) (avaliada por ressonância magnética), sendo que o grupo que treinou com três séries apresentou incrementos significativamente maiores do que o grupo de uma série (grupo uma série  $12 \pm 2\%$  e grupo três séries  $8 \pm 2\%$ ;  $p < 0,05$ ). Além disso, o grupo três séries com relação ao grupo uma série apresentou um maior aumento no número de células satélites ativas,

um importante mecanismo associado a hipertrofia muscular, após duas semanas de treinamento ( $37 \pm 7\%$  vs  $14 \pm 7\%$ ;  $p < 0,05$ ) e após 11 semanas de treinamento ( $44 \pm 7\%$  vs  $19 \pm 7\%$ ;  $p < 0,05$ ). No entanto, com relação à AST e ao número de células satélites ativas no músculo trapézio, os autores não observaram diferença ( $p > 0,05$ ) entre os grupos no incremento da AST observado no final do estudo (grupo três séries  $13,9 \pm 2,5\%$  e grupo uma série  $9,7 \pm 1,4\%$ ), bem como no número de células satélites após duas e 11 semanas de treinamento.

Nesse mesmo sentido, Ronnestad et al. (2007) observaram que um grupo de homens jovens que treinou com uma série e o grupo que treinou com três séries apresentaram ganhos significativos ( $p < 0,05$ ) na AST do quadríceps femoral (grupo uma série 11% e grupo três séries 7%), sendo que o grupo três séries apresentou ganhos significativamente maiores ( $p = 0,01$ ). Com relação a AST do trapézio, ambos os grupos apresentaram ganhos significativos (grupo três séries  $13,9 \pm 2,5\%$  e grupo uma série  $9,7 \pm 1,4\%$ ;  $p < 0,05$ ), sem diferença entre os grupos.

Os mecanismos responsáveis por essa diferença entre os músculos dos membros superiores e inferiores com relação aos ganhos de força e hipertrofia ainda não estão bem estabelecidos. Um desses possíveis mecanismos parece ser o fato dos membros inferiores serem utilizados com um volume maior durante as atividades da vida diária do que os membros superiores, assim apresentariam uma menor janela adaptativa para ganhos de força e hipertrofia muscular (Paulsen et al., 2003 e Ronnestad et al., 2007). Outra explicação sugerida é que membros superiores apresentam uma maior quantidade de receptores androgênicos do que membros inferiores e assim as respostas neuromusculares poderiam ser diferentes, sobretudo com relação à hipertrofia muscular (Paulsen et al., 2003).

A partir das considerações levantadas acima, e das diferenças que uma série e três séries induzem sobre os músculos dos membros inferiores e superiores, é necessário observar em indivíduos idosos como os músculos dos membros inferiores e superiores respondem de modo que o planejamento do treinamento de força possa otimizar os ganhos de força e de massa muscular.

## **Volume do Treinamento e Hipertrofia Muscular**

Um dos mais conhecidos e prejudiciais efeitos do processo de envelhecimento é a sarcopenia, responsável pela redução do tamanho e número das fibras musculares (ANDERSEN, 2003; DOHERTY, 2003). Embora indivíduos idosos percam massa muscular com o processo de envelhecimento, eles ainda mantêm a capacidade de hipertrofiar seus músculos (AAGAARD *et al.*, 2010). Nesse sentido, o TF é um eficiente método de exercício para amenizar os efeitos da sarcopenia (FRONTERA *et al.*, 1988; HÄKKINEN *et al.*, 1998). No entanto, a organização de um eficiente programa de treinamento de força pressupõe a manipulação e controle de algumas variáveis agudas, entre as quais está incluído o volume do treinamento (HASS *et al.*, 2001; KRAEMER e RATAMESS, 2004; MARSHELL *et al.*, 2011).

No que se refere à hipertrofia muscular e volume do TF, existe um pequeno número de estudos que avaliaram a relação entre essas duas variáveis. Bottaro *et al.* (2011) observaram que homens jovens que treinaram durante 12 semanas, duas vezes em cada semana, com uma série e três séries, apresentaram significativo e similar incremento ( $p < 0,05$ ) na espessura muscular de flexores de cotovelo avaliada por ultrassonografia no final do programa de treinamento (grupo uma série 7,2% e grupo três séries 5,9%).

Em outro estudo que também avaliou o efeito do volume sobre a hipertrofia muscular, Starkey *et al.* (1996) dividiram homens jovens em dois grupos de treinamento, série simples (uma série) e séries múltiplas (três séries), sendo que os sujeitos treinaram durante 14 semanas, três vezes em cada semana. Após o final do treinamento, os autores observaram que em ambos os grupos a espessura muscular (EM; avaliada por ultrassonografia) do vasto lateral, e a EM do bíceps femoral em 40% e 60% do comprimento da perna (0% = trocanter do fêmur) aumentaram significativamente ( $p < 0,05$ ), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ).

Em mais um estudo, Sooneste *et al.* (2013) treinaram homens jovens por 12 semanas, com duas sessões semanais de treinamento. Nesse estudo cada sujeito realizou uma série de flexão de cotovelo com um braço e três séries de

flexão de cotovelo com o braço contrário, o que segundo os autores diminuiria a variação genética sobre os resultados. Os resultados demonstraram que ambos os braços aumentaram significativa ( $p < 0,05$ ) a AST (braço uma série  $8,0 \pm 3,7\%$  e braço três séries  $13,3 \pm 3,6\%$ ), sendo que o braço que realizou três séries obteve um aumento na AST significativamente maior ( $p < 0,05$ ).

Contrariando esses estudos experimentais que não observaram diferença entre uma série e três séries sobre a hipertrofia muscular, Krieger (2010), em uma meta análise contendo 45 estudos, sugeriu que o efeito do tamanho de três séries, o qual representa o real efeito de uma intervenção, é 40% maior sobre a hipertrofia muscular do que uma série.

Em outra meta-análise, essa realizada por Fisher (2012), a qual contou a análise de 25 estudos, segundo o autor não é possível suportar a ideia de que séries múltiplas comparado com séries únicas induzem uma hipertrofia muscular significativamente maior.

No que se refere ao efeito do volume do TF e a hipertrofia muscular de sujeitos idosos existem um pequeno número de trabalhos. Em um desses estudos, Cannon e Marino (2010) analisaram o efeito do volume do TF sobre o volume do quadríceps femoral de mulheres idosas. Nesse trabalho os sujeitos treinaram durante o período de 10 semanas, com três sessões em cada semana, de que modo que um grupo realizou uma série e o outro grupo realizou três séries. Os autores observaram que uma e três séries incrementaram significativamente ( $p < 0,05$ ) o volume muscular do quadríceps (grupo uma série 7,8% e grupo três séries 9,6%), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ).

### **Qualidade muscular**

O processo de envelhecimento além de induzir alterações na quantidade de tecido contrátil, também induz modificações na composição corporal (OVEREND *et al.*, 1992). Indivíduos idosos apresentam elevadas concentrações intramusculares de tecidos não contráteis (VISSER *et al.*, 2002; ARTS *et al.*, 2010). Essa infiltração de tecidos não contráteis, em especial de lipídios intramusculares, pode não resultar em alteração na quantidade

muscular, mas causa reduções da QM. A observação da atenuação nas imagens obtidas por tomografia é uma importante ferramenta para identificar o aumento na quantidade de lipídio e alterações na QM, de modo que a atenuação está associada negativamente com aumento do conteúdo de lipídios dentro da fibra muscular ( $r = - 0,43$ ;  $p < 0,01$ ) (GOODPASTER *et al.*, 2000).

Observando os efeitos do processo de envelhecimento sobre a composição corporal e QM, Goodpaster *et al.* (2001) analisaram a atenuação nas imagens obtidas por tomografia computadorizada do quadríceps femoral de 2627 homens e mulheres com idade entre 71 e 80 anos. Os autores observaram que a atenuação nas imagens de homens e mulheres com 79-80 anos foi maior do que em homens e mulheres com 71 anos. Além disso, os resultados demonstraram que as mulheres idosas apresentaram maiores atenuações nas imagens comparadas com os homens idosos.

Em outro trabalho analisando a deposição de gordura intramuscular e o processo de envelhecimento, Overend *et al.*, (1992) analisaram a atenuação das imagens do quadríceps femoral obtidas por tomografia computadorizada de mulheres jovens ( $n=11$ ) e idosas ( $n=13$ ). A partir da atenuação das imagens obtidas, os autores observaram que as mulheres idosas comparadas com mulheres jovens, apresentaram grande quantidade de tecido não contrátil intramuscular (59,4%), além de grande quantidade de gordura subcutânea (37,6%).

Outro método também utilizado para a verificação do conteúdo lipídico intramuscular é a partir da *echo intensity* das imagens obtidas por ultrassonografia. Esse método utiliza uma escala de valores entre 0 (preto) e 255 (branco) para quantificar a quantidade de tecido adiposo intramuscular, onde elevados valores de *echo intensity* estão relacionados com a quantidade de gordura (REIMERS *et al.*, 1993; PILLEN *et al.*, 2009).

Arts *et al.* (2010) analisaram a *echo intensity* por imagens de ultrassonografia do músculo reto femoral de homens e mulheres com idades entre 15 e 80 anos. Os resultados demonstraram maiores valores de *echo intensity* em homens e mulheres idosos do que em homens e mulheres jovens, sugerindo aumento na *echo intensity* decorrente do processo de envelhecimento. Além do mais, as mulheres pareceram apresentar uma maior taxa de aumento na *echo intensity* do que os homens em decorrência do

processo de envelhecimento. Contudo, isso é apenas especulação, pois os autores não realizaram essa comparação.

Em um estudo recente, Fukumoto et al. (2012) analisaram a *echo intensity* do músculo reto femoral de 92 pessoas com idade entre 51 e 87 anos. Os autores observaram uma correlação significativa e positiva entre a idade e a *echo intensity* ( $r = 0,34$ ;  $p < 0,01$ ), outra evidência de que o envelhecimento induz aumento na quantidade de conteúdo lipídico.

As modificações na QM que ocorrem com envelhecimento afetam diretamente a produção de força muscular e o desempenho muscular de idosos. A infiltração lipídica é mais evidente no quadríceps femoral de idosos mais velhos do que idosos mais jovens, e está associada com redução do pico de torque dos extensores do joelho a  $60^\circ \cdot s^{-1}$  de forma independente à área de secção transversa muscular (GOODPASTER et al., 2001). Também foi encontrada correlação negativa com o aumento da deposição de gordura muscular e desempenho em atividades funcionais como levantar da cadeira (VISSER, KRITCHEVSKY et al., 2002). Além disso, a musculatura esquelética apresenta importante papel na regulação do metabolismo da glicose e alterações na QM podem prejudicar o controle glicêmico de idosos, causando maior exposição dos mesmos a fatores de risco metabólicos (GOODPASTER et al., 2003). Deste modo, um método de exercício que diminua a quantidade de matéria lipídica infiltrado nos músculos e aumente a QM tem grande importância para indivíduos idosos.

O TF parece aumentar a QM em indivíduos idosos (SIPILÄ e SUOMINEN, 1996; HUNTER et al., 2002), contudo existem poucos trabalhos e mais evidências são necessárias. Além disso, para meu conhecimento não há trabalhos analisando o efeito de diferentes volumes de TF sobre a QM.

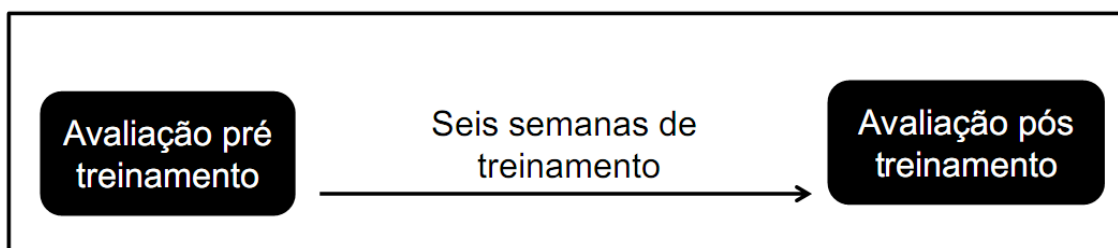
## CAPÍTULO II

### EFEITO DE SEIS SEMANAS DE TREINAMENTO DE FORÇA COM SÉRIE SIMPLES E SÉRIES MÚLTIPLAS NAS ADATAÇÕES NEUROMUSCULARES DE MEMBROS SUPERIORES E INFERIORES DE MULHERES IDOSAS

#### Objetivo

O objetivo deste capítulo foi comparar o efeito de seis semanas de TF com série simples e séries múltiplas no valor de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo, na força isométrica máxima e na ativação eletromiográfica máxima de membros inferiores e superiores, bem como na EM dos extensores de joelho e flexores de cotovelo de mulheres idosas.

#### Desenho experimental



**Figura 1.** Desenho experimental do estudo relacionado ao Capítulo II.

#### Delineamento da pesquisa

O presente projeto apresenta desenho semi-experimental, com amostra selecionada voluntariamente e distribuição dos grupos de maneira intencional a partir do valor de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo.

## **Definição operacional das variáveis**

### **Variáveis independentes**

Dois programas de treinamento de força:

- Programa de treinamento com série simples.
- Programa de treinamento com séries múltiplas.

### **Variáveis dependentes**

- 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo.
- Força isométrica máxima de membros inferiores e superiores.
- Ativação eletromiográfica máxima dos músculos dos membros superiores e inferiores.
- EM dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo.

## **Métodos**

### **Sujeitos**

A amostra desse estudo foi composta por 27 mulheres idosas com idade entre 60 e 74 anos que se voluntariaram para esse estudo. As participantes foram divididas em dois grupos de treinamento: Grupo série simples (SS; n=14; 63,7 ± 2,1 anos; 67,9 ± 9,2 kg; 163,7 ± 5,2 cm) e grupo séries múltiplas (SM; n=13; 64,1 ± 1,8 anos; 65,4 ± 8,3 kg; 165,4 ± 4,2 cm). Todos os sujeitos não estavam engajados em nenhum programa de treinamento de força sistemático por pelo menos três meses anterior ao início desse estudo. Todas as mulheres eram pós menopáusicas, não fumantes e não apresentavam doenças cardiovasculares e metabólicas. Foram excluídas do estudo as mulheres que apresentaram alguma limitação musculoesquelética que as impedisse de realizar os exercícios. Todos os sujeitos foram cuidadosamente informados



sobre o objetivo, benefícios e possíveis riscos do estudo. Em seguida assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO 1) consentindo em participar do estudo. Todos os sujeitos completaram 95% das sessões de treinamento e não tiveram três faltas consecutivas ao longo do estudo. Todos os procedimentos do presente estudos foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (n°19322).

### **Cronograma do Treinamento**

O programa de treinamento teve uma duração de seis semanas, contabilizando um total de 12 sessões de treinamento, sendo que os sujeitos realizaram duas sessões de treinamento por semana em dias não consecutivos. Ambos os grupos, SS e SM, realizaram os seguintes exercícios, na seguinte ordem: *leg press*, flexão de cotovelo, extensão de joelho, puxada, flexão de joelho, extensão de cotovelo, supino reto, abdução e adução de quadril e abdominal. Ambos os grupos treinaram com procedimentos iguais, apenas diferindo no número de séries, o grupo SS realizou uma série em cada exercício, enquanto que o grupo SM realizou três séries em cada exercício. Para o grupo SM foi permitido um intervalo de 2 minutos entre cada série. A intensidade do treinamento foi controlada utilizando repetições máximas (RM) e foi escolhida de acordo com recomendações prévias (Garber, Blissmer *et al.*, 2011). Durante todo o período de treinamento os sujeitos realizaram 15-20 RM, e quando algum sujeito foi capaz de realizar mais do que 20 repetições foi adicionado uma carga de 2,0 a 5,0 kg na próxima sessão de treinamento. Os sujeitos foram instruídos a realizar em 2 segundos a fase concêntrica e em 2 segundos a fase excêntrica de cada repetição em cada exercício. Durante o período de treinamento os sujeitos foram instruídos a não alterar drasticamente a sua rotina diária de atividade física e a sua dieta alimentar.

### **1-RM de Extensão de joelho**

O teste de 1-RM de extensão do joelho foi executado em uma cadeira extensora de polia assimétrica (World-Sculptor, Porto Alegre, RS, resolução: 1

kg), por tentativa e erro de modo bilateral. Os sujeitos foram posicionados no equipamento de extensão de joelho com as articulações dos joelhos e quadril flexionados em 90° e 85°, respectivamente (180° correspondente ao joelho e quadril completamente estendidos), posicionados com o auxílio de um goniômetro (Carcie, São Paulo, SP). Em seguida, realizaram uma série de 10 repetições de extensão de joelho como aquecimento com uma carga de 50% da massa corporal. Em seguida, a carga estimada como o 1-RM foi utilizada para a primeira tentativa do teste. Quando o sujeito foi capaz de executar mais de uma repetição o valor da carga foi ajustado baseado nos coeficientes de correção de Lombardi (1989), e quando não foi capaz de executar nenhuma repetição a carga foi reduzida em 5kg. Cada sujeito executou as repetições na cadência total de 4 segundos, 2 segundos para fase concêntrica e 2 segundos para fase excêntrica, a qual foi controlada por um metrônomo eletrônico (Quartz, Sacramento, CA, EUA). Os sujeitos também executaram a repetição na amplitude máxima de movimento. Sendo assim, o 1-RM assumido foi a maior carga que o sujeito conseguiu levantar apenas uma vez na amplitude de movimento máxima e com a cadência adequada. O valor de 1-RM de todos os sujeitos foi determinado entre 3-5 tentativas. Entre cada tentativa foi estabelecido um período de recuperação de 3 minutos. A reprodutibilidade teste-reteste do 1-RM de extensão de joelho foi de 0,96. O teste de um 1-RM pré e pós treinamento foi realizado sempre pelo mesmo avaliador utilizando o mesmo ajuste sujeito/equipamento.

### **1-RM de Flexão de Cotovelo**

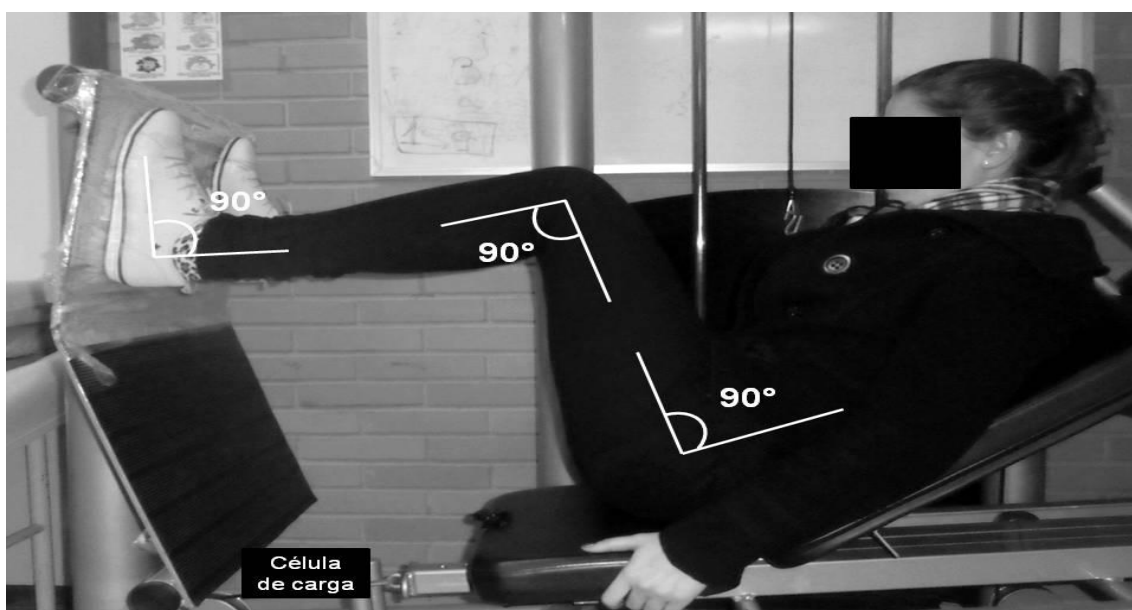
O teste 1-RM de flexão de cotovelo foi executado em um banco Scott (World-Sculptor, Porto Alegre, RS), por tentativa e erro, de modo unilateral, apenas com o braço dominante. Para o teste os sujeitos permaneceram sentados no banco com a coluna flexionada de modo que o peito estivesse encostado no banco, enquanto que a parte posterior dos braços e as axilas estavam apoiadas no banco. O teste iniciou com o braço dos sujeitos em uma flexão de 10° (0° extensão total de cotovelo) avaliada por um goniômetro (Carcie, São Paulo, SP) e terminou quando o antebraço encostou na face

anterior do braço. Após posicionados de maneira adequada, como aquecimento os sujeitos realizaram uma série de 10 repetições de flexão de cotovelo com uma carga de aproximadamente 5% da massa corporal. Subsequente ao aquecimento a carga estimada como o 1-RM foi utilizada na primeira tentativa do teste. Quando os sujeitos foram capazes de executar mais de uma repetição o valor da carga foi ajustado baseado nos coeficientes de correção de Lombardi (1989), e quando o sujeito não foi capaz de executar nenhuma repetição a carga foi reduzida em 1kg ou mais se necessário. A cadência da repetição foi de 4 segundos no total (2 segundos para a fase concêntrica e 2 segundos para a fase excêntrica), também controlada por um metrônomo eletrônico (Quartz, CA, EUA). Do mesmo modo que para o 1-RM de extensão de joelho, o 1-RM assumido para a flexão de cotovelo foi a maior carga que o sujeito conseguiu levantar somente uma vez, na amplitude de movimento máxima e com a cadência adequada. O valor de 1-RM de todos os sujeitos foi determinado entre 3-5 tentativas. Entre cada tentativa foi estabelecido um período de intervalo de 3 minutos. A reprodutibilidade teste-reteste do 1-RM de flexão de cotovelo foi de 0,90. O teste de um 1-RM de flexão de cotovelo foi realizado sempre pelo mesmo avaliador utilizando o mesmo ajuste sujeito/equipamento pré e pós treinamento.

### **Força Isométrica Máxima dos Membros Inferiores**

A força isométrica máxima dos membros inferiores foi avaliada de forma bilateral utilizando a metodologia semelhante de estudos prévios (MORITANI e DEVRIES, 1979; RABITA *et al.*, 2000). Para o teste os indivíduos foram posicionados no equipamento leg press (World-esculptor, Porto Alegre, RS) com articulações do quadril, joelho e tornozelo posicionados em 90° (figura 2), posicionados com o auxílio de um goniômetro (Carcie, São Paulo, SP). Uma célula de carga (Primax, São Paulo, Brazil) foi acoplada a cadeira e conectada a um conversor analógico/digital (A/D) (Miotoool 400, Porto Alegre, Brazil). Para o teste foi pedido que os sujeitos que fizessem a força máxima com os pés contra a plataforma na qual esses estavam apoiados. Cada sujeito realizou três contrações isométricas voluntárias máximas (CIVM) com duração de 5

segundos cada. Entre cada CIVM foi permitido um intervalo de recuperação de 3 minutos. Incentivo verbal foi fornecido para cada sujeito durante as CIVMs. A curva força-tempo de cada CIVM foi obtida em tempo real usando o programa Miograph (Miotec Equipamentos Biomédicos, Porto Alegre, RS Brasil), com uma taxa de aquisição de 2000 Hz, registrada em computador pessoal (Dell, São Paulo, SP, Brasil). Cada curva força-tempo foi digitalizada e analisada usando o programa SAD32 (desenvolvido pela escola de Engenharia da UFRGS). A CIVM de maior valor (kg) foi utilizada como referência para a análise da força isométrica máxima dos membros inferiores.



**Figura 2.** Sujeito posicionado para o teste de força isométrica máxima dos membros inferiores.

### **Força Isométrica Máxima dos Membros Superiores**

A análise da força isométrica máxima dos membros superiores foi avaliada em um equipamento banco Scott de modo bilateral (World-esculptor, Porto Alegre, RS). Para realizar o teste os sujeitos foram posicionados sentados no equipamento com a coluna flexionada de modo que o peito estivesse encostando no banco, enquanto que a parte posterior dos braços e as axilas estiveram apoiadas no banco. Os sujeitos seguraram uma barra de metal com as mãos de forma supinada. A barra ficou conectada a uma célula

de carga (Primax, São Paulo, Brazil), sendo que a célula de carga foi acoplada a um conversor analógico/digital (A/D) (Miotool 400, Porto Alegre, Brazil). A CIVM foi realizada no ângulo de  $60^\circ$  de flexão de cotovelo ( $0^\circ$ = extensão completa de cotovelo) determinado com um goniômetro (Carcie, São Paulo, SP). Durante o teste foi pedido que os sujeitos que fizessem a força máxima com as mãos tentando realizar uma flexão de cotovelo. Cada sujeito realizou três CIVMs de duração de 5 segundos cada. Entre cada CIVM foi permitido um intervalo de recuperação de 3 minutos e foi fornecido incentivo verbal para cada sujeito durante as CIVMs. A curva força-tempo de cada CIVM foi obtida em tempo real usando o programa Miograph (Miotec Equipamentos Biomédicos, Porto Alegre, RS Brasil), com uma taxa de aquisição de 2000 Hz, registrada em um computador pessoal (Dell, São Paulo, SP, Brasil). Todas as curvas força-tempo foram digitalizadas e analisadas usando o programa SAD32 (desenvolvido pela escola de Engenharia da UFRGS). A CIVM de maior valor (kg) foi utilizada como referência para a análise da força isométrica máxima dos membros superiores.



**Figura 3.** Sujeito posicionado para o teste de força isométrica máxima dos membros superiores.

## Ativação Eletromiográfica Máxima dos Membros Inferiores

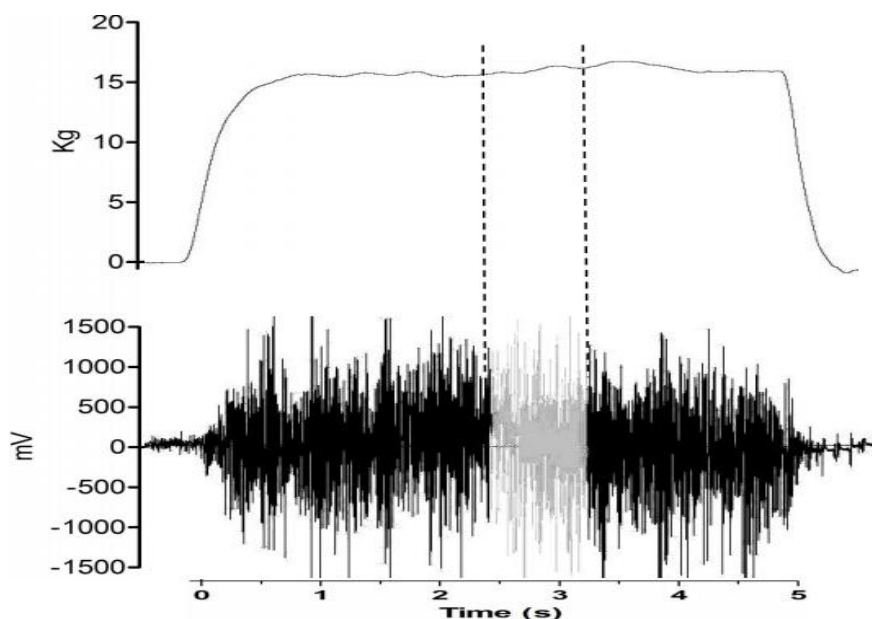
Durante o teste isométrico máximo de membros inferiores foi obtido à ativação eletromiográfica (EMG) máxima dos músculos vasto lateral (VL), reto femoral (RF) e vasto medial (VM) da perna direita dos sujeitos. Antes da colocação dos eletrodos foi realizada a raspagem dos pelos e limpeza da pele por abrasão com algodão umedecido em álcool em gel para manter a impedância abaixo de 2000 k $\Omega$ . Após a limpeza da pele, os eletrodos em configuração bipolar (20 mm de distância intereletrodos) foram colocados longitudinalmente na direção das fibras musculares, sobre o ventre muscular de acordo com a preposição do Seniam ([www.seniam.org](http://www.seniam.org)). Um eletrodo de referência foi colocado na clavícula direita dos sujeitos. Para assegurar o mesmo posicionamento dos eletrodos pré e pós treinamento, o local de colocação dos eletrodos foi mapeado usando uma folha transparente onde os eletrodos e as marcas na pele de cada indivíduo, que serviram como referência para o posicionamento pós treinamento, foram marcadas usando uma caneta retroprojeter, como proposto por Narici et al. (1989). O sinal EMG foi obtido usando um eletromiógrafo de quatro canais (Miootol, Miotec-Equipamento Biomédicos, Porto Alegre, RS, Brasil), os quais foram coletados com uma taxa de amostragem de 2000 Hz por canal e amplificados com um de ganho 100. Os sinais foram digitalizados e armazenados em um computador pessoal (Dell, Inspiron, São Paulo, Brasil).

Para a análise dos sinais foi utilizado o programa SAD32. O sinal EMG do VL, RF e VM, coletado na curva força-tempo que apresentou maior valor de força foi filtrado usando o filtro passa-banda Butterworth de 5ª ordem, com frequências de corte de 20 e 500 Hz. Após a filtragem, foi feito um recorte no sinal de um segundo, no platô da curva força-tempo da CIVM de maior valor. Nesse recorte foi obtido o valor da raiz quadrada da média do sinal (RMS – *root mean square*) do VL, RF e VM (figura 4).

## Ativação Eletromiográfica Máxima dos Membros Superiores

A ativação EMG de membros superiores foi obtida a partir da ativação máxima do músculo bíceps braquial (BB) durante o teste de força isométrica máxima de membros superiores. Antes do posicionamento dos eletrodos, foi realizada a raspagem dos pelos e a limpeza da pele por abrasão com algodão umedecido com álcool em gel para manter a impedância abaixo de 2000 k $\Omega$ . Após a limpeza da pele, os eletrodos em configuração bipolar (20 mm de distância intereletrodos) foram posicionados longitudinalmente na direção das fibras sobre o ventre muscular, seguindo a preposição de Seniam ([www.seniam.org](http://www.seniam.org)). Um eletrodo de referência foi colocado na clavícula direita dos sujeitos. De modo a assegurar o mesmo posicionamento dos eletrodos pré e pós treinamento, o local de colocação dos eletrodos foi mapeado usando uma folha transparente onde os eletrodos e as marcas na pele de cada indivíduo, que serviram como referência no posicionamento pós treinamento, foram marcadas usando uma caneta retroprojeter como previamente proposto (NARICI *et al.*, 1989). Como na coleta de ativação de membros inferiores, o sinal EMG dos membros superiores foi obtido usando um eletromiógrafo de quatro canais (Miootol, Miotec-Equipamento Biomédicos, Porto Alegre, RS, Brasil), os quais foram coletados com uma taxa de amostragem de 2000 Hz por canal e amplificados com um fator de ganho 100. Os sinais foram digitalizados e armazenados em um computador pessoal (Dell, Inspiron, São Paulo, Brasil) para posterior análise.

Para a análise dos sinais dos membros superiores também foi utilizado o programa SAD32 (desenvolvido pela escola de Engenharia da UFRGS). Onde o sinal EMG na curva força-tempo de maior valor foi filtrado usando o filtro passa-banda Butterworth de 5ª ordem, com frequência de corte entre 20 e 500 Hz. Após a filtragem, foi feito um recorte no sinal de um segundo, no platô da curva força-tempo da CIVM de maior valor. Nesse recorte foi obtido o valor da raiz quadrada da média do sinal (RMS – *root mean square*) do BB (figura 4).



**Figura 4.** Curva força-tempo (acima), sinal eletromiográfico (EMG) e o recorte no sinal EMG onde o valor da raiz quadrada da média foi calculado.

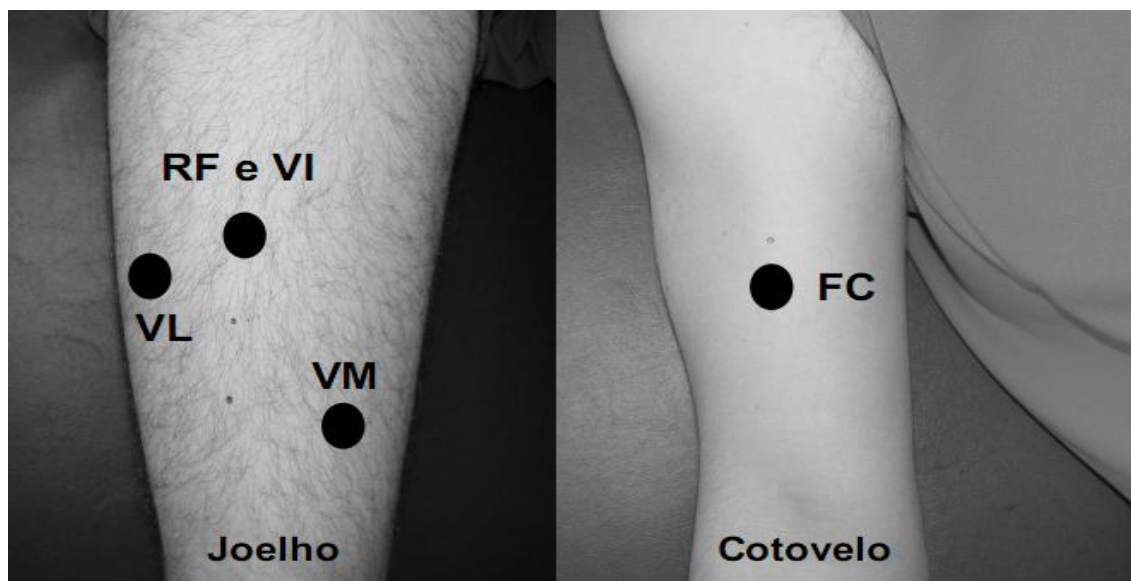
### **Espessura Muscular dos Membros Inferiores e Superiores**

A EM foi avaliada por meio de imagem de ultrassonografia obtida em B-modo (Philips, VMI, Lagoa Santa, MG, Brasil). Um transdutor linear (38 mm) com frequência de amostragem de 7,5 MHz foi posicionado de forma perpendicular sobre os músculos avaliados. Antes de qualquer medição todos os sujeitos permaneceram deitados na posição de supino por 15 minutos de modo a restabelecer o fluxo normal dos líquidos corporais (BERG *et al.*, 1993). Para a aquisição da imagem foi utilizado um gel à base de água, o qual promove um contato acústico sem a necessidade de causar pressão com o transdutor sobre a pele. As avaliações foram realizadas na perna e no braço dominante dos sujeitos. A avaliação da EM dos membros inferiores contou com a avaliação nos seguintes músculos: VL, no ponto médio entre grande trocânter e epicôndilo lateral do fêmur (KUMAGAI *et al.*, 2000); VM, mensurado em 30% da distância entre epicôndilo lateral até o grande trocânter do fêmur (KORHONEN *et al.*, 2009); vasto intermédio (VI) e RF em dois terços da distância do grande trocânter do fêmur até o epicôndilo lateral e 3cm lateral a



partir da linha média do membro (CHILIBECK *et al.*, 2004) (figura 5). Para a avaliação da EM dos membros superiores foi utilizado a espessura dos flexores de cotovelo BB e braquial (BR), avaliadas em oito centímetros acima da articulação do cotovelo (CHEN *et al.*, 2010) (figura 5). Para assegurar o mesmo local de avaliação da EM pré e pós treinamento foi utilizado uma folha transparente para mapear o local da avaliação, onde foi marcado o local de avaliação da EM bem como marcas na pele de cada sujeito que serviram como referência na avaliação pós treinamento. Todas as avaliações pré e pós treinamento foram realizadas pelo mesmo avaliador.

Após coletadas, todas as imagens foram digitalizadas e analisadas no programa Image-J (National Institutes of Health, EUA, Versão 1.37). A determinação das EMs seguiu a proposição de um estudo prévio (ABE *et al.*, 2000). Para a determinação da EM do músculo VI foi identificado o tecido ósseo (fêmur) e a aponeurose superior do músculo, sendo a distância entre eles definida como a EM; para a determinação da EM do RF foi identificado o tecido adiposo subcutâneo e a aponeurose inferior, e a distância entre eles foi definida como a EM; para a determinação da EM do VL foi identificado o tecido adiposo subcutâneo e a aponeurose inferior de modo que a distância entre eles foi assumida como EM; para o VM foi identificado o tecido ósseo (fêmur) e o tecido adiposo subcutâneo, e a distância entre eles foi definida como a EM. Para o flexor de cotovelo bíceps braquial foi identificado o tecido subcutâneo e a aponeurose inferior e a distância entre eles assumida com EM; para o músculo braquial foi identificado o tecido ósseo (úmero) e a aponeurose superior e a EM foi assumida como a distância entre eles. O mesmo avaliador realizou todas as análises de EM pré e pós treinamento. O coeficiente de variação da medida da EMs dos extensores de joelho e flexores de cotovelo foi menor do que 4%. A reprodutibilidade teste-reteste da avaliação da EMs dos extensores de joelho foi 0,95 para o VL, 0,93 para o RF, 0,90 para o VI e 0,85 para o VM; e para ambos os flexores de cotovelo foi de 0,89.



**Figura 5.** Locais de avaliação da espessura muscular dos extensores de joelho e flexores de cotovelo; RF: reto femoral; VI: vasto intermédio; VL: vasto lateral; VM: Vasto medial; FC: flexores de cotovelo.

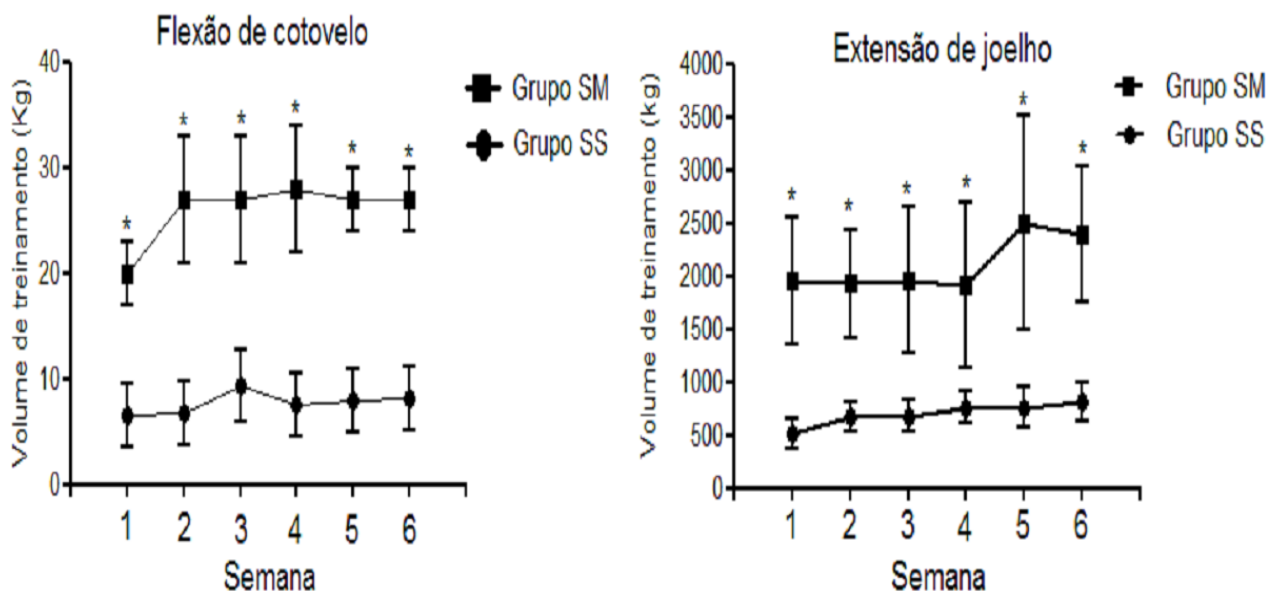
### **Análise Estatística**

Todos os dados estão apresentados em média e desvio padrão (média  $\pm$  DP). A normalidade e a homogeneidade dos dados foram testadas usando o teste de Shapiro-wilk e Levene, respectivamente. Após os dados apresentarem normalidade e homogeneidade ( $p > 0,05$ ) foi utilizado o teste t pareado para as comparações pré e pós treinamento dentro de cada grupo (valores absolutos). As comparações entre os grupos foram avaliadas usando o teste t de student não pareado (valores de delta percentual). A diferença no volume de treinamento entre os grupos ao longo do tempo (tempo x grupo) foi avaliada usando o teste de análise da variância (ANOVA) de modelo misto, sendo que o teste *post hoc* de Bonferroni foi utilizado quando uma interação significativa foi observada. Todas as análises foram realizadas no programa SPSS 13.0 utilizando um nível de significância de  $p \leq 0,05$ . O tamanho do efeito (TE) foi calculado e classificado para ganhos relacionados à força dinâmica (1-RM) e EM dos membros inferiores e superiores de acordo com a proposição de RHEA (2004).

## Resultados

### Volume de Treinamento

O volume de treinamento foi calculado de acordo com estudos prévios (repetições x séries x carga) (HASS *et al.*, 2001; MARSHALL *et al.*, 2011). Os resultados demonstraram que em todas as semanas do estudo o volume do treinamento do grupo SM foi significativamente maior ( $p \leq 0,001$ ) do que do grupo SS, no exercício extensão de joelho e flexão de cotovelo (figura 6).



**Figura 6.** Volume do treinamento de flexão de cotovelo (esquerda) e extensão de joelho (direita) do grupo série simples e séries múltiplas durante o período de treinamento; \* significativamente maior do que o grupo SS ( $p \leq 0,001$ ); SM: séries múltiplas; SS: série única.

### 1-RM de Extensão de joelho e flexão de cotovelo

Os valores absolutos de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo pré e pós treinamento, as mudanças percentuais, e o tamanho do efeito estão apresentados na tabela 1. Antes do período de treinamento, não foi observada diferença significativa entre os grupos com relação ao valor de 1-RM

de extensão de joelho e flexão de cotovelo ( $p > 0,05$ ). Após as seis semanas de treinamento, ambos os grupos apresentaram significativo incremento ( $p \leq 0,001$ ) no valor de 1-RM de extensão de joelho ( $16,1 \pm 12,0\%$  para o grupo SS e  $21,7 \pm 7,7\%$  para o grupo SM), sem diferença significativa entre os grupos ( $p > 0,05$ ) (tabela 1). O TE da alteração no valor de 1-RM de extensão de joelho foi trivial para o grupo SS (0,42) e pequena para o grupo SM (0,74). Com relação ao 1-RM de flexão de cotovelo, ambos os grupos mostraram incremento significativo ( $p \leq 0,001$ ) no pós treinamento ( $12,8 \pm 5,6\%$  para o grupo SS e  $12,5 \pm 6,5\%$  para o grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ) (tabela 1). O TE para a mudança no valor de 1-RM de flexão de cotovelo foi pequeno para ambos os grupos SS (0,61) e SM (1,14).

**Tabela 1.** Valores absolutos de força dinâmica e força isométrica máxima pré e pós treinamento, mudança percentual e tamanho do efeito (média  $\pm$  DP).

| Variável   | Série simples (n = 14) |                  |                 |      | Séries múltiplas (n = 13) |                  |                |      |
|--|------------------------|------------------|-----------------|------|---------------------------|------------------|----------------|------|
|  | Pré                    | Pós              | $\Delta\%$      | TE   | Pré                       | Pós              | $\Delta\%$     | TE   |
| 1-RM de extensão de joelho (kg)                    | 49,5 $\pm$ 16,4        | 56,5 $\pm$ 15,5* | 16,1 $\pm$ 12,0 | 0,42 | 50,8 $\pm$ 16,4           | 60,3 $\pm$ 17,8* | 21,7 $\pm$ 7,7 | 0,57 |
| 1-RM de flexão de cotovelo (kg)                    | 6,8 $\pm$ 1,3          | 7,6 $\pm$ 1,3*   | 12,8 $\pm$ 5,6  | 0,61 | 6,7 $\pm$ 0,7             | 7,5 $\pm$ 0,8*   | 12,5 $\pm$ 6,5 | 1,14 |
| Força isométrica máxima de membros inferiores (kg) | 71,6 $\pm$ 25,5        | 68,7 $\pm$ 16,2  | 9,7 $\pm$ 14,9  | -    | 74,7 $\pm$ 25,6           | 76,8 $\pm$ 26,3  | 3,1 $\pm$ 9,0  | -    |
| Força isométrica máxima de membros superiores (kg) | 18,0 $\pm$ 4,6         | 19,2 $\pm$ 5,0   | 7,2 $\pm$ 15,3  | -    | 18,0 $\pm$ 3,1            | 18,8 $\pm$ 3,6   | 4,8 $\pm$ 13,1 | -    |

\* significativamente maior do que o valor pré treinamento ( $p \leq 0,001$ ); 1-RM: uma-repetição máxima; TE: tamanho do efeito.

### Força Isométrica máxima

Valores absolutos pré e pós treinamento, mudanças percentuais e tamanho do efeito da força isométrica máxima de membros inferiores e

superiores estão apresentado na tabela 1. Antes do início do treinamento não foi observada diferença significativa entre os grupos com relação à força isométrica máxima de membros inferiores e superiores ( $p > 0,05$ ). Em nenhum dos dois grupos foi observada alteração significativa no valor de força isométrica máxima de membros inferiores e superiores após o período de treinamento ( $p > 0,05$ ).

### Ativação EMG máxima

Os valores absolutos de ativação máxima pré e pós treinamento dos músculos dos membros inferiores e superiores estão apresentado na tabela 2. No momento pré treinamento, não foi observada diferença significativa entre os grupos em nenhum músculo com relação a ativação EMG máxima ( $p > 0,05$ ). No pós treinamento, não foi observada alteração significativa na ativação EMG máxima dos membros inferiores e superiores em nenhum grupo ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 2.** Valores absolutos de ativação máxima dos membros inferiores e superiores pré e pós treinamento (média  $\pm$  DP).

| Variável               | Série única (n = 14) |                 | Séries múltiplas (n = 13) |                 |
|------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
|                        | Pré                  | Pós             | Pré                       | Pós             |
| Ativação muscular (mV) |                      |                 |                           |                 |
| VL                     | 0,11 $\pm$ 0,05      | 0,12 $\pm$ 0,82 | 0,12 $\pm$ 0,02           | 0,13 $\pm$ 0,06 |
| RF                     | 0,06 $\pm$ 0,03      | 0,07 $\pm$ 0,03 | 0,07 $\pm$ 0,01           | 0,08 $\pm$ 0,01 |
| VM                     | 0,09 $\pm$ 0,31      | 0,11 $\pm$ 0,04 | 0,13 $\pm$ 0,06           | 0,12 $\pm$ 0,06 |
| BB                     | 0,20 $\pm$ 0,09      | 0,27 $\pm$ 0,18 | 0,36 $\pm$ 0,22           | 0,44 $\pm$ 0,27 |

mV: milivolt; VL: vasto lateral; RF: reto femoral; VM: vasto medial; BB: bíceps braquial.

### Espessura muscular

Os valores absolutos de EM dos extensores do joelho e flexores de cotovelo pré e pós treinamento, a magnitude da mudança e o tamanho do efeito estão apresentados na tabela 3. Relativo à EM de membros inferiores e superiores não foi observado diferença significativa entre os grupos no

momento pré treinamento ( $p > 0,05$ ). Em ambos os grupos a EM de todos os músculos extensores de joelho aumentou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) após as seis semanas de treinamento, sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ). O TE para a alteração na EM de todos os músculos extensores de joelho foi trivial para ambos os grupos.

A EM dos flexores de cotovelo também aumentou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) no pós treinamento em ambos os grupos, sem diferença entre eles ( $p > 0,05$ ). Para ambos os grupos o TE da alteração na EM dos flexores de cotovelo foi trivial.

**Tabela 3.** Valores absoluto de espessura muscular pré e pós treinamento, mudança percentual e tamanho do efeito (média±DP).

| Variável                | Série simples (n = 14) |             |            |      | Séries múltiplas (n = 13) |             |            |      |
|-------------------------|------------------------|-------------|------------|------|---------------------------|-------------|------------|------|
|                         | Pré                    | Pós         | $\Delta\%$ | TE   | Pré                       | Pós         | $\Delta\%$ | TE   |
| Espessura muscular (mm) |                        |             |            |      |                           |             |            |      |
| VL                      | 16,5 ± 4,1             | 17,4 ± 4,8* | 4,7 ± 4,0  | 0,21 | 17,2 ± 3,0                | 18,2 ± 3,2* | 5,8 ± 4,7  | 0,33 |
| RF +VI                  | 27,6 ± 0,31            | 28,7 ± 9,5* | 6,7 ± 6,4  | 0,11 | 27,6 ± 7,2                | 29,3 ± 7,0* | 12,4 ± 9,7 | 0,23 |
| VM                      | 19,2 ± 6,2             | 19,9 ± 5,6* | 4,8 ± 5,6  | 0,11 | 16,1 ± 3,2                | 17,3 ± 3,3* | 6,4 ± 5,1  | 0,37 |
| BB +BR                  | 25,2 ± 4,4             | 26,0 ± 4,2* | 4,4 ± 5,0  | 0,18 | 22,1 ± 3,9                | 24,0 ± 5,2* | 5,1 ± 4,8  | 0,48 |

\* significativamente maior do que o valor pré treinamento ( $p \leq 0,05$ ); VL: vasto lateral; RF: reto femoral; VI: vasto intermédio; VM: vasto medial; BB: bíceps braquial; BR: braquial; TE: tamanho do efeito.

## Discussão

O objetivo desse primeiro capítulo foi comparar o efeito de seis semanas de treinamento com série simples e séries múltiplas nas adaptações neuromusculares dos músculos dos membros inferiores e superiores de mulheres idosas. Os principais achados do estudo foram que durante as semanas iniciais do TF série simples e séries múltiplas foram similarmente efetivas em incrementar a força dinâmica máxima (1-RM) da extensão de

joelho e da flexão de cotovelo e em aumentar a EM dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo. Com relação ao TE, apenas a magnitude da mudança no 1-RM de extensão de joelho foi estatisticamente maior para o grupo SM (0,57) comparado com o grupo SS (0,42). Esses resultados reforçam o posicionamento do Colégio Americano de Medicina do Exercício (American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults, 2009) e corrobora com os achados de outros estudos com sujeitos jovens (Starkey, Pollock *et al.*, 1996; Hass, Garzarella *et al.*, 2000; Wolfe, Lemura *et al.*, 2004) e idosos (Cannon e Marino, 2010), que também observaram durante as semanas iniciais de treinamento ganhos similares com série simples e séries múltiplas. Além disso, esses resultados sugerem que durante os períodos iniciais de treinamento o volume do TF não é o ponto crucial para o desenvolvimento da força dinâmica máxima e da hipertrofia muscular em mulheres idosas.

Existem estudos que comparam o efeito do TF com série simples e séries múltiplas sobre os ganhos de força de membros inferiores e superiores de sujeitos jovens após seis semanas de treinamento. Contudo, os resultados desses estudos vão de encontro aos achados do corrente capítulo. Paulsen *et al.* (2003) observaram em mulheres jovens (18-20 anos), após seis semanas de treinamento, um grande aumento na capacidade de produção de força de extensão de joelho no grupo de séries múltiplas comparado com o grupo série simples (15,5% grupo série simples 21,8% grupo séries múltiplas;  $p = 0,01$ ). Do mesmo modo, Schlumberger *et al.* (2001) também observaram que séries múltiplas incrementaram significativamente mais ( $p < 0,05$ ) o 1-RM de extensão de joelho de mulheres com idade entre 20 e 40 anos do que série simples (6% grupo série simples e 15% grupo séries múltiplas).

Estudos comparando o efeito do volume do TF em indivíduos idosos são escassos. Um dos primeiros estudos nessa perspectiva foi o de Galvão e Taffee (2005). Os autores observaram que séries múltiplas induziram ganhos significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) do que série simples no valor de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo em indivíduos com idade entre 65 e 78 anos (12 mulheres e 20 homens), após 20 semanas de treinamento. Esses resultados vão de encontro aos achados desse capítulo. Essas diferenças entre os resultados podem ter acontecido em virtude de diferenças na duração

do programa de treinamento (20 semanas vs. 6 semanas) e na formação dos grupos de treinamento. No presente estudo os grupos de treinamento foram formados apenas por mulheres idosas, enquanto no estudo de Galvão e Taffee (2005) os grupos de treinamento foram formados por homens e mulheres idosos. Por outro lado, os resultados do corrente estudo concordam com os achados de Cannon e Marino (2010), que observaram similar incremento com série simples e séries múltiplas na força dinâmica máxima de membros inferiores (1-RM de extensão de joelho). Contudo, no estudo de Cannon e Marino os grupos de treinamento foram formados por mulheres jovens e idosas, as quais podem demonstrar diferença nos ganhos de força decorrentes de um período de TF (LEMMER *et al.*, 2000), assim uma comparação detalhada entre os resultados é difícil. Mesmo assim, os resultados do presente estudo e os achados de Cannon e Marino podem sugerir que, durante as semanas iniciais de treinamento mulheres idosas podem significativamente aumentar a força dinâmica máxima dos membros superiores e inferiores com um pequeno volume de TF. Contudo, é importante notar que embora no presente estudo ambos os grupos tenham apresentado similar ganhos na força dinâmica máxima, de acordo com o TE os membros inferiores podem ser mais dependentes do volume do TF do que os membros superiores. Deste modo, durante longos períodos de treinamento os membros inferiores podem se beneficiar de séries múltiplas. Entretanto, mais estudos são necessários para determinar se séries múltiplas, em grupos homogêneos e durante longos períodos, são mais eficientes do que série simples para aumentar a força dinâmica máxima dos membros inferiores.

Após as seis semanas de treinamento, a força isométrica máxima dos membros inferiores e superiores não alterou significativamente em nenhum grupo ( $p > 0,05$ ). Esse resultado corrobora com estudos prévios que também não observaram incremento na força isométrica máxima após um período de treinamento de força dinâmico (FRY *t al.*, 1992; SALE *et al.*, 1992). Contudo, esse achado vai de encontro a Cannon e Marino (2010) que observaram significativo incremento ( $p < 0,05$ ) na força isométrica de extensão de joelho no grupo série simples e nos grupo séries múltiplas após 10 semanas de treinamento ( $18,6 \pm 8,7\%$  grupo uma série e  $17,4 \pm 7,3\%$  grupo séries múltiplas), sem diferença entre os grupos. A razão pela qual, não foi observada



alteração significativa na força isométrica máxima pode se dar pelo fato de que o aumento na força isométrica após um período de TF não é similar em todos os ângulos ao longo da amplitude de movimento da articulação, além do que ainda pode ocorrer uma mudança no ângulo ótimo de produção de força devido à alteração na relação comprimento tensão das fibras musculares (REEVES *et al.*, 2004; NARICI *et al.*, 2005). Assim, o teste isométrico em apenas um ângulo, como no presente estudo, pode subestimar os ganhos de força isométrica (NARICI *et al.*, 2005). Além disso, moderada hipertrofia nas semanas iniciais de treinamento não necessariamente promove ganhos na força isométrica (SALE *et al.*, 1992).

A ativação EMG máxima de membros inferiores e superiores não alterou significativamente para nenhum grupo nos pós treinamento. Esse resultado corrobora com estudos prévios, os quais também não observaram alteração na ativação EMG máxima, avaliada em testes isométricos, após um período de TF dinâmico (ROBBINS *et al.*, 2009; CANNON e MARINO, 2010; MARSHALL *et al.*, 2011). Embora não tenha sido observada alteração na EMG nos presentes resultados, a ocorrência de uma adaptação neural não pode ser descartada, porque o TF em algumas situações induz adaptações neurais as quais às vezes não podem ser percebidas pelo método de eletromiografia de superfície. Mudanças na organização dos circuitos sinápticos, bem como aumento na excitabilidade decorrentes do TF estão relacionados a ganhos de força (CARROL *et al.*, 2002; SCHUBERT *et al.*, 2008), contudo não são perceptíveis por meio da EMG de superfície.

Ambos os grupos apresentaram significativo aumento na EM dos flexores de cotovelo e extensores de joelho. Além do que, a magnitude do TE sobre a hipertrofia muscular nos membros inferiores e superiores foi similar entre os grupos. Esses resultados demonstram que um período curto de TF tem a capacidade de atenuar os efeitos do envelhecimento sobre a massa muscular (sarcopenia) em mulheres idosas. Além disso, esse resultado indica que mulheres idosas podem obter uma hipertrofia muscular similar durante as primeiras semanas de treinamento quando utilizam série simples e séries múltiplas. Esse achado, não está de acordo com a proposição de Krieger (2010) de que programas de treinamento com séries múltiplas estão associados com 40% a mais de ganhos hipertróficos do que programas de

treinamento com série simples. Existem poucos estudos explorando os efeitos do volume do TF sobre a hipertrofia muscular de indivíduos idosos. Cannon e Marino (2010) compararam o aumento do volume muscular do quadríceps femoral de mulheres idosas que treinaram com série simples e séries múltiplas por dez semanas. Os autores encontraram que ambos os grupos aumentaram significativamente o volume muscular do quadríceps femoral ( $7,8 \pm 2,0\%$  grupo série simples e  $9,6 \pm 2,8\%$  grupo séries múltiplas), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ). Nesse estudo, os autores sugeriram que durante os períodos iniciais do treinamento, a hipertrofia muscular não é volume dependente. Concordando com essa hipótese, os resultados deste capítulo, com relação à hipertrofia muscular, demonstraram que ambos os grupos, SS e SM, apresentaram similar hipertrofia nos flexores de cotovelo e extensores de joelho após as seis semanas de treinamento. É sugerido que a hipertrofia muscular está relacionada a diferentes variáveis, como o dano muscular (HILL e GOLSPINK, 2003), resposta hormonal (CREWETHER *et al.*, 2006) e resposta miogênica (SCHOENFELD, 2010), e sendo assim um grande volume de treinamento (séries múltiplas) estaria relacionado com grandes repostas dessas variáveis e conseqüentemente com uma alta taxa de ganhos de massa muscular. Contudo, os resultados do presente estudo sugerem que no período inicial do treinamento, séries múltiplas não promovem maiores respostas sobre essas variáveis e não estão associadas com uma maior taxa de hipertrofia do que série simples em mulheres idosas.

## **Conclusão**

Em resumo os resultados do presente estudo demonstraram que série simples e séries múltiplas promoveram significativos e similares incrementos na força dinâmica máxima e na EM dos extensores de joelho e flexores de cotovelo de mulheres idosas após seis semanas de treinamento. Esses resultados sugerem que durante os períodos iniciais do treinamento não é necessário a utilização de grandes volumes por mulheres idosas, o que pode aumentar a aderência aos programas de TF, pois sessões de treinamento compostas por séries múltiplas envolvem um longo período de tempo para

conclusão e estão associadas com uma baixa taxa de aderência nessa população (HASS *et al.*, 2000). No corrente estudo, o grupo SS precisou de aproximadamente 30 minutos para conclusão da sessão, enquanto que o grupo SM necessitou de aproximadamente o dobro do tempo (60 minutos) para a conclusão da sessão treinamento.

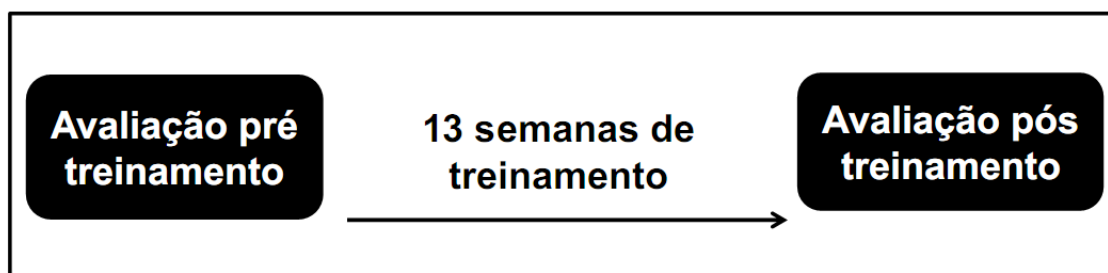
### CAPÍTULO III

## EFEITO DE TREZE SEMANAS DE TREINAMENTO DE FORÇA COM SÉRIE SIMPLES E SÉRIES MÚLTIPLAS NAS ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES DE MEMBROS INFERIORES E SUPERIORES E NA QUALIDADE MUSCULAR DE MEMBROS INFERIORES DE MULHERES IDOSAS

### Objetivo

O objetivo deste capítulo foi comparar em mulheres idosas o efeito de treze semanas de treinamento de força com série simples e séries múltiplas no valor de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo, na força isométrica máxima e na ativação EMG máxima dos membros inferiores e superiores, na EM dos extensores de joelho e flexores de cotovelo, bem como na QM dos membros inferiores.

### Desenho experimental



**Figura 7.** Desenho experimental do estudo relacionado ao capítulo III.

### Delineamento da pesquisa

O presente projeto apresenta desenho semi-experimental, com amostra selecionada voluntariamente e distribuição dos grupos de maneira intencional a partir do valor de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo.

## **Definição operacional das variáveis**

### **Variáveis independentes**

Dois programas de treinamento de força:

- Programa de treinamento com série simples.
- Programa de treinamento com séries múltiplas.

### **Variáveis dependentes**

- 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo.
- Força isométrica máxima dos membros inferiores e superiores.
- Ativação eletromiográfica muscular máxima dos membros inferiores e superiores.
- EM dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo.
- QM dos membros inferiores

## **Métodos**

### **Sujeitos**

A amostra desse estudo foi composta por 20 mulheres idosas com idade entre 60 e 74 anos que se voluntariaram para esse estudo, e não praticavam nenhum treinamento de força sistemático por pelo menos três meses anterior ao estudo. Os sujeitos foram divididos em dois grupos de treinamento: Grupo SS (n=11; 64,6 ± 3,1 anos; 66,4 ± 5,1 kg; 162,9 ± 5,8 cm) e grupo SM (n=9; 63,9 ± 2,3 anos; 64,1 ± 7,2 kg; 163,2 ± 4,9 cm). Todas as mulheres eram pós-menopáusicas, não fumantes e não apresentavam doenças cardiovasculares e

metabólicas. Foram excluídas do estudo as mulheres que apresentaram alguma limitação musculoesquelética que as impedisse de realizar os exercícios. Todos os sujeitos foram cuidadosamente informados sobre o objetivo, benefícios e possíveis riscos do estudo. Em seguida assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO 1) consentindo em participar do estudo. Todos os sujeitos completaram 95% das sessões de treinamento e não tiveram três faltas consecutivas ao longo do treinamento. Todos os procedimentos do presente estudos foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (n°19322).

### **Cronograma do treinamento**

O programa de treinamento teve uma duração total de 13 semanas, contabilizando um total de 26 sessões de treinamento, sendo que os sujeitos realizaram duas sessões de treinamento por semana em dias não consecutivos. Ambos os grupos, SS e SM, realizaram os seguintes exercícios na seguinte ordem: *leg press*, flexão de cotovelo, extensão de joelho, puxada, flexão de joelho, extensão de cotovelo, supino reto, abdução e adução de quadril e abdominal. Os grupos treinaram com procedimentos iguais durante o período do estudo, apenas diferindo no número de séries, o grupo SS realizou uma série em cada exercício, enquanto que o grupo SM realizou três séries em cada exercício. Para o grupo SM foi permitido um intervalo de 2 minutos entre cada série.

A intensidade do treinamento foi controlada a partir de RM e foi escolhida de acordo com recomendações prévias (GARBER *et al.*, 2011). Durante as seis primeiras semanas de treinamento os sujeitos realizaram 15-20 RM; durante as semanas 7-10 os grupos treinaram com 12-15 RM; e durante as três semanas finais os grupos treinaram com 10-12 RM. A carga de treinamento foi aumentada em 2,0 a 5,0 kg para a próxima sessão de treinamento quando algum sujeito foi capaz de realizar mais repetições do que prescrito no microciclo. Os sujeitos foram instruídos a realizar em 2 segundos a fase concêntrica e em 2 segundos a fase excêntrica de cada repetição em cada exercício. Todas as sessões foram supervisionadas por pelo menos dois

investigadores experientes. Durante o período de treinamento os sujeitos foram instruídos a não alterar drasticamente a sua rotina diária de atividade física e a sua dieta alimentar.

### **1-RM de extensão de joelho**

Os procedimentos do capítulo III para a avaliação do 1-RM de extensão de joelho, os equipamentos utilizados e os cuidados metodológicos tomados foram os mesmos adotados para a avaliação do 1-RM de extensão joelho no capítulo II (pág 41).

Para este capítulo III, o valor de 1-RM utilizado para as futuras análises também foi a maior carga que o sujeito conseguiu levantar apenas uma vez na amplitude de movimento máxima e com a cadência adequada. O valor de 1-RM de todos os sujeitos foi determinado entre 3-5 tentativas. Entre cada tentativa foi permitido um período de recuperação de 3 minutos. A reprodutibilidade teste-reteste do 1-RM de extensão de joelho foi de 0,96. O teste de um 1-RM pré e pós treinamento foi realizado sempre pelo mesmo avaliador utilizando o mesmo ajuste sujeito/equipamento.

### **1-RM de flexão de cotovelo**

Os procedimentos do capítulo III para a avaliação do 1-RM de flexão de cotovelo, os equipamentos utilizados e os cuidados metodológicos tomados foram os mesmos adotados para a avaliação do 1-RM de flexão de cotovelo no capítulo II (pág 42).

Para este capítulo III, o valor de 1-RM utilizado para as futuras análises também foi a maior carga que o sujeito conseguiu levantar somente uma vez na amplitude máxima de movimento e com a cadência adequada. O valor de 1-RM de todos os sujeitos foi determinado entre 3-5 tentativas. Entre cada tentativa foi permitido um período de recuperação de 3 minutos. A reprodutibilidade teste-reteste do 1-RM de flexão de cotovelo foi de 0,90. O

teste de um 1-RM pré e pós treinamento foi realizado sempre pelo mesmo avaliador utilizando o mesmo ajuste sujeito/equipamento.

### **Força Isométrica Máxima dos Membros Inferiores**

A força isométrica máxima dos membros inferiores no capítulo III, foi avaliada utilizando a mesma metodologia e os mesmos equipamentos utilizados no capítulo II para a avaliação da força isométrica dos membros inferiores (pág 43).

Bem como nas análises do capítulo anterior, todas as curvas força-tempo foram digitalizadas e analisadas usando o programa SAD32 (desenvolvido pela escola de Engenharia da UFRGS). A CIVM de maior valor (kg) foi utilizada como referência para as análises futuras da força isométrica máxima dos membros inferiores.

### **Força Isométrica Máxima dos Membros Superiores**

A metodologia e os equipamentos utilizados para a avaliação da força isométrica máxima dos membros superiores no capítulo III, foram os mesmos utilizados na avaliação da força isométrica máxima dos membros superiores no capítulo II (pág 47).

Bem como realizado no capítulo II, todas as curvas força-tempo da força isométrica máxima dos membros superiores foram digitalizadas e analisadas usando o programa SAD32 (desenvolvido pela escola de Engenharia da UFRGS). A CIVM de maior valor (kg) foi utilizada como referência para as futuras análises da força isométrica máxima dos membros superiores.

### **Ativação Eletromiográfica Máxima dos Membros Inferiores e Superiores**

A ativação EMG dos músculos extensores de joelho VL, RF e VM e do flexor de cotovelo BB foi obtida utilizando a metodologia e os equipamentos utilizados no capítulo II para a aquisição da EMG máxima.

A análise dos sinais EMGs obtidos foi realizada utilizando o programa SAD32 (desenvolvido pela escola de Engenharia da UFRGS). O sinal EMG do



músculo VL, RF, VM e BB na curva força-tempo de maior valor (kg) foi filtrado usando o filtro passa-banda Butterworth de 5ª ordem, com frequência de corte entre 20 e 500 Hz. Após a filtragem do sinal EMG, o janelamento foi feito no sinal usando como referência o platô da curva força-tempo de maior valor e então o valor de RMS do VL, RF, VM e BB foi obtido neste intervalo (figura 4) e usado para as análises subsequentes.

### **Espessura Muscular dos Membros Inferiores e Superiores**

Para a avaliação da EM dos músculos extensores de joelho (VL, VI, VM e RF) e dos músculos flexores de cotovelo (BB e BR) foi utilizada a metodologia e os equipamentos descritos no capítulo II (pág 48) O coeficiente de variação da medida da EMs dos extensores de joelho e flexores de cotovelo foi menos do que 4%. A reprodutibilidade teste-reteste da avaliação da EMs dos extensores de joelho foi 0,95 para o VL, 0,93 para o RF, 0,90 para o VI e 0,85 para o VM e para os flexores de cotovelo foi de 0,89.

Após coletadas, todas as imagens foram digitalizadas e analisadas no programa Image-J (National Institutes of Health, EUA, Versão 1.37). A determinação das EMs seguiu a preposição de um estudo prévio (Abe, Dehoyos *et al.*, 2000). Para a determinação das EMs dos extensores de joelho foi utilizada a mesma metodologia descrita no capítulo II (pág 48). Além disso, também foi calculada a EM do quadríceps femoral (EM QUA<sub>soma</sub>) a partir da soma das EMs dos músculos extensores de joelho (VL + VI + VM +RF) (CADORE *et al.*, 2012; RADAELLI *et al.*, 2013). A determinação das EMs dos flexores de cotovelo foi realizada utilizando a mesma metodologia descrita no capítulo II (pág 48). A EM dos flexores de cotovelo (EM FC<sub>soma</sub>) foi calculada a partir da soma da EM dos músculos BB e BR.

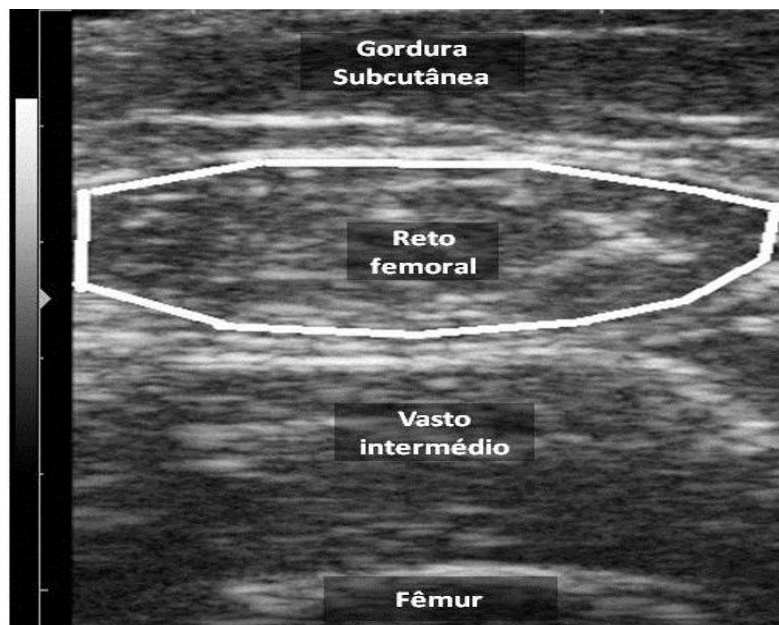
### **Qualidade Muscular**

A QM foi determinada de três maneiras seguindo a preposição de estudos prévios (Arts *et al.* 2000; Fukumoto *et al.* 2011). A QM via tensão

específica ( $QM_{TE}$ ), foi calculada a partir da força por unidade músculo. Assim, a seguinte fórmula foi utilizada para o cálculo da  $QM_{TE}$ : 1-RM unilateral de extensão de joelho (KG) / EM  $QUA_{soma}$  (mm) (CADORE *et al.*, 2012; RADAELLI *et al.*, 2013).

Para o cálculo da QM, ajustando os valores de massa muscular por uma escala alométrica ( $QM_{EA}$ ), também foi utilizada a mesma fórmula, 1-RM unilateral de extensão de joelho (KG) / EM  $QUA_{soma}$ , no entanto os valores de EM QUA foram ajustados por uma escala alométrica que corrige os valores de força pela massa corporal dos sujeitos (Força  $\propto$  massa corporal<sup>2/3</sup>) seguindo a proposição de estudos prévios de ajustar a força pela massa corporal (JARIC *et al.*, 2002; CADORE *et al.*, 2012). Portanto, a  $QM_{EA}$  foi definida como: 1-RM unilateral de extensão de joelho (KG) / EM  $QUA_{soma}$  (mm)<sup>0,67</sup>.

A determinação da QM pelos valores de *echo intensity* ( $QM_{EI}$ ) foi determinada de acordo com estudos prévios (ARTS *et al.*, 2010; FUKUMOTO *et al.*, 2012). O valor da *echo intensity* foi calculado com o auxílio do software Image-J (National Institutes of Health, EUA, Versão 1.37), nas imagens do músculo RF obtida por ultrassonografia. Em cada imagem do músculo RF foi determinada uma região de interesse a qual abrangeu a maior área possível do músculo sem selecionar alguma fascia (figura 7). Após isso, a *echo intensity* foi calculada nessa região de interesse, utilizando uma função de histograma de escala de cinza do programa Image-J. O valor da *echo intensity* fornecido pelo programa foi expresso entre 0 (preto) e 255 (branco). Para as análises foi utilizado o valor médio de *echo intensity* obtido a partir do cálculo em três imagens. A profundidade da imagem onde foi obtida a *echo intensity* foi fixada em 5 centímetros. A reprodutibilidade teste-reteste da *echo intensity* foi 0,91.



**Figura 8.** Determinação da qualidade muscular a partir da região de interesse no músculo reto femoral.

### **Análise Estatística**

Todos os dados estão apresentados em média e desvio padrão (média  $\pm$  DP). A normalidade e a homogeneidade dos dados foram testadas usando o teste de Shapiro-wilk e Levene, respectivamente. Após os dados mostrarem normalidade e homogeneidade ( $p > 0,05$ ), a diferença entre os grupos ao longo do tempo (tempo x grupo) foi avaliada usando o teste ANOVA de modelo misto. Quando um valor significativo de F foi identificado, o teste *post hoc* de Bonferroni foi utilizado para localizar as diferenças entre as médias. Todas as análises foram realizadas no programa SPSS 13.0 utilizando um nível de significância de  $p \leq 0,05$ .

### **Resultados**

#### **1-RM de Extensão de joelho e Flexão de Cotovelo**

No momento pré treinamento não foi observada diferença entre os grupos com relação ao valor de 1-RM de extensão de joelho e flexão de

cotovelo ( $p > 0,05$ ). Um significativo efeito do tempo foi observado para ambos os grupos com relação ao valor de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo ( $p \leq 0,001$ ).

Após 13 semanas de treinamento, ambos os grupos apresentaram significativo incremento ( $p \leq 0,001$ ) no valor de 1-RM de extensão de joelho ( $31,8 \pm 20,5$  % para o grupo SS e  $38,3 \pm 7,3$ % para o grupo SM), sem diferença significativa entre os grupos ( $p > 0,05$ ) (tabela 4). Relativo ao valor de 1-RM de flexão de cotovelo, após as 13 semanas de treinamento foi observado significativo incremento em ambos os grupos ( $p \leq 0,001$ ) ( $25,1 \pm 9,5$  % para o grupo SS e  $26,6 \pm 8,9$ % para o grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ) (tabela 4).

**Tabela 4.** Valores absolutos de força dinâmica e força isométrica máxima pré e pós treinamento e mudança percentual (média  $\pm$  DP).

| Variável   | Série simples (n = 11) |                   |                 | Séries múltiplas (n = 9) |                   |                 |
|--|------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------|
|  | Pré                    | Pós               | $\Delta\%$      | Pré                      | Pós               | $\Delta\%$      |
| 1-RM de extensão de joelho (kg)                    | 47,7 $\pm$ 15,0        | 61,1 $\pm$ 12,8** | 31,8 $\pm$ 20,5 | 46,6 $\pm$ 14,7          | 64,4 $\pm$ 20,0** | 38,3 $\pm$ 7,3  |
| 1-RM de flexão de cotovelo (kg)                    | 6,9 $\pm$ 1,5          | 8,5 $\pm$ 1,5**   | 25,1 $\pm$ 9,5  | 6,6 $\pm$ 0,6            | 8,4 $\pm$ 0,5**   | 26,6 $\pm$ 8,9  |
| Força isométrica máxima de membros inferiores (kg) | 69,5 $\pm$ 28,6        | 74,9 $\pm$ 25,3*  | 13,9 $\pm$ 19,3 | 63,7 $\pm$ 16,4          | 75,8 $\pm$ 16,1*  | 14,1 $\pm$ 10,7 |
| Força isométrica máxima de membros superiores (kg) | 17,3 $\pm$ 4,9         | 20,4 $\pm$ 4,5**  | 20,9 $\pm$ 17,5 | 17,7 $\pm$ 2,7           | 20,6 $\pm$ 3,6**  | 16,3 $\pm$ 9,8  |

1-RM: uma-repetição máxima; \* significativamente maior do que o valor pré ( $p \leq 0,05$ ); significativamente maior do que o valor pré treinamento (\*\*  $p \leq 0,001$ ).

### Força Isométrica Máxima

Na avaliação pré treinamento não foi observada diferença significativa entre os grupos com relação ao valor de força isométrica máxima dos membros inferiores e superiores ( $p > 0,05$ ). Um significativo efeito do tempo foi

observado na força isométrica máxima dos membros inferiores e superiores nos dois grupos. Com relação à força isométrica máxima dos membros inferiores, ambos os grupos apresentaram significativo incremento ( $p \leq 0,05$ ) após as 13 semanas de treinamento ( $13,9 \pm 19,3\%$  para o grupo SS e  $14,1 \pm 10,7\%$  para o grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ) (tabela 4). A força isométrica máxima dos membros superiores aumentou significativamente ( $p \leq 0,001$ ) em ambos os grupos no final do estudo ( $20,9 \pm 17,5\%$  para o grupo SS e  $16,3 \pm 9,8\%$  para o grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ) (tabela 4).

### Ativação EMG Máxima

No momento pré treinamento não foi observada diferença significativa entre os grupos com relação a ativação EMG máxima dos extensores de joelho e BB ( $p > 0,05$ ). Um significativo efeito do tempo foi observado para a ativação EMG máxima dos músculos VM e BB em ambos os grupos (tabela 5).

Após o período de treinamento, em ambos os grupos foi observado um aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) na ativação EMG máxima do músculo VM ( $27,9 \pm 40,2\%$  no grupo SS e  $22,3 \pm 37,0\%$  no grupo SM) e do músculo BB ( $24,7 \pm 53,9\%$  para o grupo SS e  $47,4 \pm 61,1\%$  para o grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 5.** Valores absolutos de ativação máxima dos extensores de joelho e flexores de cotovelo pré e pós treinamento e mudança percentual (média  $\pm$  DP).

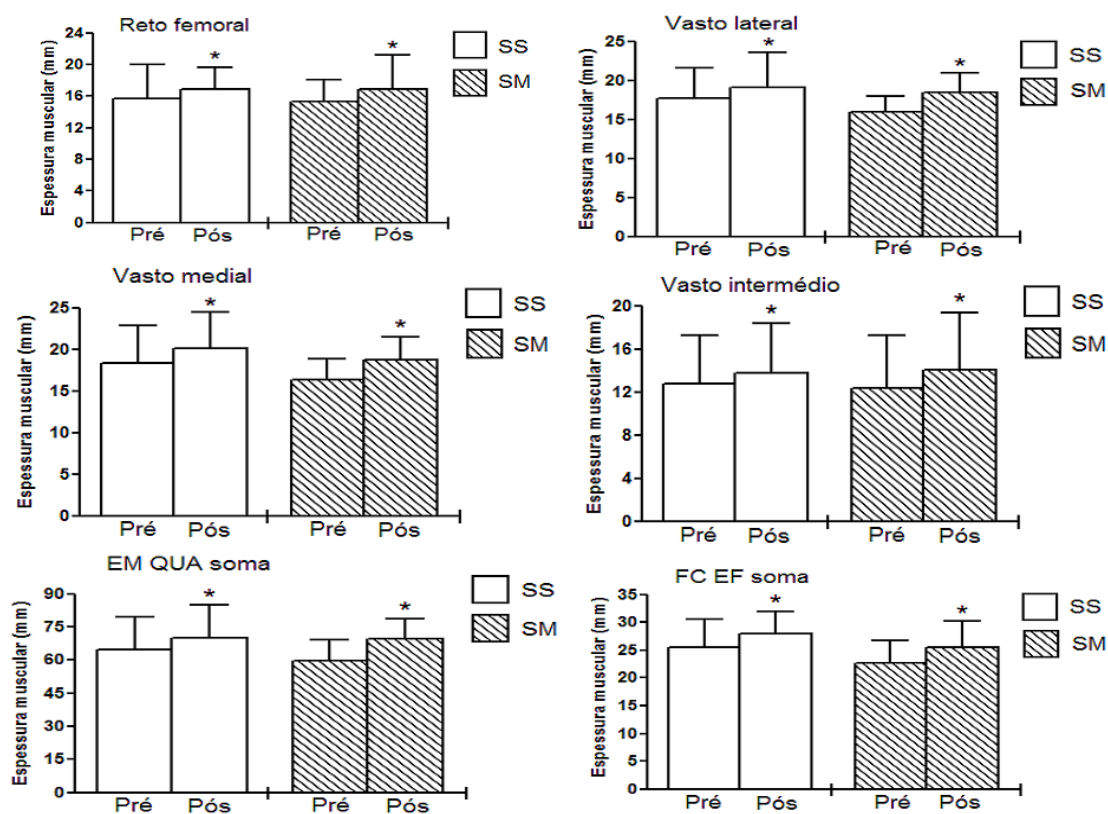
| Variável             | Série única (n = 11) |                    |                 | Séries múltiplas (n = 9) |                    |                 |
|----------------------|----------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|--------------------|-----------------|
|                      | Pré                  | Pós                | $\Delta\%$      | Pré                      | Pós                | $\Delta\%$      |
| Vasto lateral (mV)   | $0,115 \pm 0,05$     | $0,132 \pm 0,82$   | $15,1 \pm 36,7$ | $0,128 \pm 0,02$         | $0,132 \pm 0,06$   | $24,2 \pm 29,6$ |
| Reto femoral (mV)    | $0,066 \pm 0,03$     | $0,062 \pm 0,03$   | $34,3 \pm 58,7$ | $0,076 \pm 0,01$         | $0,088 \pm 0,01$   | $43,2 \pm 45,4$ |
| Vasto medial (mV)    | $0,091 \pm 0,31$     | $0,112 \pm 0,04^*$ | $27,9 \pm 40,2$ | $0,106 \pm 0,06$         | $0,124 \pm 0,06^*$ | $22,3 \pm 37,0$ |
| Bíceps braquial (mV) | $0,206 \pm 0,09$     | $0,254 \pm 0,18^*$ | $24,7 \pm 53,9$ | $0,368 \pm 0,22$         | $0,461 \pm 0,27^*$ | $47,4 \pm 61,6$ |

mV: milivolt; \* significativamente maior do que o valor pré treinamento ( $p \leq 0,05$ ).

## Espessura Muscular

No momento pré treinamento não foi observada diferença significativa entre os grupos com relação a EM dos extensores de joelho e flexores de cotovelo ( $p > 0,05$ ). Um significativo efeito do tempo foi observado sobre a EM dos extensores de joelho, EM QUA<sub>soma</sub> e EM FC<sub>soma</sub> ( $p \leq 0,001$ ) em ambos os grupos após o período de treinamento.

Após as 13 semanas de treinamento, ambos os grupos aumentaram similarmente e significativamente ( $p \leq 0,001$ ) os valores de EM do músculo RF ( $8,3 \pm 6,5\%$  no grupo SS e  $10,9 \pm 6,2\%$  no grupo SM), VL ( $7,9 \pm 5,9\%$  no grupo SS e  $13,2 \pm 4,6\%$  no grupo SM), VM ( $10,5 \pm 8,1\%$  no grupo SS e  $14,9 \pm 6,1\%$  no grupo SM), VI ( $9,0 \pm 7,1\%$  no grupo SS e  $14,6 \pm 2,1\%$  no grupo SM) e EM QUA<sub>soma</sub> ( $8,6 \pm 2,0\%$  no grupo SM e  $14,3 \pm 4,1\%$  no grupo SM) (figura 8). Além disso, ambos os grupos incrementaram significativamente ( $p \leq 0,001$ ) a EM FC<sub>soma</sub> após o treinamento ( $11,2 \pm 6,0\%$  no grupo SS e  $12,5 \pm 5,6\%$  no grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ) (figura 9).



**Figura 9.** Valores absolutos (média  $\pm$  DP) de espessura muscular (mm) dos músculos do quadríceps, EM QUA<sub>soma</sub> e EM FC<sub>soma</sub> antes e após 13 semanas de treinamento; \* significativamente maior do que o valor pré ( $p \leq 0,001$ ).

## Qualidade muscular

No momento pré treinamento não foi observada diferença significativa entre os grupos com relação a  $QM_{TE}$ ,  $QM_{EA}$  e  $QM_{EI}$  ( $p > 0,05$ ). Significativo efeito do tempo foi observado para ambos os grupos em todas as formas de QM avaliadas ( $p \leq 0,001$ ) (tabela 6). Ambos os grupos demonstraram significativo incremento ( $p \leq 0,001$ ) na  $QM_{TE}$  ( $22,2 \pm 18,1\%$  no grupo SS e  $20,8 \pm 19,5\%$  no grupo SM) e na  $QM_{EA}$  ( $25,6 \pm 18,8\%$  no grupo SS e  $26,3 \pm 8,5\%$  no grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ). Do mesmo modo, os dois grupos apresentaram significativo incremento ( $p \leq 0,01$ ) na  $QM_{EI}$  após o período de treinamento ( $12,0 \pm 9,9\%$  no grupo SS e  $20,9 \pm 9,2\%$  no grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 6.** Valores absolutos e mudança percentual da qualidade muscular ( $\Delta\%$ ) após 13 semanas de treinamento (média  $\pm$  DP).

| Variável  | Série simples (SS, n=11) |                  |                      | Séries múltiplas (SM, n=9) |                  |                      |
|-----------|--------------------------|------------------|----------------------|----------------------------|------------------|----------------------|
|           | Pré                      | Pós              | $\Delta\%$           | Pré                        | Pós              | $\Delta\%$           |
| $MQ_{TE}$ | $0,75 \pm 0,19$          | $0,89 \pm 0,15$  | $22,2 \pm 18,1^{**}$ | $0,77 \pm 0,22$            | $0,94 \pm 0,26$  | $20,8 \pm 19,5^{**}$ |
| $MQ_{EA}$ | $2,93 \pm 0,71$          | $3,57 \pm 0,54$  | $25,6 \pm 18,8^{**}$ | $2,98 \pm 0,87$            | $3,76 \pm 1,08$  | $26,3 \pm 8,5^{**}$  |
| $MQ_{EI}$ | $141,3 \pm 17,0$         | $123,3 \pm 12,7$ | $12,0 \pm 9,9^*$     | $141,3 \pm 20,4$           | $110,4 \pm 16,3$ | $20,9 \pm 9,2^*$     |

$QM_{TE}$ : 1-RM unilateral de extensão de joelho (KG) / EM  $QUA_{soma}$  (mm);  $QM_{EA}$ : 1-RM unilateral de extensão de joelho (KG) / EM  $QUA_{soma}$  (mm)<sup>0,67</sup>;  $QM_{EI}$ : qualidade muscular avaliada usando *echo intensity*; \*  $p \leq 0,01$  significativamente diferente dos valores pré; \*\*  $p \leq 0,001$  significativamente diferente dos valores pré.

## Discussão

Os principais achados desse capítulo foram que séries simples e séries múltiplas promoveram similar incremento na força dinâmica e isométrica

máxima, na ativação muscular e na EM dos músculos dos membros inferiores e superiores. Além disso, ambos os volumes de treinamento promoveram similar melhora na  $QM_{TE}$ ,  $QM_{EA}$  e  $QM_{EI}$ .

O aumento na produção da força resultante de um programa de treinamento de força está relacionado a vários mecanismos: adaptações supraespinais (FALVO *et al.*, 2010), mudanças na taxa máxima de descarga das unidades motoras (KAMEN e KNIGHT, 2004), e mudanças estruturais nos músculos tanto em níveis macro, como em nível das fibras musculares (Frontera, Hughes *et al.*, 2003). Os resultados sugerem que durante os três primeiros meses de treinamento (13 semanas), um pequeno e um grande volume de TF podem produzir similares estímulos sobre os mecanismos relacionados aos ganhos de força em mulheres idosas. Na literatura pesquisada, existem apenas dois estudos comparando o efeito de série simples e séries múltiplas nos ganhos de força de sujeitos idosos. Cannon e Marino (2010), após 10 semanas de treinamento, encontraram que série simples e séries múltiplas induziram similar aumento no valor de 1-RM de extensão de joelho (27,8% grupo série simples e 24,7% grupo séries múltiplas) e na força isométrica máxima de extensão de joelho (18,6% grupo série simples e 17,4% grupo séries múltiplas). De encontro a esses resultados, Galvão e Taaffe (2005) observaram maior incremento com séries múltiplas no valor de 1-RM de flexão de cotovelo (39,9% grupo série simples e 60% grupo séries múltiplas) e no 1-RM de extensão de joelho (20,8% série simples e 30,9% séries múltiplas). Contudo, ambos os volumes produziram ganhos similares na força isométrica máxima de extensão de joelho (6,3% grupo série simples e 20,9% grupo séries múltiplas). Diferentemente do presente estudo, os grupos de treinamento desses estudos não foram formados exclusivamente por mulheres idosas (Cannon e Marino usaram mulheres jovens e idosas e Galvão e Taaffe usaram homens e mulheres idosas). Essa diferença torna a comparação com os resultados encontrados nesse capítulo difícil, pois os ganhos de força decorrentes de um período de treinamento de força podem ser diferentes para homens e mulheres idosas (IVEY *et al.*, 2000; BENEKA *et al.*, 2005), e para mulheres jovens e idosas (IVEY *et al.*, 2000; LEMMER *et al.*, 2000). Mesmo assim, os resultados desse capítulo, e os achados desses estudos com relação aos ganhos de força dinâmica (1-RM), podem sugerir que



durante os três meses iniciais de treinamento, mulheres idosas podem significativamente aumentar a sua força dinâmica máxima de membros inferiores e superiores apenas com uma série simples. Contudo, após períodos longos de treinamento alguns grupos musculares, assim como os extensores de joelho, podem necessitar de um volume de treinamento maior para promover ganhos adicionais de força, enquanto que outros grupos musculares, assim como os flexores de cotovelo, podem ainda mostrar grandes ganhos de força com série simples (STARKEY *et al.*, 1996; BOTTARO *et al.*, 2011). Com relação aos ganhos de força isométrica, série simples e séries múltiplas parecem promover similares ganhos de força nos membros superiores e inferiores independentemente da duração do período de treinamento. Entretanto, mais estudos são necessários para elucidar possíveis mecanismos para essa diferença.

Os resultados demonstraram que ambos os grupos, SS e SM, significativamente aumentaram a ativação EMG máxima do BB e VM, sem diferença entre os grupos. Esse aumento na ativação EMG máxima está relacionado a um controle neural agonista causado por aumento no recrutamento de unidades motoras e na taxa de disparos dos potenciais de ação, bem como na sincronização do recrutamento de unidades motoras (AAGAARD, 2003). A observação de que no quadríceps, apenas a ativação EMG máxima do músculo VM foi alterada significativamente, corrobora com o diferencial efeito do treinamento de força sobre cada componente do quadríceps (RABITA *et al.*, 2000). Poucos estudos analisaram o efeito do volume de treinamento sobre a ativação EMG máxima. Cannon e Marino (2010) observaram que série simples e séries múltiplas induziram similar aumento na ativação EMG máxima do quadríceps (RMS do quadríceps calculado a partir da média do valor RMS do músculo VL e VM). Em outro estudo, McBride *et al.* (2003) examinaram o efeito de 12 semanas de treinamento com série simples (uma série) e séries múltiplas (seis séries) na atividade EMG dos músculos BB e VM de homens jovens durante a execução do teste de 1-RM de flexão de cotovelo e extensão de joelho, respectivamente. Após 12 semanas, os autores não observaram significativas mudanças na atividade EMG em nenhum grupo. Os resultados do presente capítulo corroboram com a informação de que significativa adaptação neural em

mulheres idosas pode ser obtida a partir da utilização de um pequeno volume de treinamento de força (CANNON e MARINO, 2010).

A ultrassonografia em B-modo é um método altamente reprodutível para mensurar a hipertrofia muscular em resposta a um programa de treinamento de força, principalmente quando a avaliação é realizada pelo mesmo avaliador (ABE *et al.*, 2000). Embora indivíduos idosos percam massa muscular com o processo de envelhecimento (sarcopenia), eles retêm a capacidade de hipertrofia muscular (AAGAARD *et al.*, 2010). Na literatura pesquisada, foi encontrado apenas um estudo comparando o efeito de série simples e séries múltiplas na hipertrofia muscular dos membros superiores de idosos. Contudo, os resultados desse capítulo corroboram com os achados de estudos prévios com indivíduos jovens, que observaram que série simples e séries múltiplas, levam a desenvolvimento de hipertrofia muscular em similar magnitude nos músculos dos membros superiores. Ronnestad *et al.* (2007) encontraram que homens jovens que treinaram por 11 semanas com série simples e com séries múltiplas obtiveram significativa e similar hipertrofia no músculo trapézio ( $13,9 \pm 2,5\%$  grupo série simples e  $9,7 \pm 1,4\%$  grupo séries múltiplas). Em um estudo similar, Bottaro *et al.* (2011), após 12 semanas de treinamento, também observaram que série simples e séries múltiplas aumentaram significativamente a EM dos flexores de cotovelo de homens jovens ( $7,2\%$  grupo séries simples e  $5,9\%$  grupo séries múltiplas), sem diferença entre os aumentos. O resultado do corrente capítulo a respeito do aumento da EM dos flexores de cotovelo confirma a hipótese de que um pequeno volume de treinamento por sessão é tão eficiente quanto um grande volume para promover a hipertrofia muscular nos membros inferiores de indivíduos idosos (RONNESTAD *et al.*, 2007). Existe uma grande quantidade de estudos analisando o efeito do volume de treinamento na hipertrofia muscular dos músculos dos membros inferiores de sujeitos jovens, entretanto os resultados são inconscientes. Ronnestad *et al.* (2007) observaram que a área de secção transversa (AST) do quadríceps teve um aumento significativamente maior no grupo de séries múltiplas comparado com o grupo de série simples (11% e 7%, respectivamente). Recentemente, Hanssen *et al.* (2012) observaram que séries múltiplas promoveram adicionais ganhos na AST do quadríceps do que série simples ( $12,0 \pm 2,0\%$  grupo séries múltiplas e  $8,0 \pm 2,0\%$  grupo série simples).

Além disso, eles observaram que o número de células satélites no músculo VL, variável a qual tem forte relação com a hipertrofia muscular, aumentou significativamente mais no grupo de séries múltiplas ( $14,0 \pm 7,0\%$  grupo série simples e  $37,0 \pm 7,0\%$  grupo séries múltiplas). Contrastando com esses estudos, Starkey et al. (1996) observaram após 14 semanas de treinamento, um pequeno e similar aumento na EM do quadríceps, avaliada em 60% e 40% do comprimento da perna, entre os grupos que treinaram com série simples e com séries múltiplas. Existe apenas um estudo comparando o efeito do volume de treinamento na hipertrofia muscular dos músculos dos membros inferiores de indivíduos idosos. Cannon e Marino (2010) observaram que após 10 semanas de treinamento, série simples e séries múltiplas, produziram similar aumento no volume muscular do quadríceps de mulheres idosas ( $7,8 \pm 2,0\%$  grupo série simples e  $9,6 \pm 2,8\%$  grupo séries múltiplas). No entanto, uma comparação mais detalhada entre os resultados desse capítulo e do estudo de Cannon e Marino são difíceis devido as diferenças entre os grupos de treinamento (presente estudo apenas mulheres idosas e no estudo de Cannon e Marino mulheres jovens e idosas). A hipertrofia muscular nos membros inferiores e superiores de mulheres idosas, pode estar associada a diferentes eventos como redução nos níveis de marcadores inflamatórios como algumas citocinas (interleucina-6, fator- $\alpha$  de necrose tumoral e proteína-C reativa)(OGAWA *et al.*, 2010) e um aumento na quantidade de células satélites nas fibras do tipo II (VERDIJK *et al.*, 2009). Nesse estudo não foi avaliada nenhuma das variáveis previamente citadas; contudo, os resultados sugerem que série simples e séries múltiplas em mulheres idosas podem elicitar similares respostas nessas variáveis durante os três primeiros meses de treinamento. Assim, séries adicionais podem não promoverem uma maior hipertrofia muscular.

Após as 13 semanas de treinamento ambos os grupos mostraram significativo incremento na  $QM_{TE}$ ,  $QM_{EA}$  e  $QM_{EI}$ , sem diferença entre os grupos em nenhuma das três variáveis. Os correntes resultados são importantes porque eles sugerem que mulheres idosas podem significativamente melhorar a QM dos membros inferiores utilizando um pequeno volume de treinamento de força. Existem vários estudos mostrando melhoras na QM após um período de treinamento de força (TRACY *et al.*, 1999; IVEY *et al.*, 2000); contudo esse

estudo é o primeiro a comparar os efeitos de diferentes volumes de treinamento sobre a  $QM_{EA}$  e a  $QM_{EI}$ . Embora  $QM_{TE}$ ,  $QM_{EA}$  e  $QM_{EI}$  sejam todas as formas de avaliar a qualidade muscular, a melhora em cada uma pode estar relacionada a diferentes mecanismos. Melhoras na  $QM_{TE}$  e na  $QM_{EA}$  parecem ocorrer pelas seguintes razões: adaptação neural, assim como aumento no recrutamento de unidades motoras, aumento na taxa de disparos de potenciais de ação e decréscimo na ativação da musculatura antagonista (AAGAARD, 2003); ou alterações na arquitetura muscular. Nesse estudo ambos os grupos demonstraram significativa hipertrofia muscular e aumento na ativação EMG máxima, os quais podem estar associados à melhora na  $QM_{TE}$  e  $QM_{EA}$ . Assim, esse resultado reitera a ideia de que a  $QM_{TE}$  pode ser um melhor indicador da função muscular do que apenas o valor de força muscular (DUTTA *et al.*, 1997). Enquanto que melhoras na  $QM_{TE}$  e na  $QM_{EA}$  devem ocorrer em razão de alterações neuromusculares, a melhora na  $QM_{EI}$  pode ser relacionada a mudanças na composição corporal. Prévios estudos têm sugerido que o aumento na *echo intensity* dos membros inferiores decorrente do envelhecimento é causado por aumento na quantidade de gordura e de tecido fibroso (ARTS *et al.*, 2010). O acúmulo de gordura nos músculos dos membros inferiores é prejudicial, pois pode interferir negativamente no controle glicêmico nos indivíduos idosos, e aumentar a exposição a fatores metabólicos de risco e a disfunções metabólicas como a diabetes do tipo II (GOODPASTER *et al.*, 2003). Estudos anteriores já observaram diminuição na quantidade relativa de gordura intramuscular e aumento da  $QM_{EI}$  após um período de treinamento de força (SIPILÄ e SUOMINEN, 1994; 1996). O resultado desse capítulo corrobora com esse estudo. Além disso, os correntes achados demonstraram que série simples e séries múltiplas foram similarmente efetivos em melhorar a  $QM_{EI}$  dos membros inferiores. Adicionalmente, essa melhora na composição muscular pode ter afetado positivamente o ganho de força dinâmico, pois o acúmulo de gordura intermuscular e intramuscular nos músculos extensores de joelho estão associados com baixo desempenho na função muscular dos membros inferiores (VISSER *et al.*, 2002).

## **Conclusão**

Em resumo, os resultados desse capítulo demonstraram que 13 semanas de treinamento de força, com série simples e séries múltiplas, promoveram ganhos similares no 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo e na força isométrica máxima dos membros inferiores e superiores, bem como na QM dos membros inferiores de mulheres idosas. Esses resultados têm importantes aplicações práticas, porque indicam que um pequeno volume de treinamento, ameniza até certo grau alguns dos prejuízos do processo de envelhecimento na mesma magnitude do que um grande volume de treinamento durante o três primeiros meses de treinamento.

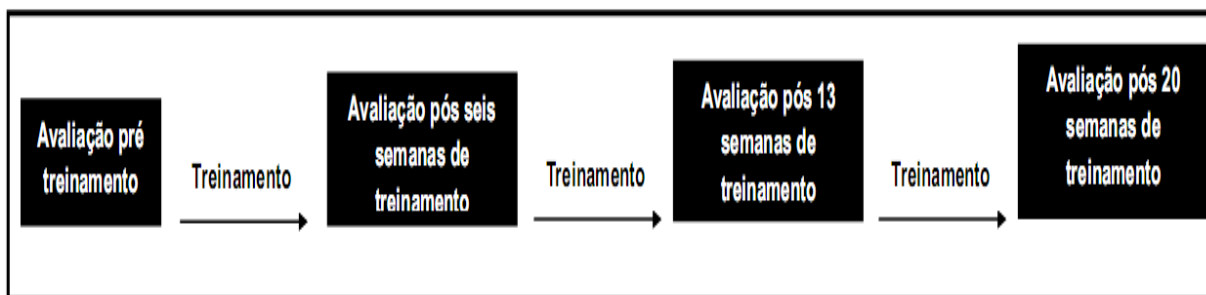
## CAPÍTULO IV

### EFEITO DE SÉRIE SIMPLES E SÉRIES MÚLTIPLAS NAS ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES DE MEMBROS INFERIORES E SUPERIORES E NA QUALIDADE MUSCULAR DE MEMBROS INFERIORES DE MULHERES IDOSAS APÓS 6, 13 E 20 SEMANAS DE TREINAMENTO.

#### Objetivo

O objetivo deste capítulo foi comparar em mulheres idosas o efeito de 6, 13 e 20 semanas de treinamento de força com série simples e séries múltiplas no aumento do valor de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo, na força isométrica máxima e na ativação EMG máxima de membros inferiores e superiores, na EM dos extensores de joelho e flexores de cotovelo, bem como na  $QM_{EI}$  dos membros inferiores.

#### Desenho Experimental



**Figura 10.** Desenho experimental do estudo relacionado ao Capítulo IV.

#### Delineamento da pesquisa

O presente capítulo apresenta desenho semi-experimental, com amostra selecionada voluntariamente e distribuição dos grupos de maneira intencional simples a partir do valor de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo.

## **Definição operacional das variáveis**

### **Variáveis independentes**

Dois grupos de treinamento de força:

- Programa de treinamento com série simples.
- Programa de treinamento com séries múltiplas.

### **Variáveis dependentes**

- 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo.
- Força isométrica máxima dos membros inferiores e superiores.
- Ativação eletromiográfica muscular máxima dos músculos dos membros superiores e inferiores.
- EM dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo.
- $QM_{EI}$  do músculo reto femoral.

## **Métodos**

### **Sujeitos**

A amostra do capítulo IV foi composta por 20 mulheres idosas com idade entre 60 e 74 anos que se voluntariaram para esse estudo, e não praticavam nenhum treinamento de força sistemático por pelo menos três meses anterior ao início estudo. As participantes foram divididas em dois grupos de treinamento: Grupo SS (n=11;  $64,6 \pm 3,1$  anos;  $66,4 \pm 5,1$  kg;  $162,9 \pm 5,8$  cm) e grupo SM (n=9;  $63,9 \pm 2,3$  anos;  $64,1 \pm 7,2$  kg;  $163,2 \pm 4,9$  cm). Todas as mulheres eram pós menopáusicas, não fumantes, não apresentavam doenças

cardiovasculares e metabólicas. Foram excluídas do estudo as mulheres que apresentaram alguma limitação musculoesquelética que as impedisse de realizar os exercícios. Todos os sujeitos foram cuidadosamente informados sobre o objetivo do estudo, benefícios e possíveis riscos do estudo. Em seguida assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO 1) consentindo em participar do estudo. Todos os sujeitos completaram 95% das sessões de treinamento e não tiveram três faltas consecutivas ao longo do treinamento. Todos os procedimentos do presente estudos foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (nº19322).

### **Cronograma do Treinamento**

O programa de treinamento teve uma duração de 20 semanas, contabilizando um total de 40 sessões de treinamento, sendo que os sujeitos realizaram duas sessões de treinamento por semana em dias não consecutivos. Ambos os grupos, SS e SM, realizaram os seguintes exercícios na seguinte ordem: *leg press*, flexão de cotovelo, extensão de joelho, puxada, flexão de joelho, extensão de cotovelo, supino reto, abdução e adução de quadril e abdominal. Os grupos treinaram com procedimentos iguais durante o período do estudo, apenas diferindo no número de séries, o grupo SS realizou uma série em cada exercício, enquanto que o grupo SM realizou três séries em cada exercício. Para o grupo SM foi permitido um intervalo de 2 minutos entre cada série.

A intensidade do treinamento foi controlada utilizando RM e foi escolhida de acordo com recomendações prévias (GARBER *et al.*, 2011). Durante as seis primeiras semanas de treinamento os sujeitos realizaram 15-20 RM; durante as semanas 7-10 os grupos treinaram com 12-15 RM; e durante as semanas 11-13 os grupos treinaram com 10-12 RM; nas semanas 14-17 os grupos realizaram o treino com 8-10 RM; nas últimas três semanas (18-20) os grupos usaram de 6-8 RM. A carga de treinamento foi aumentada em 2,0 a 5,0 kg para a próxima sessão quando algum sujeito foi capaz de realizar mais repetições do que prescrito. Os sujeitos foram instruídos a realizar em 2 segundos a fase concêntrica e em 2 segundos a fase excêntrica do movimento. Todas as



sessões foram supervisionadas por pelo menos dois investigadores experientes sessões. Durante o período de treinamento os sujeitos foram instruídos a não alterar drasticamente a sua rotina diária de atividade física e a sua dieta alimentar.

### **1-RM de Extensão de Joelho**

Os procedimentos do capítulo IV para a avaliação do 1-RM de extensão de joelho pré treinamento e após 6, após 13 e após 20 semanas de treinamento, os equipamentos utilizados e os procedimentos metodológicos tomados na avaliação foram os mesmos da avaliação do 1-RM de extensão joelho no capítulo II (pág 41).

O valor de 1-RM utilizado nas análises em cada momento do capítulo IV foi a maior carga que o sujeito conseguiu levantar apenas uma vez na amplitude de movimento máxima e com a cadência adequada. O valor de 1-RM de todos os sujeitos foi determinado entre 3-5 tentativas. Entre cada tentativa foi permitido um período de recuperação de 3 minutos. A reprodutibilidade teste-reteste do 1-RM de extensão de joelho foi de 0,96. O teste de um 1-RM pré treinamento e após 6, após 13 e após 20 semanas de treinamento foi realizado sempre pelo mesmo avaliador utilizando o mesmo ajuste sujeito/equipamento.

### **1-RM de Flexão de Cotovelo**

Os procedimentos do capítulo IV para a avaliação do 1-RM de flexão de cotovelo no momento pré treinamento e após 6, após 13 e após 20 semanas de treinamento e os equipamentos utilizados foram os mesmos para a avaliação do 1-RM de flexão de cotovelo no capítulo II (pág 42).

Para este capítulo IV, o valor de 1-RM utilizado nas análises de cada momento também foi a maior carga que o sujeito conseguiu levantar somente uma vez, na amplitude de movimento máxima e com a cadência adequada. O valor de 1-RM de todos os sujeitos foi determinado entre 3-5 tentativas. Entre

cada tentativa foi permitido um período de recuperação de 3 minutos. A reprodutibilidade teste-reteste do 1-RM de flexão de cotovelo foi de 0,90. O teste de 1-RM pré treinamento, após 6, após 13 e após 20 semanas de treinamento foi realizado sempre pelo mesmo avaliador utilizando o mesmo ajuste sujeito/equipamento.

### **Força Isométrica Máxima dos Membros Inferiores**

A força isométrica máxima de membros inferiores no capítulo IV no momento pré treinamento e após 6, 13 e 20 semanas, foi avaliada empregando a mesma metodologia e utilizando os mesmos equipamentos do capítulo II para a avaliação da força isométrica máxima dos membros inferiores (pág 43).

Todas as curvas força-tempo de cada momento foram digitalizadas e analisadas usando o programa SAD32. A CIVM de maior valor (kg) em cada momento foi utilizada.

### **Força Isométrica Máxima dos Membros Superiores**

A metodologia e os equipamentos utilizados para a avaliação da força isométrica máxima dos membros superiores no capítulo IV foram os mesmos da avaliação da força isométrica máxima dos membros superiores do capítulo II (pág 47).

As curvas força-tempo da força isométrica máxima dos membros superiores, de cada momento, foram digitalizadas e analisadas usando o programa SAD32 (desenvolvido pela escola de Engenharia da UFRGS). A CIVM de maior valor (kg) em cada momento foi utilizada.

### **Ativação Eletromiográfica Máxima dos Membros Inferiores e Superiores**

A ativação EMG dos músculos extensores de joelho (VL, RF e VM) e do flexor de cotovelo (BB), no momento pré treinamento e após 6, após 13 e após

20 semanas de treinamento, foram obtidas empregando a metodologia e utilizando os mesmos equipamentos do capítulo II para a aquisição da EMG máxima (pág 46 e pág 47).

A análise dos sinais EMGs obtidos em cada momento foi realizada utilizando o programa SAD32. O sinal EMG do músculo VL, RF, VM e BB referente a curva força-tempo de maior valor foi filtrado, usando o filtro passa-banda Butterworth de 5ª ordem, com frequência de corte entre 20 e 500 Hz. Após a filtragem do sinal EMG, o janelamento de segundo foi feito no sinal usando como referência o platô da curva força-tempo de maior valor e então o valor de RMS de cada músculo foi obtido. Nos membros inferiores a média entre os valores RMS dos músculos VL, RF e VM foi calculada para observar o comportamento global do grupo muscular do quadríceps ( $QUA_{EMG}$ ).

### **Espessura Muscular dos Membros Inferiores e Superiores**

Para a avaliação da EM dos músculos extensores VL, VI, VM e RF e dos músculos flexores de cotovelo BB e BR no momento pré treinamento e após 6, 13 e 20 semanas de treinamento, foi utilizada a metodologia descrita no capítulo II (pág 48). O coeficiente de variação da medida da EMs dos extensores de joelho e flexores de cotovelo foi menos do que 4%. A reprodutibilidade teste-reteste da avaliação da EMs dos extensores de joelho foi 0,95 para o VL, 0,93 para o RF, 0,90 para o VI e 0,85 para o VM e para os flexores de cotovelo foi de 0,89.

Após coletadas, todas as imagens foram digitalizadas e analisadas no programa Image-J (National Institutes of Health, EUA, Versão 1.37). A determinação das EMs seguiu a preposição de um estudo prévio (Abe, Dehoyos *et al.*, 2000). Para a determinação das EMs dos extensores de joelho foi utilizado a mesma metodologia descrita no capítulo II (pág 48). Após essa determinação das EMs, foi calculada a EM  $QUA_{soma}$ , a partir da soma das EMs dos músculos extensores de joelho (VL + VI + VM +RF) (CADORE *et al.*, 2012; RADAELLI *et al.*, 2013). A determinação das EMs dos flexores de cotovelo (FC) foi realizada utilizando a mesma metodologia descrita no capítulo II (pág

48). Após a determinação EM dos flexores de cotovelo foi calculada a EM  $FC_{\text{Soma}}$  a partir da soma da EM do BB e BR.

### **Qualidade Muscular**

A determinação da  $QM_{EI}$  no momento pré treinamento e após 6, após 13 e após 20 semanas de treinamento foi realizada de acordo com a metodologia descrita no capítulo III (pág 65). A reprodutibilidade teste-reteste da *echo intensity* foi 0,91. O valor de *echo intensity* utilizado em cada momento para as análises foi calculado a partir da média de três imagens.

### **Análise Estatística**

Todos os dados estão apresentados em média e desvio padrão (média  $\pm$  DP). As comparações dentro de cada grupo foram realizadas utilizando os valores absolutos (apresentado nas tabelas), enquanto que as comparações entre os grupos foram realizadas utilizando os valores de delta percentual (gráficos). A normalidade, homogeneidade e esfericidade dos dados foram testadas usando o teste de Shapiro-wilk, Levene e Mauchly, respectivamente. Após os dados apresentarem normalidade, homogeneidade e esfericidade ( $p > 0,05$ ), o teste ANOVA de modelo misto foi utilizado para analisar as diferenças entre os grupos ao longo do tempo (grupo x tempo). Quando um valor significativo de  $F$  foi observado, o teste *post hoc* de Bonferroni foi utilizado para localizar as diferenças entre as médias. Além disso, para identificar diferenças com relação ao momento pré treinamento dentro de cada grupo foi utilizado o teste ANOVA de uma via para medidas repetidas, com o *post hoc* de Bonferroni, quando um significativo valor de  $F$  foi observado no ANOVA de modelo misto. Todas as análises foram realizadas no programa SPSS 13.0, utilizando um nível de significância de  $p \leq 0,05$ .

## Resultados

### 1-RM de Extensão de joelho e Flexão de Cotovelo

No momento pré treinamento não foi observada diferença significativa entre os grupos com relação aos valores de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo ( $p > 0,05$ ). A ANOVA de duas vias mostrou ocorrer efeito do tempo para os dois grupos com relação aos valores de 1-RM de extensão de joelho e flexão de cotovelo ( $p \leq 0,001$ ) e significativo efeito do grupo apenas no 1-RM de extensão de joelho ( $p \leq 0,01$ ).

Ambos os grupos incrementaram significativamente os valores de 1-RM de extensão de joelho ( $p \leq 0,001$ ) após 6 semanas de treinamento ( $17,6 \pm 13,1\%$  no grupo SS e  $22,4 \pm 6,5\%$  no grupo SM), após 13 semanas ( $26,8 \pm 13,9\%$  no grupo SS e  $38,3 \pm 7,3\%$  no grupo SM) e após 20 semanas de treinamento ( $33,4 \pm 12,6\%$  no grupo SS e  $53,3 \pm 7,0\%$  no grupo SM) (tabela 7), enquanto que no momento pós 20 semanas o grupo SM apresentou incrementos significativamente maiores do que o grupo SS ( $p \leq 0,01$ ) (figura 10).

O valor de 1-RM de flexão de cotovelo incrementou significativamente ( $p \leq 0,001$ ) em ambos os grupo após 6 semanas ( $13,3 \pm 5,5\%$  no grupo SS e  $11,3 \pm 6,9\%$  no grupo SM), após 13 semanas ( $25,1 \pm 9,5\%$  no grupo SS e  $26,6 \pm 8,9\%$  no grupo SM) e após 20 semanas de treinamento ( $40,7 \pm 13,4\%$  no grupo SS e  $42,8 \pm 15,2\%$  no grupo SM) (tabela), sem diferença entre os grupos em qualquer momento ( $p > 0,05$ ) (figura 10).

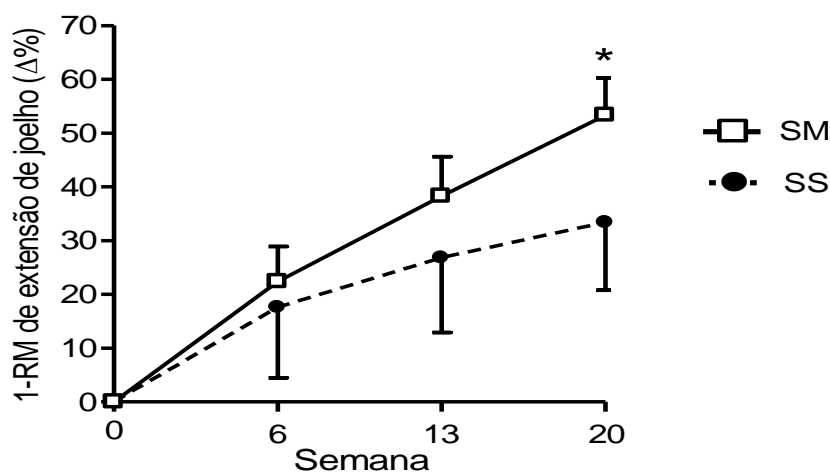
**Tabela 7.** Valores absolutos de força dinâmica máxima e força isométrica máxima pré treinamento, após 6, após 13 e após 20 semanas de treinamento (média  $\pm$  DP).

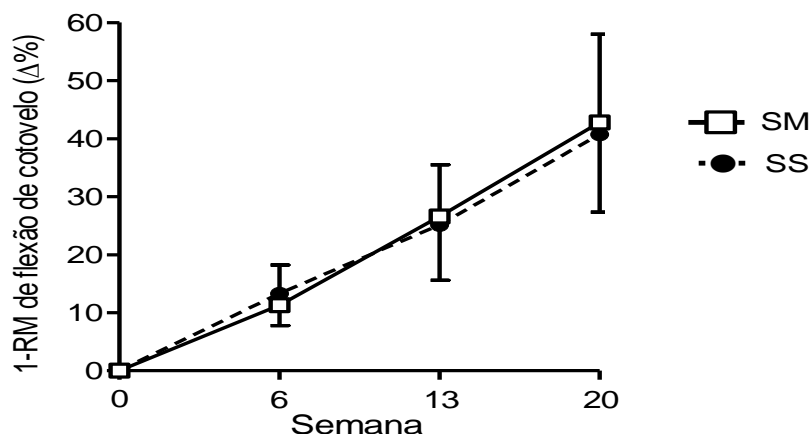
| Grupo       | 1-RM extensão de joelho (kg) |                  |                  |                  | 1-RM flexão de cotovelo (kg) |                |                |                |
|-------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|             | Pré                          | Pós 6            | Pós 13           | Pós 20           | Pré                          | Pós 6          | Pós 13         | Pós 20         |
| SS (n = 11) | 47,7 $\pm$ 15,0              | 55,5 $\pm$ 12,8* | 61,1 $\pm$ 12,8* | 64,5 $\pm$ 14,4* | 6,9 $\pm$ 1,5                | 7,8 $\pm$ 1,4* | 8,5 $\pm$ 1,5* | 9,6 $\pm$ 1,6* |
| SM (n = 9)  | 46,6 $\pm$ 14,7              | 56,8 $\pm$ 17,8* | 64,4 $\pm$ 20,0* | 70,8 $\pm$ 22,0* | 6,6 $\pm$ 0,6                | 7,4 $\pm$ 0,6* | 8,4 $\pm$ 0,5* | 9,4 $\pm$ 1,1* |

| Grupo       | Força isométrica máxima dos membros inferiores (kg) |                 |                 |                  | Força isométrica máxima dos membros superiores (kg) |                |                  |                 |
|-------------|---|-----------------|-----------------|------------------|---|----------------|------------------|-----------------|
|             | Pré   | Pós 6           | Pós 13          | Pós 20           | Pré   | Pós 6          | Pós 13           | Pós 20          |
| SS (n = 11) | 69,5 $\pm$ 28,6                                     | 66,8 $\pm$ 18,0 | 74,9 $\pm$ 25,3 | 78,3 $\pm$ 26,7* | 17,3 $\pm$ 4,9                                      | 18,6 $\pm$ 5,4 | 20,4 $\pm$ 4,5** | 20,5 $\pm$ 5,1* |
| SM (n = 9)  | 67,3 $\pm$ 16,4                                     | 68,6 $\pm$ 17,3 | 75,8 $\pm$ 16,1 | 78,5 $\pm$ 18,1* | 17,7 $\pm$ 2,7                                      | 18,5 $\pm$ 3,7 | 20,6 $\pm$ 3,6** | 20,2 $\pm$ 3,2* |

Significativamente diferente do valor pré (\* =  $p \leq 0,001$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ); 1-RM: uma-repetição máxima; SS: série simples; SM: séries múltiplas.





**Figura 11.** Mudanças relativas na força dinâmica máxima (1-RM) de extensão de joelho (acima) e flexão de cotovelo (abaixo) durante as 20 semanas de treinamento. Os valores estão apresentados em média e desvio padrão; SM: séries múltiplas; SS: série simples; \*: significativamente diferente do grupo SS ( $p \leq 0,01$ ).

### Força isométrica máxima

No momento pré treinamento não foi observada diferença significativa entre os grupos com relação a força isométrica máxima dos membros inferiores e superiores ( $p > 0,05$ ). Foi observado um significativo efeito do tempo em ambos os grupos com relação à força isométrica máxima dos membros inferiores e superiores ( $p \leq 0,001$ ), contudo não foi observado efeito do grupo ( $p \geq 0,05$ ).

Ao longo do estudo a força isométrica máxima dos membros inferiores em ambos os grupos aumentou significativamente ( $p \leq 0,001$ ) apenas no momento pós 20 ( $16,3 \pm 17,1\%$  grupo SS e  $18,5 \pm 17,6\%$  grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ) (tabela 7). Durante o treinamento a força isométrica máxima de membros superiores aumentou significativamente pós 13 semanas ( $20,9 \pm 17,5\%$  no grupo SS e  $16,3 \pm 9,8\%$  no grupo SM;  $p \leq 0,01$ ) e pós 20 semanas de treinamento ( $20,6 \pm 15,5\%$  no grupo SS e  $16,0 \pm 11,9\%$  no grupo SM;  $p \leq 0,001$ ), sem diferença entre os grupos em nenhum momento ( $p > 0,05$ ) (tabela 7).

### Ativação EMG Máxima

No momento pré treinamento, não foi observado diferença entre os grupos com relação a  $QUA_{EMG}$  e ativação do BB ( $p > 0,05$ ). Um significativo efeito do tempo ( $p \leq 0,05$ ), foi observado em ambos grupos com relação aos valores de  $QUA_{EMG}$  e ativação do BB, contudo não foi observado efeito do grupo ( $p > 0,05$ ).

Ambos os grupos demonstraram significativo incremento ( $p \leq 0,05$ ) na  $QUA_{EMG}$  apenas após 20 semanas de treinamento ( $35,8 \pm 10,1\%$  no grupo SS e  $29,4 \pm 15,4\%$  no grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ) (tabela 8). A ativação BB demonstrou significativo incremento ( $p \leq 0,05$ ) apenas no momento pós 20 semanas de treinamento ( $33,2 \pm 24,4\%$  no grupo SS e  $56,4 \pm 51,8\%$  no grupo SM), sem diferença entre os grupos ( $p > 0,05$ ) (tabela 8).

**Tabela 8.** Valores absolutos de ativação EMG máxima do quadríceps femoral e bíceps braquial pré, pós 6, pós 13 e pós 20 semanas de treinamento.

| Grupo       | $QUA_{EMG}$ (mV)  |                   |                   |                     |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
|             | Pré               | Pós 6             | Pós 13            | Pós 20              |
| SS (n = 11) | $0,088 \pm 0,049$ | $0,091 \pm 0,047$ | $0,089 \pm 0,039$ | $0,118 \pm 0,073^*$ |
| SM (n = 9)  | $0,088 \pm 0,039$ | $0,096 \pm 0,042$ | $0,099 \pm 0,038$ | $0,110 \pm 0,055^*$ |
| Grupo       | BB(mV)            |                   |                   |                     |
|             | Pré               | Pós 6             | Pós 13            | Pós 20              |
| SS (n = 11) | $0,206 \pm 0,096$ | $0,254 \pm 0,183$ | $0,255 \pm 0,157$ | $0,265 \pm 0,114^*$ |
| SM (n = 9)  | $0,368 \pm 0,223$ | $0,448 \pm 0,278$ | $0,510 \pm 0,266$ | $0,525 \pm 0,291^*$ |

\*significativamente diferente do valor pré treinamento ( $p \leq 0,05$ ); SS: séries simples; SM: séries múltiplas;  $QUA_{EMG}$ : média dos valores RMS do músculos VL, RF e VM; BB: bíceps braquial; mV: milivolts.

### Espessura Muscular dos Membros Inferiores e Superiores

No momento pré treinamento, não foi observada diferença entre os grupos com relação aos valores de EM  $QUA_{soma}$  e EM  $FC_{soma}$  ( $p > 0,05$ ). Em ambos os grupos foi observado significativo efeito do tempo na EM  $QUA_{soma}$  e



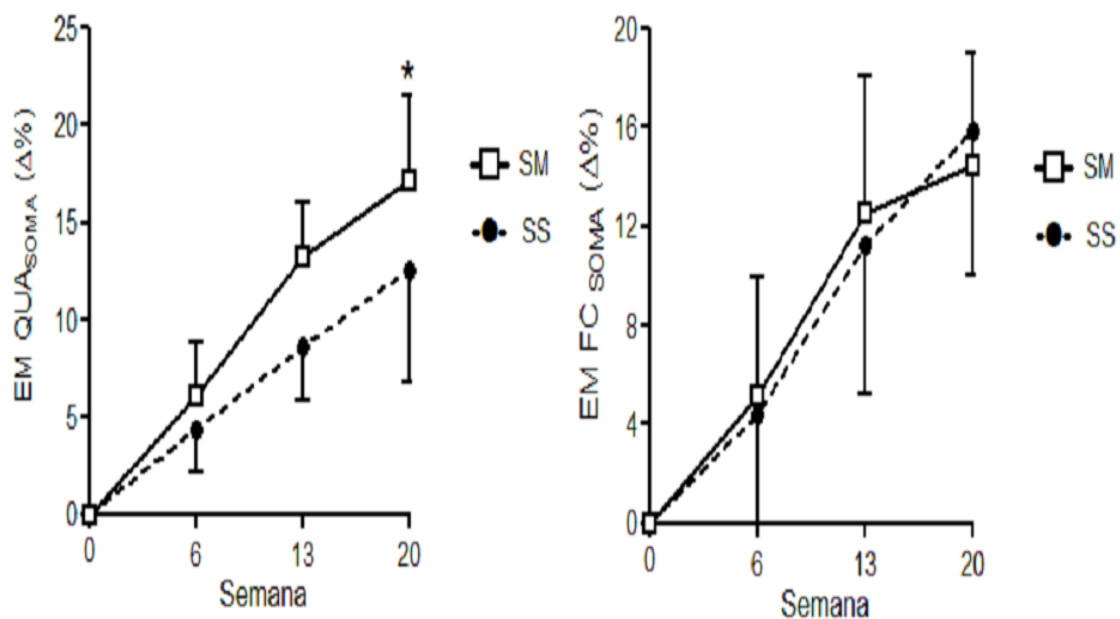
EM FC<sub>Soma</sub> ( $p \leq 0,001$ ), enquanto que efeito do grupo apenas foi observado na EM QUA<sub>Soma</sub> ( $p \leq 0,05$ ).

A EM QUA<sub>Soma</sub> significativamente aumentou ( $p \leq 0,001$ ) em ambos os grupos após 6 semanas ( $4,3 \pm 2,3\%$  no grupo SS e  $6,1 \pm 2,7\%$  no grupo SM), 13 semanas ( $8,6 \pm 2,8\%$  no grupo SS e  $13,1 \pm 2,8\%$  no grupo SM), e após 20 semanas de treinamento ( $12,6 \pm 5,8\%$  no grupo SS e  $17,2 \pm 4,3\%$  no grupo SM) (tabela 9). Sendo que, o grupo SM aumentou significativamente mais ( $p \leq 0,05$ ) a EM QUA<sub>Soma</sub> do que o grupo SS, após 20 semanas de treinamento (figura 12). A respeito da EM FC<sub>Soma</sub>, ambos os grupos também demonstraram significativo incremento ( $p \leq 0,001$ ) após 6 semanas ( $4,4 \pm 5,0\%$  no grupo SS e  $5,1 \pm 4,8\%$  no grupo SM), após 13 semanas ( $8,6 \pm 2,8\%$  no grupo SS e  $12,5 \pm 5,6\%$  no grupo SM), e após 20 semanas de treinamento ( $15,9 \pm 5,9\%$  no grupo SS e  $14,5 \pm 4,5\%$  no grupo SM) (tabela), sem diferença entre os grupos em nenhum momento ( $p > 0,05$ ) (figura 12).

**Tabela 9.** Valores absolutos de espessura muscular do quadríceps e dos flexores de cotovelo pré, pós 6, pós 13 e pós 20 semanas de treinamento (média $\pm$ DP).

| Grupo       | EM QUA <sub>SOMA</sub> (mm) |                  |                  |                  |
|-------------|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|
|             | Pré                         | Pós 6            | Pós 13           | Pós 20           |
| SS (n = 11) | 64,6 $\pm$ 18,4             | 67,0 $\pm$ 14,6* | 69,9 $\pm$ 15,2* | 72,3 $\pm$ 15,7* |
| SM (n = 9)  | 59,8 $\pm$ 9,5              | 63,5 $\pm$ 9,9*  | 67,7 $\pm$ 10,9* | 70,0 $\pm$ 10,8* |
| Grupo       | EM FC <sub>SOMA</sub> (mm)  |                  |                  |                  |
|             | Pré                         | Pós 6            | Pós 13           | Pós 20           |
| SS (n = 11) | 25,0 $\pm$ 5,0              | 26,0 $\pm$ 4,8*  | 27,9 $\pm$ 4,0*  | 29,7 $\pm$ 5,3*  |
| SM (n = 9)  | 22,7 $\pm$ 4,1              | 24,0 $\pm$ 5,1*  | 25,5 $\pm$ 4,7*  | 26,0 $\pm$ 4,5*  |

\* Significativamente diferente do valor pré treinamento ( $p \leq 0,001$ ); SS: série simples; SM: séries múltiplas; EM QUA<sub>SOMA</sub>: soma das EMs do quadríceps femoral (VL + VI + VM + RF); EM FC<sub>Soma</sub>: soma das EMs dos flexores de cotovelo (BB + BR).



**Figura 12.** Mudanças relativas na espessura muscular do quadríceps (esquerda) e dos flexores de cotovelo (direita) durante as 20 semanas de treinamento; Os valores estão apresentados em média e desvio padrão; EM QUA<sub>SOMA</sub>: soma das EMs do quadríceps femoral (VL + VI + VM + RF); EM FC<sub>SOMA</sub>: soma das EMs dos flexores de cotovelo (BB + BR); SM: séries múltiplas; SS: série simples; \* significativamente diferente do grupo SS ( $p \leq 0,01$ ).

### Qualidade Muscular

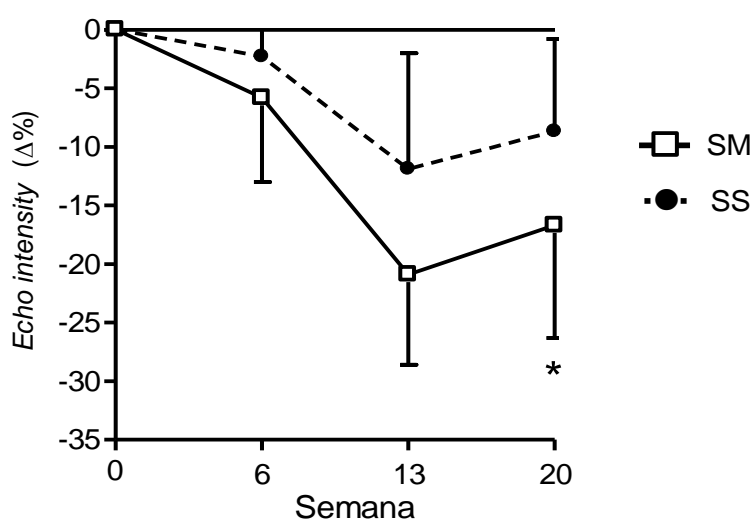
Antes do início do período de treinamento não foi observada diferença significativa entre os grupos com relação ao valor de  $QM_{EI}$  ( $p > 0,05$ ). Em ambos os grupos foi observado efeito do tempo sobre a  $QM_{EI}$  ( $p \leq 0,05$ ), e significativo efeito do grupo ( $p \leq 0,05$ ).

O valor da *echo intensity* significativamente diminuiu ( $p \leq 0,05$ ) em ambos os grupos após 13 semanas ( $-12,0 \pm 9,9\%$  no grupo SS e  $-20,9 \pm 7,1\%$  no grupo SM) e após 20 semanas de treinamento ( $-8,7 \pm 12,9\%$  no grupo SS e  $-16,7 \pm 8,6\%$  no grupo SM) (tabela 10). Além disso, o grupo SM no momento pós 20 semanas, demonstrou uma diminuição na *echo intensity* significativamente maior do que o grupo SS ( $p \leq 0,05$ ) (figura 12).

**Tabela 10.** Valores absolutos de *echo intensity* pré, pós 6, pós 13 e pós 20 semanas de treinamento (média  $\pm$  DP).

| Grupo       | <i>Echo intensity</i> (u.a) |                  |                   |                   |
|-------------|-----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|             | Pré                         | Pós 6            | Pós 13            | Pós 20            |
| SS (n = 11) | 141,3 $\pm$ 17,1            | 137,5 $\pm$ 14,7 | 123,3 $\pm$ 12,8* | 127,1 $\pm$ 8,8*  |
| SM (n = 9)  | 141,3 $\pm$ 20,4            | 136,5 $\pm$ 21,4 | 110,4 $\pm$ 16,3* | 119,4 $\pm$ 12,6* |

\* Significativamente diferente do valor pré treinamento ( $p \leq 0,05$ ); SS: série simples; SM: séries múltiplas.



**Figura 13.** Mudanças relativas no valor de *echo intensity* durante as 20 semanas de treinamento; Os valores estão apresentados em média e desvio padrão; SS: série simples; SM: séries múltiplas; \* significativamente diferentes do grupo SS ( $p \leq 0,05$ ).

## Discussão

Os principais achados desse capítulo foram que ambos os grupos, SS e SM, apresentaram similar aumento na força, massa muscular e ativação dos flexores de cotovelo durante todos os períodos do estudo. Contudo, o grupo

SM apresentou maiores ganhos na força, massa muscular e  $QM_{EI}$  após cinco meses de treinamento.

Os resultados a respeito dos ganhos de força no 1-RM de extensão de joelho estão de acordo com estudos prévios que investigaram os efeitos de série simples e séries múltiplas nos ganhos de força de indivíduos idosos (GALVÃO e TAAFFE, 2005; CANNON e MARINO, 2010). Do mesmo modo que nos resultados do presente capítulo, Cannon e Marino (2010), encontraram que após 10 semanas de treinamento, séries simples e séries múltiplas, produziram similar incremento no 1-RM de extensão de joelho de mulheres idosas (27,8% grupo série simples e 24,7% grupo séries múltiplas). Similarmente aos achados do corrente capítulo, Galvão e Taaffe (2010) observaram, após 20 semanas de treinamento, maiores incrementos no valor de 1-RM de extensão de joelho com séries múltiplas (20,8% grupo série simples e 38,9% grupo séries múltiplas). Recomendações prévias sobre o volume de treinamento (ACSM, 2009), sugerem que durante o período inicial de treinamento um baixo volume (série simples) pode ser adequado para induzir ganhos significativos na capacidade de produção de força e após o sujeito alcançar um condicionamento físico adequado um alto volume de treinamento (séries múltiplas) pode ser superior no desenvolvimento da força (FLECK e KRAEMER, 2004; ACSM, 2009), o que está de acordo com os correntes resultados relativos ao 1-RM de extensão de joelho. Nesse capítulo, na semana 13 as mulheres idosas possivelmente alcançaram um nível de condicionamento adequado nos músculos dos membros inferiores a respeito dos ganhos de força dinâmicos e o potencial para adaptação em resposta ao treinamento de força pode ter diminuído. Assim, um grande estímulo para a continuidade das altas taxas de ganhos foi necessário, o que pode explicar os ganhos significativamente maiores no grupo SM após 20 semanas de treinamento. Esse achado reforça a hipótese de que a variação no volume de treinamento após o período inicial é vital para melhoras no desempenho muscular (Marx *et al.*, 2001).

Relativo ao incremento no valor de 1-RM de flexão de cotovelo, os resultados não demonstraram diferença significativa entre os grupos em nenhum momento. Esse resultado não corrobora com recomendações prévias sobre o volume de treinamento e com o estudo de Galvão e Taffee (2005), que

observaram maiores ganhos com séries múltiplas no valor de 1-RM de flexão de cotovelo (39,9% grupo série simples e 60% grupo séries múltiplas). No estudo de Galvão e Taaffe (2005) os grupos de treinamento foram formados por homens e mulheres idosas e treinaram durante todo o período de estudo com uma intensidade de 8 RM, o que pode ter influenciado essa diferença entre os resultados. Usualmente, durante as atividades da vida diária os músculos dos membros superiores são expostos a um trabalho total menor do que os músculos dos membros inferiores (PAULSEN *et al.*, 2003), assim podem estar mais distantes do seu potencial genético. Portanto, podem apresentar significativos ganhos de força com um baixo volume de treinamento durante um curto e um longo período de treinamento.

Em contraste a força dinâmica máxima, os resultados relativos aos ganhos de força isométrica máxima demonstraram um diferente comportamento. Ambos os grupos aumentaram similarmente a força isométrica máxima nos membros inferiores e superiores no corrente estudo. Esses resultados estão de acordo com dois estudos prévios com indivíduos idosos (GALVÃO e TAAFFE, 2005; CANNON e MARINO, 2010). Nesses estudos os autores não observaram diferença entre série simples e séries múltiplas no incremento da força isométrica máxima. Contrações musculares isométricas e dinâmicas demonstram diferentes padrões neurais de atividade (NAKAZAWA *et al.*, 1993; PINCIVERO *et al.*, 2006), e diferenças no recrutamento de cada músculo que compõe os grupamentos musculares (PINCIVERO *et al.*, 2000), os quais podem ter provocado essa diferença entre os resultados de força dinâmica e isométrica.

Os ganhos de força após um período de treinamento são fortemente associados a adaptações neurais. Adaptações em nível central, como atividade aumentada dos neurônios no córtex motor primário decorrente do aumento na taxa de disparo dos neurônios corticoespinhais (ASHE, 1997), e em níveis supraespinhais têm um importante papel nos ganhos de força (Duchateau e Enoka, 2002). Além dessas, adaptações em níveis de unidades motoras como aumento na descarga máxima de potenciais de ação (CARROL *et al.*, 2011), diminuição no intervalo entre os disparos de potenciais de ação (*doublets*) (MACEFIELD *et al.*, 1996), e diminuição da variabilidade na taxa de disparo dos potenciais de ação (KNIGHT e KAMEN, 2004), também estão associados

com os ganhos de força. Neste capítulo, não foi observada alteração significativa na  $QUA_{EMG}$  e na ativação do BB após 6 e 13 semanas de treinamento, mesmo tendo sido observado ganhos significativos de força dinâmica nesses momentos. Mudanças em nível do córtex motor e supraespinhal, os quais podem não ser perceptíveis por eletromiografia de superfície, podem ser responsáveis pelos ganhos de força nesses momentos. Além disso, mudanças nos valores de RMS e ganhos de força nem sempre coincidem (HÄKKINEN *et al.*, 1987). Contudo, após 20 semanas, ambos os grupos apresentaram ganhos significativos na  $QUA_{EMG}$  e na ativação do BB. McBride *et al.* (2003), sugeriram que o uso de um grande volume poderia promover uma adaptação neural mais rápida em indivíduos jovens, no entanto os achados desse estudo suportam uma diferente hipótese para indivíduos idosos. Os resultados relativos ao capítulo IV, sugerem que série simples podem recuperar até certo grau a função muscular gradualmente perdida com o envelhecimento em mulheres idosas.

Com relação a EM  $QUA_{SOMA}$ , ambos os grupos demonstraram significativo e similar incremento após 6 e 13 semanas de treinamento; contudo, após 20 semanas de treinamento o grupo SM apresentou um incremento significativamente maior do que o grupo SS. Os resultados observados no momento pós 6 e pós 13 semanas estão de acordo com Cannon e Marino (2010), que após treinarem mulheres idosas por 10 semanas observaram que série simples e séries múltiplas produziram similar incremento no volume do quadríceps ( $7,8 \pm 2,0\%$  grupo série simples e  $9,6 \pm 2,8\%$  grupo séries múltiplas). Existem poucos trabalhos investigando o efeito do volume de treinamento na hipertrofia muscular após longos períodos de treinamento. O resultado do corrente capítulo relativo ao momento 20 semanas de treinamento está de acordo com o estudo de Kraemer *et al.* (2000), que observaram em mulheres jovens um maior aumento na massa magra no grupo de séries múltiplas comparado com o grupo de série simples, após 9 meses de treinamento, sendo que o ganho no grupo séries múltiplas começou a ser maior a partir do 4º mês de treinamento. A hipertrofia muscular está associada a vários mecanismos como atividade das células satélites, resposta hormonal, padrões de expressão gênica (Akt/mammalian target of rapamycin (mTOR) e

mitogen-activated protein kinase (mapk) (SCHOENFELD, 2010), e em mulheres idosas a hipertrofia muscular também está associada a redução nos níveis de citocinas e marcadores inflamatórios (TNF- $\alpha$  e Proteína C-Reativa) (OGAWA *et al.*, 2010). De acordo com os resultados referentes a esse capítulo IV, é possível sugerir que durante os estágios iniciais e até aproximadamente 3 meses de treinamento, séries simples e múltiplas podem produzir similar respostas sobre as variáveis relacionados com a hipertrofia muscular, contudo aproximadamente após cinco meses de treinamento séries múltiplas podem estar associadas a uma maior resposta sobre essas variáveis.

Em contraste aos dados da EM QUA<sub>SOMA</sub>, os achados a respeito da EM FC<sub>Soma</sub> demonstraram que ambos os grupos incrementaram significativamente em todos os momentos, sem diferença entre os grupos. Na literatura pesquisada não foram encontrados estudos comparando o efeito de série simples e séries múltiplas na hipertrofia muscular dos músculos dos membros superiores de mulheres idosas. O resultado a respeito da hipertrofia muscular nos membros superiores está de acordo com os achados de Ronnestad *et al.* (2007), onde série simples e séries múltiplas proporcionaram similar hipertrofia na AST do músculo trapézio de homens jovens após 11 semanas de treinamento ( $9,7 \pm 1,4\%$  grupo série simples e  $13,9 \pm 2,5\%$  grupo séries múltiplas). Também de acordo com o resultado do presente estudo, Hassen *et al.* (2012) treinaram homens jovens por 11 semanas, um grupo com série simples e outro com séries múltiplas, e analisaram após duas e 11 semanas de treinamento o número de células satélites no músculo trapézio, variável que pode facilitar a hipertrofia muscular e estar associada com a coexpressão de vários fatores de expressão gênica como Myf5, myogenin, MyoD e MRF4 (CORNELISON e WOLD, 1997). Os autores observaram que o número de células satélites aumentou significativamente em ambos os grupos, sem diferença entre eles, após duas semanas de treinamento e no final do estudo. Os músculos dos membros superiores durante as atividades da vida diária são utilizados em uma menor extensão do que os músculos dos membros inferiores (PAULSEN *et al.*, 2003; RONNESTAD *et al.*, 2007), assim o limiar de estímulo para induzir a hipertrofia muscular pode ser menor do que o limiar dos músculos dos membros inferiores. Portanto, um grande volume de treinamento

pode não ser necessário para induzir respostas significativas sobre as variáveis de hipertrofia muscular em mulheres idosas.

Indivíduos idosos apresentam redução na QM dos membros inferiores devido ao aumento na deposição de gordura intermuscular e intramuscular (REIMERS *et al.*, 1993), a qual está associada a pouca força na extensão de joelho e baixa velocidade de caminhada (SIPILÄ e SUOMINEN, 1994), grandes riscos de limitações de mobilidade (VISSER *et al.*, 2005) e risco de desenvolvimento de anormalidades metabólicas como diabetes tipo II (GOODPASTER *et al.*, 2003). No presente estudo, ambos os grupos reduziram significativamente os valores de *echo intensity* após 13 e 20 semanas de treinamento, de modo que no final do estudo o grupo SM apresentou um incremento significativamente maior na QM. Estudos prévios já observaram melhora na QM de indivíduos idosos após um período de atividade física; contudo, não são conhecidos trabalhos que tenham comparado o efeito do volume de treinamento na QM em diferentes períodos de treinamento. O resultado desse capítulo concorda com a informação de que a QM está relacionada com a função muscular (VISSER *et al.*, 2005), pois o grupo SM, o qual obteve maiores ganhos na QM após 20 semanas, também obteve ganhos significativamente maiores na força dinâmica máxima e na massa muscular, duas das variáveis mais importantes associadas à função muscular, após 20 semanas de treinamento (NARICI *et al.*, 2005). O mecanismo associado à melhora na QM ainda não está claro; no entanto, essa melhora pode estar associada à redução na quantidade de gordura intramuscular, já que altos valores de *echo intensity* estão fortemente associados com a quantidade de tecido adiposo (REIMERS *et al.*, 1993). A quantidade de gordura depositada dentro do músculo está fortemente associada com a insensibilidade à insulina por vias mediadas por citocinas específicas do tecido adiposo e influência direta da gordura intracelular sobre os receptores de insulina no tecido muscular (WEI *et al.*, 2008). Assim, a redução na *echo intensity* observada nos resultados via treinamento de força deve ter atenuado o efeito desses fatores associados ao acúmulo de gordura. De acordo com os resultados desse capítulo, durante o período inicial de treinamento e até três meses de treinamento série simples e séries múltiplas podem promover similar efeitos sobre as variáveis relacionadas ao acúmulo de gordura dentro do músculo;



contudo, em períodos maiores do que três meses de treinamento um programa formado por séries múltiplas pode ser mais eficiente em reduzir a quantidade de gordura intramuscular e aumentar a QM.

Em resumo os resultados desse capítulo apontam que série simples e séries múltiplas induzem similares incrementos na força máxima dinâmica e na massa muscular de membros superiores durante um curto e um longo período de treinamento. Com relação ao aumento na força dinâmica, na massa muscular e melhora na QM membros inferiores, série simples e séries múltiplas foram similarmente efetivos durante as semanas iniciais e até três meses de treinamento. No entanto, séries múltiplas foram mais eficientes após 20 semanas de treinamento. Esse resultado demonstra a importância da variação do volume de treinamento para os músculos dos membros inferiores em períodos mais longos de treinamento. Além disso, esses resultados também têm uma importante aplicação prática, pois demonstram que um programa de treinamento adequado para amenizar alguns efeitos do envelhecimento nos músculos dos membros inferiores podem ter diferentes periodizações.

## Considerações Finais

Esse estudo teve como objetivo responder se diferentes volumes de treinamento, séries simples e séries múltiplas, proporcionam diferentes efeitos sobre algumas das variáveis as quais são prejudicadas pelo processo de envelhecimento. Os principais achados desse estudo foram que:

- Durante as semanas iniciais e até aproximadamente três meses de treinamento, séries simples e séries múltiplas promoveram similar ganhos de força dinâmica máxima, de massa muscular e aumento na QM dos extensores de joelho.
- Após cinco meses de treinamento, séries múltiplas promoveram maiores ganhos na força máxima de extensão de joelho, na massa muscular e na QM dos extensores de joelho.
- Séries simples e séries múltiplas promoveram similar ganhos de força dinâmica máxima e de massa muscular nos flexores de cotovelo, independente do treinamento.

Esses resultados podem contribuir para uma melhor prescrição do treinamento de força para mulheres idosas, pois demonstraram que o efeito do volume do treinamento de força sobre os ganhos é dependente do grupo muscular e do tempo de treinamento. Além disso, também são necessários estudos com um desenho experimental semelhante ao presente estudo com outras populações (homens idosos, mulheres e homens jovens), para que se possa observar se nessas populações o efeito do volume do treinamento também é afetado pelo grupo muscular e pelo tempo de treinamento.

## Referências Bibliográficas

AAGAARD P. Training-induced changes in neural function. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 31, n. 2, p. 61-7, Apr 2003. ISSN 0091-6331 (Print) 0091-6331 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12715968> >.

AAGAARD P, SUETTA C, CASEROTTI P, MAGNUSSON SP, KJAER M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. **Scand J Med Sci Sports**, v. 20, n. 1, p. 49-64, Feb 2010. ISSN 1600-0838 (Electronic) 0905-7188 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20487503> >.

ABE T, DeHOYOS DV, POLLOCK ML, GARZARELLA, L. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. **Eur J Appl Physiol**, v. 81, n. 3, p. 174-80, Feb 2000. ISSN 1439-6319 (Print)1439-6319 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10638374> >.

American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 3, p. 687-708, Mar 2009. ISSN 1530-0315 (Electronic)0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19204579> >.

ANDERSEN JL. Muscle fibre type adaptation in the elderly human muscle. **Scand J Med Sci Sports**, v. 13, n. 1, p. 40-7, Feb 2003. ISSN 0905-7188 (Print)0905-7188 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12535316> >.

ARTS IM, PILLEN S, SCHELHAAS HJ, OVEREEM S, ZWARTS MJ. Normal values for quantitative muscle ultrasonography in adults. **Muscle Nerve**, v. 41, n. 1, p. 32-41, Jan 2010. ISSN 1097-4598 (Electronic) 0148-639X (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19722256> >.

ASHE J. Force and the motor cortex. **Behav Brain Res**, v. 86, n. 1, p. 1-15, Jun 1997. ISSN 0166-4328 (Print)0166-4328 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=9105577](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=9105577) >.

BENEKA A, MALLIOU P, FATOUROS I, JAMURTS A, GIOFTSIDOU A, GODOLIAS G, TAXILDARIS K. Resistance training effects on muscular strength of elderly are related to intensity and gender. **J Sci Med Sport**, v. 8, n. 3, p. 274-83, Sep 2005. ISSN 1440-2440 (Print). Disponível em: <[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=16248468](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=16248468)>.

BERG HE, TEDNER B, TESCH PA. Changes in lower limb muscle cross-sectional area and tissue fluid volume after transition from standing to supine. **Acta Physiol Scand**, v. 148, n. 4, p. 379-85, Aug 1993. ISSN 0001-6772 (Print) 0001-6772 (Linking). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8213193>>.

BERGER R. Effect of Varied Weight Training-Programs on Strength. **Research Quarterly**, v. 33, n. 2, p. 168-181, 1962. Disponível em: <<Go to ISI>://A1962CAP4400002 >.

BOTTARO M, VELOSO J, WAGNER D, GENTIL P. Resistance training for strength and muscle thickness: Effect of number of sets and muscle group trained. **Journal of sports science**, v. in press, 2010.

CADORE EL, IZQUIERDO M, ALBERTON CL, PINTO RS, CONCEIÇÃO M, CUNHA G, RADAELLI R, BOTTAO M, TRINDADE GT. Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. **Exp Gerontol**, v. 47, n. 2, p. 164-9, Feb 2012. ISSN 1873-6815 (Electronic) 0531-5565 (Linking). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22178632>>.

CANNON J, MARINO FE. Early-phase neuromuscular adaptations to high- and low-volume resistance training in untrained young and older women. **J Sports Sci**, v. 28, n. 14, p. 1505-14, Dec 2010. ISSN 1466-447X (Electronic) 0264-0414 (Linking). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21058165>>.

CARROLL TJ, RIEK S, CARSON RG. The sites of neural adaptation induced by resistance training in humans. **J Physiol**, v. 544, n. Pt 2, p. 641-52, Oct 15 2002. ISSN 0022-3751 (Print) 0022-3751 (Linking). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12381833>>.

CARROLL TJ, SELVANAYAGAM VS, RIEK S, SEMMLER JG. Neural adaptations to strength training: moving beyond transcranial magnetic stimulation and reflex studies. **Acta Physiol (Oxf)**, v. 202, n. 2, p. 119-40, Jun 2011. ISSN 1748-1716 (Electronic)1748-1708 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=21382178](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=21382178) >.

CHEN TC, CHEN HL, LIN MJ, WU CJ, NOSAKA K. Potent protective effect conferred by four bouts of low-intensity eccentric exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 42, n. 5, p. 1004-12, May 2010. ISSN 1530-0315 (Electronic) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19997007> >.

CHILIBECK PD, STRIDE D, FARTHING JP, BURKE DG. Effect of creatine ingestion after exercise on muscle thickness in males and females. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36, n. 10, p. 1781-8, Oct 2004. ISSN 0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15595301> >.

CORNELISON DD, WOLD BJ. Single-cell analysis of regulatory gene expression in quiescent and activated mouse skeletal muscle satellite cells. **Dev Biol**, v. 191, n. 2, p. 270-83, Nov 15 1997. ISSN 0012-1606 (Print) 0012-1606 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=9398440](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=9398440) >.

CREWETHER B, KEOGH J, CRONIN J, COOK C. Possible stimuli for strength and power adaptation: acute hormonal responses. **Sports Med**, v. 36, n. 3, p. 215-38, 2006. ISSN 0112-1642 (Print) 0112-1642 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16526834> >.

DOHERTY TJ. Invited review: Aging and sarcopenia. **J Appl Physiol**, v. 95, n. 4, p. 1717-27, Oct 2003. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12970377> >.

DUCHATEAU J, ENOKA RM. Neural adaptations with chronic activity patterns in able-bodied humans. **Am J Phys Med Rehabil**, v. 81, n. 11 Suppl, p. S17-27, Nov 2002. ISSN 0894-9115 (Print)

0894-9115 (Linking). Disponível em: <  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=12409808](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=12409808) >.

DUTTA C, HADLEY EC, LEXELL J. Sarcopenia and physical performance in old age: overview. **Muscle Nerve Suppl**, v. 5, p. S5-9, 1997. Disponível em: <  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=9331374](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=9331374) >.

FALVO MJ, SIREVAAG EJ, ROHRBAUGH JW, EARHART GM. Resistance training induces supraspinal adaptations: evidence from movement-related cortical potentials. **Eur J Appl Physiol**, v. 109, n. 5, p. 923-33, Jul 2010. ISSN 1439-6327 (Electronic) 1439-6319 (Linking). Disponível em: <  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=20306270](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=20306270) >.

FISHER J. Beware the Meta-Analysis: Is Multiple Set Training Really Better than Single Set Training for Muscle Hypertrophy? . **Journal of Exercise Physiologyonline** v. 15, n. 6, p. 23-30, 2012. ISSN 1097-9751.

FLECK SJ, KRAEMER WJ. **Designing resistance training programs**. 3rd. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004. xiii, 377 p. ISBN 0736042571 (hard). Disponível em: < <http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip042/2003008524.html> >.

FRONTERA WR, HUGHES VA, KRIVICKAS LS, KIM SK, FOLDVARI M, ROUBENOFF R. Strength training in older women: early and late changes in whole muscle and single cells. **Muscle Nerve**, v. 28, n. 5, p. 601-8, Nov 2003. ISSN 0148-639X (Print) 0148-639X (Linking). Disponível em: <  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=14571463](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=14571463) >.

FRONTERA WR, MEREDITH CN, O'REILLY KP, KNUTTGEN HG, EVANS WJ. Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. **J Appl Physiol**, v. 64, n. 3, p. 1038-44, Mar 1988. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3366726> >.

FRY AC, POWELL DR, KRAEMER JW. Editorial Validity of Isokinetic and Isometric Testing Modalities for Assessing Short-term Resistance Exercise Strength Gains **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 1, n. 4, p. 275-283, 1992. ISSN 1056-6716.

FUKUMOTO Y, IKEZOE T, YAMADA Y, TSUKAGOSHI R, NAKAMURA M, MORI N, KIMURA M, ICHIHASHI N. Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 4, p. 1519-25, Apr 2012. ISSN 1439-6327 (Electronic) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21847576> >.

GALVÃO DA, TAAFFE DR. Single- vs. multiple-set resistance training: recent developments in the controversy. **J Strength Cond Res**, v. 18, n. 3, p. 660-7, Aug 2004. ISSN 1064-8011 (Print) 1064-8011 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15320682> >.

GALVÃO DA, TAAFFE DR.. Resistance exercise dosage in older adults: single- versus multiset effects on physical performance and body composition. **J Am Geriatr Soc**, v. 53, n. 12, p. 2090-7, Dec 2005. ISSN 0002-8614 (Print) 0002-8614 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16398892> >.

GARBER CE, BLISSMER B, DESCHENES MR, FRANKLIN BA, LAMONTE MJ, LEE IM, NIEMAN DC, SWAIN DP. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 7, p. 1334-59, Jul 2011. ISSN 1530-0315 (Electronic) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=21694556](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=21694556) >.

GOODPASTER BH, CARLSON CL, VISSER M, KELLEY DE, SCHERZINGER A, HARRIS TB, STAMM E, NEWMAN AB. Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Health ABC Study. **J Appl Physiol**, v. 90, n. 6, p. 2157-65, Jun 2001. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11356778> >.

GOODPASTER BH, KELLEY DE, THAETE FL, HE J, ROSS R. Skeletal muscle attenuation determined by computed tomography is associated with skeletal muscle lipid content. **J Appl Physiol**, v. 89, n. 1, p. 104-10, Jul 2000. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: <  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=10904041](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=10904041) >.

GOODPASTER BH, KRISHNASWAMI S, RESNICK H, KELLEY DE, HAGGERTY C, HARRIS TB, SCHWARTZ AV, KRITCHEVSKY S, NEWMAN AB. Association between regional adipose tissue distribution and both type 2 diabetes and impaired glucose tolerance in elderly men and women. **Diabetes Care**, v. 26, n. 2, p. 372-9, Feb 2003. ISSN 0149-5992 (Print) 0149-5992 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12547865> >.

HÄKKINEN K, ALEN M, KOMI PV. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. **Acta Physiol Scand**, v. 125, n. 4, p. 573-85, Dec 1985. ISSN 0001-6772 (Print) 0001-6772 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4091001> >.

HAKKINEN, K. NEWTON RU, GORDON SE, McCORMICK M, VOLEK JS, NINDL BC, GOTSHALK LA, CAMPBELL WW, EVANS WJ, HÄKKINEN A, HUMPHRIES BJ, KRAEMER WJ. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. **J Appl Physiol**, v. 84, n. 4, p. 1341-9, Apr 1998. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9516202> >.

HÄKKINEN K, KOMI PV, ALÉN M, KAUKANEN H. EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 56, n. 4, p. 419-27, 1987. ISSN 0301-5548 (Print) 0301-5548 (Linking). Disponível em: <  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=3622485](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=3622485) >.

HANSEN, K. E. et al. The effect of strength training volume on satellite cells, myogenic regulatory factors, and growth factors. **Scand J Med Sci Sports**, Mar 15



2012. ISSN 1600-0838 (Electronic) 0905-7188 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22417199> >.

HASS CJ, FEIGENBAUM MS, FRANKLIN BA. Prescription of resistance training for healthy populations. **Sports Med**, v. 31, n. 14, p. 953-64, 2001. ISSN 0112-1642 (Print) 0112-1642 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11735680> >.

HASS CJ, GARZARELLA L, de HOYOS D, POLLOCK ML. Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. **Med Sci Sports Exerc**, v. 32, n. 1, p. 235-42, Jan 2000. ISSN 0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10647555> >.

HILL M, GOLDSPINK G. Expression and splicing of the insulin-like growth factor gene in rodent muscle is associated with muscle satellite (stem) cell activation following local tissue damage. **J Physiol**, v. 549, n. Pt 2, p. 409-18, Jun 1 2003. ISSN 0022-3751 (Print)0022-3751 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12692175> >.

HUMBURG H, BAARS H, SCHRODER J, REER R, BRAUMANN KM. 1-Set vs. 3-set resistance training: a crossover study. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 2, p. 578-82, May 2007. ISSN 1064-8011 (Print) 1064-8011 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17530985> >.

HUNTER, G. R. BRYAN DR, WETZSTEIN CJ, BAMMAN MM. Resistance training and intra-abdominal adipose tissue in older men and women. **Med Sci Sports Exerc**, v. 34, n. 6, p. 1023-8, Jun 2002. ISSN 0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: <  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=12048332](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=12048332) >.

IVEY FM, ROTH SM, FERREL RE, TRACY BL, LEMMER JT, HURLBUT DE, MARTEL GF, SIEGEL EL, FOZARD JL, METTER JE, FLEG JL, HURLEY BF. Effects of age, gender, and myostatin genotype on the hypertrophic response to heavy resistance strength training. **J Gerontol A Biol Sci Med Sci**, v. 55, n. 11, p. M641-8, Nov 2000. ISSN 1079-5006 (Print)

1079-5006 (Linking). Disponível em: <  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=11078093](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=11078093)>.

IVEY FM, TRACY BL, LEMMER JT, NESSAIVER M, METTER EJ, FOZARD JL, HURLEY BF. Effects of strength training and detraining on muscle quality: age and gender comparisons. **J Gerontol A Biol Sci Med Sci**, v. 55, n. 3, p. B152-7; discussion B158-9, Mar 2000. ISSN 1079-5006 (Print) 1079-5006 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10795719>>.

JARIC S, RADOSAVLJEVIC-JARIC S, JOHANSSON H. Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size. **Eur J Appl Physiol**, v. 87, n. 3, p. 304-7, Jul 2002. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12111294>>.

KAMEN, G, KNIGHT CA. Training-related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. **J Gerontol A Biol Sci Med Sci**, v. 59, n. 12, p. 1334-8, Dec 2004. ISSN 1079-5006 (Print) 1079-5006 (Linking). Disponível em: <  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=15699535](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=15699535)>.

KEMMLER WK, LAUBER D, ENGELKE K, WEINECK J. Effects of single- vs. multiple-set resistance training on maximum strength and body composition in trained postmenopausal women. **J Strength Cond Res**, v. 18, n. 4, p. 689-94, Nov 2004. ISSN 1064-8011 (Print) 1064-8011 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15574068>>.

SANBORN K, BOROS R, HRUBY R, SCHILLING B, O'BRYANT HS, JOHNSON RL, STONE ME, STONE MH. Short-Term Performance Effects of Weight Training With Multiple Sets Not to Failure vs. a Single Set to Failure in Women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 14, n. 3, p. 328-331, 2000.

KNIGHT CA, KAMEN G. Enhanced motor unit rate coding with improvements in a force-matching task. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 14, n. 6, p. 619-29, Dec 2004. ISSN 1050-6411 (Print) 1050-6411 (Linking). Disponível em: <

[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=15491836](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=15491836) >.

KORHONEN,MT, MERO AA, ALEN M, SIPILÄ S, HÄKKINEN K, LIIKAVAINIO T, VIITASALO JT, HAVERINEN MT, SUOMINEN H. Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 4, p. 844-56, Apr 2009. ISSN 1530-0315 (Electronic) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19276848> >.

KRAEMER WJ., RATAMESS N, FRY AC, TRIPLETT-McBRIDE T, KOZIRIS LP, BAUER JA, LYNCH JM, FLECK SJ. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. **J Appl Physiol**, v. 78, n. 3, p. 976-89, Mar 1995. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7775344> >.

KRAEMER WJ, RATAMESS N, FRY AC, TRIPLETT-McBRIDE T, KOZIRIS LP, BAUER JA, LYNCH JM, FLECK SJ. Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. **Am J Sports Med**, v. 28, n. 5, p. 626-33, Sep-Oct 2000. ISSN 0363-5465 (Print) 0363-5465 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11032216> >.

KRAEMER WJ, RATAMESS NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36, n. 4, p. 674-88, Apr 2004. ISSN 0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15064596> >.

KRIEGER J. Determining Appropriate Set Volume for Resistance Exercise. **Strength and Conditioning Journal**, v. 32, n. 3, p. 30-32, Jun 2010. ISSN 1524-1602. Disponível em: < <Go to ISI>://000279074600003 >.

KRIEGER J. Single vs. multiple sets of resistance exercise for muscle hypertrophy: a meta-analysis. **J Strength Cond Res**, v. 24, n. 4, p. 1150-9, Apr 2010. ISSN 1533-4287 (Electronic)1064-8011 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20300012> >.

KUMAGAI K, ABE T, BRECHUE WF, RYUSHI T, TAKANO S, MIZUNO M. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. **Journal of Applied Physiology**, v. 88, n. 3, p. 811-816, 2000.

LEMMER JT, HURLBUT DE, MARTEL GF, TRACY BL, IVEY FM, METTER EJ, FOZARD JL, FLEG JL, HURLEY BF. Age and gender responses to strength training and detraining. **Med Sci Sports Exerc**, v. 32, n. 8, p. 1505-12, Aug 2000. ISSN 0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=10949019](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=10949019) >.

LOMBARDI VP. **Beginning weight training : the safe and effective way.** 1989.

LYNCH NA, METTER EJ, LINDLE RS, FOZARD JL, TOBIN JD, ROY TA, FLEG JL, HURLEY BF. Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. **J Appl Physiol**, v. 86, n. 1, p. 188-94, Jan 1999. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9887130> >.

MACEFIELD VG, FUGLEVAND AJ, BIGLAND-RITCHIE B. Contractile properties of single motor units in human toe extensors assessed by intraneural motor axon stimulation. **J Neurophysiol**, v. 75, n. 6, p. 2509-19, Jun 1996. ISSN 0022-3077 (Print) 0022-3077 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=8793760](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=8793760) >.

MARSHALL PW, MCEWEN M, ROBBINS DW. Strength and neuromuscular adaptation following one, four, and eight sets of high intensity resistance exercise in trained males. **Eur J Appl Physiol**, Mar 31 2011. ISSN 1439-6327 (Electronic) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21451937> >.

MARX JO, RATAMESS NA, NINDL BC, GOTSHALK LA, VOLEK JS, DOHI K, BUSH JA, GÓMEZ AL, MAZZETTI SA, FLECK SJ, HÄKKINEN K, NEWTON RU, KRAEMER WJ. Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 4, p. 635-43, Apr 2001. ISSN

0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11283441> >.

MCBRIDE JM, BLAAK JB, TRIPLETT-MCBRIDE T. Effect of resistance exercise volume and complexity on EMG, strength, and regional body composition. **Eur J Appl Physiol**, v. 90, n. 5-6, p. 626-32, Nov 2003. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12923645> >.

MORITANI T, DEVRIES HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. **Am J Phys Med**, v. 58, n. 3, p. 115-30, Jun 1979. ISSN 0002-9491 (Print) 0002-9491 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/453338> >.

NAKAZAWA K, KAWAKAMI Y, FUKUNAGA T, YANO H, MIYASHITA M. Differences in activation patterns in elbow flexor muscles during isometric, concentric and eccentric contractions. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 66, n. 3, p. 214-20, 1993. ISSN 0301-5548 (Print) 0301-5548 (Linking). Disponível em: <[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=8477676](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=8477676) >.

NARICI MV, MAGANARIS C, REEVES N. Myotendinous alterations and effects of resistive loading in old age. **Scand J Med Sci Sports**, v. 15, n. 6, p. 392-401, Dec 2005. ISSN 0905-7188 (Print) 0905-7188 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16293151> >.

NARICI, M. V. ROI GS, LANDONI L, MINETTI AE, CERRETELLI P. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 59, n. 4, p. 310-9, 1989. ISSN 0301-5548 (Print) 0301-5548 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2583179> >.

OGAWA K, SANADA K, MACHIDA S, OKUTSU M, SUZUKI K. Resistance exercise training-induced muscle hypertrophy was associated with reduction of inflammatory markers in elderly women. **Mediators Inflamm**, v. 2010, p. 171023, 2010. ISSN 1466-1861 (Electronic) 0962-9351 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=21253481](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=21253481) >.

OVEREND, T. J. CUNNINGHAMET DA, PATERSON DH, LEFCOE MS. Thigh composition in young and elderly men determined by computed tomography. **Clin Physiol**, v. 12, n. 6, p. 629-40, Nov 1992. ISSN 0144-5979 (Print) 0144-5979 (Linking).  
Disponível em: <  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=1424481](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=1424481) >.

PAULSEN G, MYKLESTAD D, RAASTAD T. The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. **J Strength Cond Res**, v. 17, n. 1, p. 115-20, Feb 2003. ISSN 1064-8011 (Print)1064-8011 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12580666> >.

PAVOL MJ. OWINGS TM, FOLEY KT, GRABINER MD. Influence of lower extremity strength of healthy older adults on the outcome of an induced trip. **J Am Geriatr Soc**, v. 50, n. 2, p. 256-62, Feb 2002. ISSN 0002-8614 (Print)0002-8614 (Linking).  
Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12028206> >.

PILLEN, S. TAK RO, ZWARTS MJ, LAMMENS MM, VERRIJP KN, ARTS IM, VAN DER LAAK JA, HOOGERBRUGGEET PM, VAN ENGELEN BG, VERRIPS A. Skeletal muscle ultrasound: correlation between fibrous tissue and echo intensity. **Ultrasound Med Biol**, v. 35, n. 3, p. 443-6, Mar 2009. ISSN 1879-291X (Electronic) 0301-5629 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19081667>>.

PINCIVERO DM, ALDWORTHET C, DICKERSON T, PETRY C, SHULTZ, T. Quadriceps-hamstring EMG activity during functional, closed kinetic chain exercise to fatigue. **Eur J Appl Physiol**, v. 81, n. 6, p. 504-9, Apr 2000. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking). Disponível em: <  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10774875>>.

PINCIVERO DM, GANDHI V, TIMMONS MK, COELHO AJ. Quadriceps femoris electromyogram during concentric, isometric and eccentric phases of fatiguing dynamic knee extensions. **J Biomech**, v. 39, n. 2, p. 246-54, 2006. ISSN 0021-9290 (Print) 0021-9290 (Linking). Disponível em: <

[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=16321626](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=16321626) >.

PLOUTZ LL, TESCH PA, BIRO RL, DUDLEY GA. et al. Effect of resistance training on muscle use during exercise. **J Appl Physiol**, v. 76, n. 4, p. 1675-81, Apr 1994. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8045847> >.

RABITA G, PEROT C, LENSEL-CORBEIL G. Differential effect of knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris in humans. **Eur J Appl Physiol**, v. 83, n. 6, p. 531-8, Dec 2000. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=11192061](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=11192061) >.

RADAELLI, R. BOTTON CE, WILHELM EN, BOTTARO M, LACERDA F, GAYA A, MORAES K, PERUZZOLO A, BROWN LE, PINTO RS. Low- and high-volume strength training induces similar neuromuscular improvements in muscle quality in elderly women. **Exp Gerontol**, v. 48, n. 8, p. 710-716, Apr 18 2013. ISSN 1873-6815 (Electronic) 0531-5565 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=23603619](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=23603619) >.

REEVES ND, NARICI MV, MAGANARIS CN. In vivo human muscle structure and function: adaptations to resistance training in old age. **Exp Physiol**, v. 89, n. 6, p. 675-89, Nov 2004. ISSN 0958-0670 (Print)0958-0670 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15328305> >.

REEVES ND, NARICI MV, MAGANARIS CN. Musculoskeletal adaptations to resistance training in old age. **Man Ther**, v. 11, n. 3, p. 192-6, Aug 2006. ISSN 1356-689X (Print) 1356-689X (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16782393> >.

REIMERS CD, FLECKENSTEIN JL, WITT TN, MULLER- FELBER W, PONGRATZ DE. Muscular ultrasound in idiopathic inflammatory myopathies of adults. **J Neurol Sci**, v. 116, n. 1, p. 82-92, May 1993. ISSN 0022-510X (Print) 0022-510X (Linking). Disponível em: <

[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=8509807](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=8509807) >.

REIMERS K, REIMERS CD, WAGNER S, PAETZKE I, PONGRATZ DE. Skeletal muscle sonography: a correlative study of echogenicity and morphology. **J Ultrasound Med**, v. 12, n. 2, p. 73-7, Feb 1993. ISSN 0278-4297 (Print) 0278-4297 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=8468739](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=8468739) >.

RHEA MR. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. **J Strength Cond Res**, v. 18, n. 4, p. 918-20, Nov 2004. ISSN 1064-8011 (Print) 1064-8011 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15574101> >.

RHEA MR, ALVAR BA, BURKETT LN. Single versus multiple sets for strength: a meta-analysis to address the controversy. **Res Q Exerc Sport**, v. 73, n. 4, p. 485-8, Dec 2002. ISSN 0270-1367 (Print) 0270-1367 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12495252> >.

RHEA MR. et al. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. **Med Sci Sports Exerc**, v. 35, n. 3, p. 456-64, Mar 2003. ISSN 0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12618576> >.

RHEA MR, ALVAR BA, GRAY R. Physical fitness and job performance of firefighters. **J Strength Cond Res**, v. 18, n. 2, p. 348-52, May 2004. ISSN 1064-8011 (Print) 1064-8011 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15142006> >.

ROBBINS DW, YOUNG WB, BEHM DG, PAYNE WR. Effects of agonist-antagonist complex resistance training on upper body strength and power development. **J Sports Sci**, v. 27, n. 14, p. 1617-25, Dec 2009. ISSN 1466-447X (Electronic) 0264-0414 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19967584> >.

OTTO RM, CARPINELLI RN. A critical analysis of the the single versus multiple set debate. **journal of Exercise Physiologyonline**, v. 9, n. 1, p. 32 - 52, 2006.



RONNESTAD BR, EGELAND W, KVAMME NH, REFSNES PE, KADI F, RAASTAD T. Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 1, p. 157-63, Feb 2007. ISSN 1064-8011 (Print)1064-8011 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17313291> >.

SALE, DG. Neural adaptation to resistance training. **Med Sci Sports Exerc**, v. 20, n. 5 Suppl, p. S135-45, Oct 1988. ISSN 0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3057313> >.

SALE DG, MARTIN JE, MOROZ DE. Hypertrophy without increased isometric strength after weight training. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 64, n. 1, p. 51-5, 1992. ISSN 0301-5548 (Print) 0301-5548 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=1735412](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=1735412) >.

SCHLUMBERGER A, STEC J, SCHMIDTBLEICHER D. Single- vs. multiple-set strength training in women. **J Strength Cond Res**, v. 15, n. 3, p. 284-9, Aug 2001. ISSN 1064-8011 (Print) 1064-8011 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11710652> >.

SCHOENFELD BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. **J Strength Cond Res**, v. 24, n. 10, p. 2857-72, Oct 2010. ISSN 1533-4287 (Electronic) 1064-8011 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=20847704](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=20847704) >.

SCHUBERT M, BECK S, TAUBE W, AMTAGE F, FAIST M, GRUBER M. Balance training and ballistic strength training are associated with task-specific corticospinal adaptations. **Eur J Neurosci**, v. 27, n. 8, p. 2007-18, Apr 2008. ISSN 1460-9568 (Electronic) 0953-816X (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18412622> >.

SIPILÄ S, SUOMINEN H. Knee extension strength and walking speed in relation to quadriceps muscle composition and training in elderly women. **Clin Physiol**, v. 14, n. 4, p. 433-42, Jul 1994. ISSN 0144-5979 (Print) 0144-5979 (Linking). Disponível em: <

[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=7955941](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=7955941) >.

SIPILÄ S, SUOMINEN H. Quantitative ultrasonography of muscle: detection of adaptations to training in elderly women. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 77, n. 11, p. 1173-8, Nov 1996. ISSN 0003-9993 (Print) 0003-9993 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8931531> >.

SKELTON DA, KENNEDY J, RUTHERFORD OM. Explosive power and asymmetry in leg muscle function in frequent fallers and non-fallers aged over 65. **Age Ageing**, v. 31, n. 2, p. 119-25, Mar 2002. ISSN 0002-0729 (Print) 0002-0729 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11937474> >.

SOONESTE H, TANIMOTO M, KAKIGI R, SAGA N, KATAMOTO S. Effects of training volume on strength and hypertrophy in young men. **J Strength Cond Res**, v. 27, n. 1, p. 8-13, Jan 2013. ISSN 1533-4287 (Electronic) 1064-8011 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=23249767](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=23249767) >.

STARKEY, DB, POLLOCK ML, ISHIDA Y, WELSCH MA, BRECHUE WF, GRAVES JE, FEIGENBAUM. Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. **Med Sci Sports Exerc**, v. 28, n. 10, p. 1311-20, Oct 1996. ISSN 0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=8897390](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=8897390) >.

TOIGO M, BOUTELLIER U. New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. **Eur J Appl Physiol**, v. 97, n. 6, p. 643-63, Aug 2006. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16845551> >.

TRACY BL, IVEY FM, HURLBUT D, MARTEL GF, LEMMER JT, SIEGEL EL, METTER EJ, FOZARD JL, FLEG JL, HURLEY BF. Muscle quality. II. Effects Of strength training in 65- to 75-yr-old men and women. **J Appl Physiol**, v. 86, n. 1, p. 195-201, Jan 1999. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9887131> >.

VERDIJK LB, GLEESON BG, JONKERS RA, MEIJER K, SAVELBERG HH, DENDALE P, VAN LOON LJ. Skeletal muscle hypertrophy following resistance training is accompanied by a fiber type-specific increase in satellite cell content in elderly men. **J Gerontol A Biol Sci Med Sci**, v. 64, n. 3, p. 332-9, Mar 2009. ISSN 1758-535X (Electronic) 1079-5006 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=19196907](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=19196907) >.

VISSER M, GOODPASTER BH, KRITCHEVSKY SB, NEWMAN AB, NEVITT M, RUBIN SM, SIMONSICK EM, HARRIS TB. Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. **J Gerontol A Biol Sci Med Sci**, v. 60, n. 3, p. 324-33, Mar 2005. ISSN 1079-5006 (Print) 1079-5006 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=15860469](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=15860469) >.

VISSER M, KRITCHEVSKY SB, GOODPASTER BH, NEWMAN AB, NEVITT M, STAMM E, HARRIS TB. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. **J Am Geriatr Soc**, v. 50, n. 5, p. 897-904, May 2002. ISSN 0002-8614 (Print) 0002-8614 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12028178> >.

WEI Y, CHEN K, WHALEY-CONNELL AT, STUMP CS, IBDAH JA, SOWERS JR. Skeletal muscle insulin resistance: role of inflammatory cytokines and reactive oxygen species. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 294, n. 3, p. R673-80, Mar 2008. ISSN 0363-6119 (Print) 0363-6119 (Linking). Disponível em: < [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=18094066](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=18094066) >.

WOLFE BL, LEMURA LM, COLE PJ. Quantitative analysis of single- vs. multiple-set programs in resistance training. **J Strength Cond Res**, v. 18, n. 1, p. 35-47, Feb 2004. ISSN 1064-8011 (Print) 1064-8011 (Linking). Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14971985> >.

## **ANEXO 1**

### **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido:**

Eu entendo que participarei como sujeito do estudo intitulado “**EFEITO DE DOIS VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA NAS ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES DE MULHERES IDOSAS**”, que envolverá a avaliação da espessura muscular, da força máxima dinâmica e isométrica, bem como da ativação muscular.

Eu entendo que todos esses testes serão realizados antes, após seis, treze e vinte semanas após um treinamento físico envolvendo exercícios de treinamento de força (musculação), entendendo que serei submetido a duas sessões por semana durante esse período. Entendo que os testes que realizarei são parte desse estudo e terão a finalidade de investigar comparativamente as adaptações de diferentes volumes de treinamento de força.

Eu, por meio desta, autorizo Ronei Silveira Pinto, Regis Radaelli, bolsistas ou profissionais selecionados para realizar os seguintes procedimentos:

a. Aplicar-me um treinamento de musculação, durante vinte semanas, duas vezes por semana.

b. Aplicar-me um teste de força dinâmica máxima envolvendo grupos musculares de membros inferiores e superiores antes, durante e após 20 semanas de treinamento.

c. Aplicar-me testes de produção de força isométrica máxima antes, durante e após 20 semanas de treinamento.

#### **Eu entendo que, no teste de produção de força isométrica:**

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

2. Terei parte da região da coxa e braço depilados com gilete descartável, e a pele limpa por abrasão feita com algodão umedecido em álcool gel, com a finalidade de colocar os eletrodos de medida da ativação muscular.

a. Os procedimentos expostos acima têm sido explicados para mim por Ronei Silveira Pinto e/ou seus orientandos, Regis Radaelli e bolsistas selecionados;

b. Eu entendo que Ronei Silveira Pinto e/ou seus orientandos, Regis Radaelli e bolsistas e professores, irão responder qualquer dúvida que eu tenha em qualquer momento relativo a esses procedimentos;

c. Eu entendo que todos os dados relativos à 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;

d. Eu entendo que não há compensação financeira pela minha participação neste estudo;

e. Eu entendo que posso fazer contato com o orientador do estudo Professor Doutor Ronei Silveira Pinto (51-84672441), com o autor do estudo Regis Radaelli (51-81012359), para quaisquer problemas referentes à minha participação no estudo ou se eu sentir que há uma violação dos meus direitos, por meio do telefone (051) 3308-5894. Além disso, posso entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa do Rio Grande do Sul (CEP-UFRGS) pelo telefone (051) 3308-3629.

f. Eu entendo que a qualquer instante durante o testes, eu tenho o direito de me recusar a prosseguir com os mesmos.

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

h. Eu entendo que estará disponível no laboratório e no local de treinamento uma linha telefônica para a Assistência Médica de Emergência (51- 3331-0212).

Porto Alegre \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2012.

Participante:

Nome completo: \_\_\_\_\_

Assinatura do sujeito (participante): \_\_\_\_\_

Assinatura do pesquisador: \_\_\_\_\_

**ANEXO 2**

-Artigo publicado no periódico Experimental Gerontology-



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Experimental Gerontology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/expgero](http://www.elsevier.com/locate/expgero)

## Low- and high-volume strength training induces similar neuromuscular improvements in muscle quality in elderly women



Regis Radaelli <sup>a,\*</sup>, Cíntia E. Botton <sup>a</sup>, Eurico N. Wilhelm <sup>a</sup>, Martim Bottaro <sup>b</sup>, Fabiano Lacerda <sup>a</sup>, Anelise Gaya <sup>a</sup>, Kelly Moraes <sup>a</sup>, Amanda Peruzzolo <sup>a</sup>, Lee E. Brown <sup>c</sup>, Ronei Silveira Pinto <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Physical Education School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

<sup>b</sup> College of Physical Education and Exercise Science, University of Brasília, Brasília, Brazil

<sup>c</sup> California State University, Fullerton, Fullerton, CA, USA

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 2 February 2013

Received in revised form 10 April 2013

Accepted 11 April 2013

Available online 19 April 2013

Section Editor: Christiaan Leeuwenburgh

#### Keywords:

Aging

Muscle hypertrophy

Neural adaptation

Echo intensity

Number of sets

### ABSTRACT

The aim of this study was to compare the effects of low- and high-volume strength training on strength, muscle activation and muscle thickness (MT) of the lower- and upper-body, and on muscle quality (MQ) of the lower-body in older women. Twenty apparently healthy elderly women were randomly assigned into two groups: low-volume (LV,  $n = 11$ ) and high-volume (HV,  $n = 9$ ). The LV group performed one-set of each exercise, while the HV group performed three-sets of each exercise, twice weekly for 13 weeks. MQ was measured by echo intensity obtained by ultrasonography ( $MQ_{EI}$ ), strength per unit of muscle mass ( $MQ_{ST}$ ), and strength per unit of muscle mass adjusted with an allometric scale ( $MQ_{AS}$ ). Following training, there was a significant increase ( $p \leq 0.001$ ) in knee extension 1-RM ( $31.8 \pm 20.5\%$  for LV and  $38.3 \pm 7.3\%$  for HV) and in elbow flexion 1-RM ( $25.1 \pm 9.5\%$  for LV and  $26.6 \pm 8.9\%$  for HV) and in isometric maximal strength of the lower-body ( $p \leq 0.05$ ) and upper-body ( $p \leq 0.001$ ), with no difference between groups. The maximal electromyographic activation for both groups increased significantly ( $p \leq 0.05$ ) in the vastus medialis and biceps brachii, with no difference between groups. All MT measurements of the lower- and upper-body increased similarly in both groups ( $p \leq 0.001$ ). Similar improvements were also observed in  $MQ_{EI}$  ( $p \leq 0.01$ ),  $MQ_{ST}$ , and  $MQ_{AS}$  ( $p \leq 0.001$ ) for both groups. These results demonstrate that low- and high-volume strength training promote similar increases in neuromuscular adaptations of the lower- and upper-body, and in MQ of the lower-body in elderly women.

© 2013 Elsevier Inc. All rights reserved.

### 1. Introduction

The decline of lower- and upper-body isometric and dynamic muscle strength is a consequence of the aging process (Hakkinen et al., 1996; Klein et al., 2001). It is attributed to the loss of muscle mass that results from a decrease in the number of muscle fibers, atrophy of the remaining muscle fibers (sarcopenia) (Aagaard et al., 2010; Andersen, 2003), and reduction in the maximal voluntary activation of the agonist muscle (Jakobi and Rice, 2002). Additionally, the decline in the muscle quality (MQ) of the lower-body has been proposed as another consequence of the aging process (Arts et al., 2010; Lynch et al., 1999).

Originally, MQ was defined as strength per unit of muscle mass, also known as specific tension ( $MQ_{ST}$ ) (Lynch et al., 1999; Tracy et al., 1999). Thus, MQ may be a superior indicator of muscle function in elderly people than strength alone (Dutta et al., 1997), because it provides an estimate of the contribution of muscle mass and neural factors to strength (Castro et al., 1995). Lynch et al. (1999), after analyzing data from 703

subjects of various ages, observed that the decline in leg  $MQ_{ST}$  was modest or nonexistent until the subjects were in their 50s. However, the authors noted an accelerated decline after the fifth decade for both men and women. Likewise, Ivey et al. (2000b) observed that leg  $MQ_{ST}$  was significantly less in elderly women than in young subjects. Recently, several authors have utilized another methodology to calculate MQ (Cadore et al., 2012), adjusting units of muscle mass by an allometric scale ( $MQ_{AS}$ ,  $F_m \propto m^{2/3}$ ), according to the proposal to adjust strength for body size (Jaric et al., 2002). Furthermore, other studies have reported the assessment of MQ without utilizing strength per unit of muscle mass, but have used echo intensity from images obtained via ultrasonography ( $MQ_{EI}$ ). In one of these studies, Arts et al. (2010), after evaluating the rectus femoris  $MQ_{EI}$  of men and women, observed age-related decreases in  $MQ_{EI}$ . Similarly, Fukumoto et al. (2012) reported age-related decreases in rectus femoris  $MQ_{EI}$ , also indicating significant negative correlations between  $MQ_{EI}$  and knee extensor muscle strength and muscle thickness (MT) of the rectus femoris.

A well-designed strength training program is an efficient method for mitigating several impairments related to the aging process via increases in muscular strength, muscle mass, maximal voluntary activation and knee extensor MQ (Cadore et al., 2012; Ivey et al., 2000b; Tracy et al., 1999). Although the benefits of strength training for

\* Corresponding author at: Exercise Research Laboratory (LAPEx), Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Rua Felizardo, 750-Bairro Jardim Botânico, CEP: 90690-200, Porto Alegre, RS, Brazil. Tel.: +55 51 33085845.

E-mail address: [regis.radaelli@hotmail.com](mailto:regis.radaelli@hotmail.com) (R. Radaelli).



elderly people are well known, there is still some controversy, mainly regarding the ideal training volume (i.e., sets  $\times$  reps  $\times$  load) for optimizing neuromuscular gains (Hass et al., 2001; Marshall et al., 2011).

Several previous studies with young individuals have compared the effects of low- and high-volume strength training, indicating that high-volume training results in greater gains in strength, muscle activation and muscle mass than low-volume training (Hanssen et al., 2012; Kemmler et al., 2004). In contrast, other studies have not found any differences between low- and high-volume training gains (Bottaro et al., 2011; Cannon and Marino, 2010; Hass et al., 2000). Although there are many studies comparing the effects of low- and high-volume training, only a few studies have been performed with elderly subjects (Cannon and Marino, 2010; Galvão and Taaffe, 2005). Cannon and Marino (2010) observed that after 10 weeks, low-volume (one-set) and high-volume (three-sets) strength training induced similar increases in strength, muscle volume, agonist activation and MQ of knee extension in elderly women. Nevertheless, the authors did not evaluate the influence of strength training volume on upper-limb neuromuscular adaptations or MQ evaluated by MQ<sub>AS</sub> and MQ<sub>EL</sub>. Thus, the aim of our study was to compare the effects of low- and high-volume strength training on neuromuscular adaptations of the lower- and upper-body and on the MQ<sub>ST</sub>, MQ<sub>AS</sub> and MQ<sub>EL</sub> of the lower-body in elderly women.

## 2. Methods

### 2.1. Subjects

Twenty healthy elderly women aged 60 to 74 years who had not participated in a resistance-training program for at least 3 months, volunteered for the study. Subjects were carefully informed of the purpose, procedures, benefits, risks and discomfort that might result from this study. Thereafter, subjects gave their written informed consent to participate. All procedures were approved by the Institutional Research Ethics Committee. Included in the study were all volunteers, nonsmokers, free of cardiovascular diseases, and metabolic and musculoskeletal limitations to physical exercise. Elderly women with conditions that could interfere with neuromuscular function and unable to perform some exercises of the training program were excluded from the study. Moreover, subjects were not currently taking antihypertensive, cardiovascular or metabolic medications.

### 2.2. Experimental design

The total duration of the present study was 13 weeks (i.e. 26 total training sessions). The subjects were tested on two separate occasions, before start of the study (week 0) and after 13 weeks of training, by the same investigators using identical procedures. During the period of this study the subjects were instructed to avoid changes in diet and their recreational physical activities (e.g. walking, jogging and biking) during the course of the study. These activities were similar between both groups.

### 2.3. Training program

Participants trained for 13 weeks, completing two sessions per week on nonconsecutive days (i.e. 26 total training sessions). They were randomly assigned to either a low-volume (LV;  $n = 11$ ;  $64.6 \pm 3.1$  years;  $66.4 \pm 5.1$  kg;  $162.9 \pm 5.8$  cm) or high-volume (HV;  $n = 9$ ;  $63.9 \pm 2.3$  years;  $64.1 \pm 7.2$  kg;  $163.2 \pm 4.9$  cm) group. Both groups trained according to similar procedures, differing only in the number of sets. The LV group performed one set per exercise, while the HV group performed three sets per exercise. In each workout, they performed the following exercises in the this order: bilateral knee extension, lat pull-down, bilateral leg press, elbow flexion, bilateral leg curl, bench press, triceps extension, hip abduction

and adduction and abdominal crunch. A minimum of 48 h rest was required between workouts. All training sessions were monitored and supervised by at least two trained investigators.

The training intensity was controlled using the number of repetition maximum (RM) as in previous studies (Cadore et al., 2012; Hanssen et al., 2012), thus the heaviest possible weight was used for the designated number of repetitions. During the first 6 weeks both groups trained with an intensity of 20 RM; during weeks 7–10, they trained at 12–15 RM; and during the final three weeks they trained at 10 RM. The training load used per exercise was increased from 2.5 to 5.0 kg for the next workout when subjects were able to perform more repetitions than prescribed. 2-min rest between sets was given for the HV group. All subjects were instructed to perform each repetition with a duration of 2 s concentric and 2 s eccentric. During all training program the HV group performed the workouts in a less amount of time than LV group ( $\approx 50$ –60 min for HV group and  $\approx 20$ –25 min for LV group).

### 2.4. Maximal dynamic strength

Subjects performed one-repetition maximum (1-RM) tests of knee extension (bilateral) and preacher curl elbow flexion (unilateral) (World-Sculptor, Porto Alegre, Brazil). The same investigator, with identical subject/equipment positioning, conducted the pre- and post-tests. Before 1-RM tests, subjects were carefully familiarized with the testing procedures and performed 10 repetitions with a light resistance as warm-up. Thereafter, resistance was increased until they were unable to lift the additional weight through a full range of motion using proper technique. Muscle action velocity for each repetition (2 s concentric and 2 s eccentric) was controlled by an electronic metronome (Quartz, CA, USA). All 1-RM values were determined within 3–5 attempts, with 3-min rest between each attempt. At post-testing 1-RM was performed 3–5 days after the last training session. Test–retest reliability intraclass correlation coefficients (ICC) for knee extension and elbow flexion 1-RM were 0.96 and 0.90, respectively.

### 2.5. Lower- and upper-body isometric maximal strength

Bilateral maximal isometric strength of the lower- and upper-body was measured on a leg press machine and an elbow flexion preacher curl bench (World-Sculptor, Porto Alegre, Brazil), respectively, using a load cell (Primax, São Paulo, Brazil) connected to an analog to digital (A/D) converter (Miotec 400, Porto Alegre, Brazil). In the lower-body test, subjects were positioned on the leg press machine with hip, knee and ankle joints at 90°. Subjects were asked to exert maximal force against the leg press platform. The upper-body test was performed with subjects sitting on the machine with both armpits supported on the preacher bench with shoulder and elbow flexion at 60° (90° relative to the floor) and holding a bar with both hands supinated. The bar was attached to the load cell, which was fixed to the floor, and subjects were instructed to exert maximal force against the bar. In both tests, subjects performed three 5-second maximal isometric actions with 3-min rest between actions and 20 min rest between activities. Verbal encouragement was given during both tests. The force–time curve signal was obtained in real-time using Miograph software (Miotec-Equipamentos Biomédicos, Porto Alegre, Brazil) with an acquisition rate of 2000 Hz, recorded on a personal computer (Dell, São Paulo, Brazil) digitized and analyzed with SAD32 software (developed by the Engineering School of the local university, Porto Alegre, Brazil). The highest force value (Kg) of three attempts was utilized for subsequent statistical analyses. After training period, the maximal isometric strength of the lower- and upper-body tests was performed 5–7 days after the last training session.

## 2.6. Maximal electromyographic activation

Lower-body maximal electromyographic (EMG) activation was recorded from the vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF) and vastus medialis (VM) of the right leg during lower-body isometric maximal strength, whereas upper-body maximal EMG activation was recorded from the biceps brachii (BB) of the right arm during upper-body isometric maximal strength. Before electrode placement, careful skin preparation was performed, including shaving excess hair and cleaning the skin with isopropyl alcohol (to reduce impedance below 2000 k $\Omega$ ). Electrodes, in a bipolar configuration (20 mm interelectrode distance), were positioned along the direction of the muscle fibers on the muscular belly according to SENIAM ([www.seniam.org](http://www.seniam.org)). The electrode position was carefully mapped using a transparent paper to ensure identical positioning for pre- and post-testing. At post-testing, maximal EMG activation was recorded 5–7 days after the last training session. EMG signals were recorded using an electromyograph (Miotool, Miotec-Equipamentos Biomédicos, Porto Alegre, Brazil), amplified by a multiplication factor of 100 and digitized at a sampling frequency of 2000 Hz by a personal computer (Dell Inspiron, São Paulo, Brazil). The EMG signal was filtered with cutoff frequencies of 20 Hz and 500 Hz using a Butterworth band-pass filter. After filtering, the EMG signal from the highest isometric strength (kg) attempt was sliced exactly at the force–time curve plateau and the root mean square (RMS) value of each muscle was calculated during one-second at the force–time curve plateau (Fig. 1).

## 2.7. Muscle thickness

The MT was obtained using a B-Mode ultrasonographic apparatus (Philips-VMI, Ultra Vision Flip, MG, Brazil), with a 7.5 MHz linear-array probe (38 mm). All measurements were performed on the right arm and leg while the subjects were in a supine position with their muscles relaxed. Before MT evaluation, subject rested in the supine position with their arms and legs extended and relaxed for 15 min to allow fluid shifts to occur (Berg et al., 1993). The probe was coated with a water-soluble transmission gel to provide acoustic contact without depressing the dermal surface. Great care was taken in applying minimal pressure during scanning to avoid compression of the muscle. Post-testing MT was performed 3–5 days after the last training session

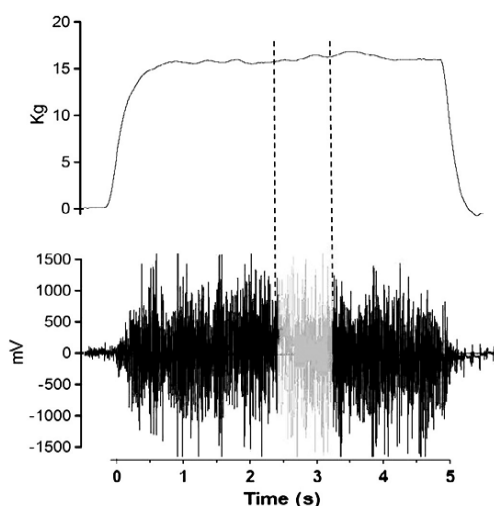


Fig. 1. Strength curve (top trace), raw electromyograph signal (EMG) and the sliced in EMG signal where the root mean square was calculated.

to avoid any swelling. Muscles measured in the lower-body were the RF, VL, VM and vastus intermedius (VI), moreover the overall quadriceps femoris MT (MT QUA<sub>sum</sub>) was calculated from the sum of the muscles (RF + VL + VM + VI) (Cadore et al., 2012). The muscles involved in upper-body were the elbow flexors (biceps brachii and brachialis), and the sum of their MTs (MT EF<sub>sum</sub>). All sites of MT measurements have been previously described in other studies (Chilibeck et al., 2004; Korhonen et al., 2009; Kumagai et al., 2000; Miyatani et al., 2000). The sites of MT measurements were mapped using a transparent paper to ensure identical measurements following 13 weeks of training. All images were digitized and later analyzed in Image-J software (National Institute of Health, USA, version 1.37). The subcutaneous adipose tissue–muscle interface and the muscle–bone interface were identified in each image, and the distance between them was accepted as MT. All measurements were made by the same investigator. Baseline test and retest reliability ICC's of MT measurements were 0.95 for VL, 0.93 for RF, 0.90 for VI, 0.85 for VM and 0.89 for EF. The coefficient of variation of knee extensor and elbow flexor MTs was less than 4.0%.

## 2.8. Muscle quality

MQ<sub>TE</sub> was calculated from the maximal dynamic strength of the knee extensors divided by MT QUA<sub>sum</sub>. In this case, MQ<sub>TE</sub> was calculated from the following formula: unilateral knee extension 1-RM (kg)/MT QUA<sub>sum</sub> (mm). However, to calculate MQ<sub>AS</sub>, the MT QUA<sub>sum</sub> was adjusted (i.e.  $F_m \propto m^{2/3}$ ) following the previous studies' instruction to adjust strength for body size (Cadore et al., 2012; Jaric et al., 2002). Therefore, MQ<sub>AS</sub> was defined by the following formula: unilateral knee extension 1-RM (kg)/MT QUA<sub>sum</sub> (mm)<sup>0.67</sup>.

Echo intensity was determined according to previous studies (Arts et al., 2010; Fukumoto et al., 2012) by computer-assisted gray-scale analyses using the standard function of Image-J software (National institute of health, USA, version 1.37). A region of interest was selected in the RF, which included as much of the muscle as possible and avoided surrounding fascia. The depth setting for echo intensity was fixed at 5 cm. The mean echo intensity of the region of interest was calculated as a value between 0 (black) and 255 (white) using the mean value of three images and saved as MQ<sub>EI</sub>. Test–retest reliability ICC of echo intensity was 0.91.

## 2.9. Statistical analyses

All data are presented as means  $\pm$  SD. Normality of the distribution, and homogeneity for outcome measures were tested using the Shapiro-Wilk, and Levene test, respectively. After data was verified for normal distribution and homogeneity ( $p \geq 0.05$ ), the main training effects were assessed by a two-way mixed model (group  $\times$  time) Analysis of Variance (ANOVA). When a significant F value was identified, a Bonferroni post hoc test was performed to locate pairwise differences between means. The significance level was set at  $p \leq 0.05$ .

## 3. Results

### 3.1. Maximal dynamic strength

There was no statistically significant ( $p > 0.05$ ) difference in dynamic maximal strength between groups at baseline. A significant main effect for time was observed for 1-RM knee extension and elbow flexion in both groups ( $p \leq 0.001$ ) (Table 1). Knee extension 1-RM significantly ( $p \leq 0.001$ ) increased after 13 weeks of training in both groups ( $31.8 \pm 20.5\%$  for LV and  $38.3 \pm 7.3\%$  for HV). Elbow flexion 1-RM significantly ( $p \leq 0.001$ ) increased after 13 weeks of training in both groups ( $25.1 \pm 9.5\%$  for LV and  $26.6 \pm 8.9\%$  for HV). There were no main effects for group observed for 1-RM knee extension or elbow flexion ( $p > 0.05$ ).

**Table 1**  
Bilateral maximal dynamic strength, bilateral isometric maximal strength, absolute values and percentage change ( $\Delta\%$ ) after 13 weeks of training. The results represent means  $\pm$  SD.

| Variable                                   | Low-volume (LV, n = 11) |                   |                 | High-volume (HV, n = 9) |                   |                 |
|--|-------------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
|  | Pre                     | Post              | $\Delta\%$      | Pre                     | Post              | $\Delta\%$      |
| Knee extension 1-RM (kg)                   | 47.7 $\pm$ 15.0         | 61.1 $\pm$ 12.8** | 31.8 $\pm$ 20.5 | 46.6 $\pm$ 14.7         | 64.4 $\pm$ 20.0** | 38.3 $\pm$ 7.3  |
| Elbow flexion 1-RM (kg)                    | 6.9 $\pm$ 1.5           | 8.5 $\pm$ 1.5**   | 25.1 $\pm$ 9.5  | 6.6 $\pm$ 0.6           | 8.4 $\pm$ 0.5**   | 26.6 $\pm$ 8.9  |
| Lower-body isometric maximal strength (kg) | 69.5 $\pm$ 28.6         | 74.9 $\pm$ 25.3*  | 13.9 $\pm$ 19.3 | 67.3 $\pm$ 16.4         | 75.8 $\pm$ 16.1*  | 14.1 $\pm$ 10.7 |
| Upper-body isometric maximal strength (kg) | 17.3 $\pm$ 4.9          | 20.4 $\pm$ 4.5**  | 20.9 $\pm$ 17.5 | 17.7 $\pm$ 2.7          | 20.6 $\pm$ 3.6**  | 16.3 $\pm$ 9.8  |

1-RM: One-repetition maximum.

\*  $p \leq 0.05$ ; significant increase from pre training values.

\*\*  $p \leq 0.001$ ; significant increase from pre training values.

### 3.2. Maximal isometric strength

There was no statistically significant ( $p > 0.05$ ) difference between groups for lower- or upper-body isometric strength at baseline. There was a significant ( $p \leq 0.05$ ) main effect for time for lower- and upper-body isometric maximal strength in both groups (Table 1). Lower-body isometric maximal strength significantly increased ( $p \leq 0.05$ ) in two training groups (13.9  $\pm$  19.3% for LV and 14.1  $\pm$  10.7% for HV). The upper-body isometric maximal strength significantly increased ( $p \leq 0.001$ ) in both groups (20.9  $\pm$  17.5% for LV and 16.3  $\pm$  9.8% for HV). There was no main effect for the group observed ( $p > 0.05$ ).

### 3.3. Maximum EMG activity

There were no statistically significant ( $p > 0.05$ ) differences between groups in maximum EMG activity for any quadriceps muscles or for BB at baseline. There was a significant ( $p \leq 0.05$ ) main effect for time for maximum EMG activity recorded from the VM and BB in both groups (Table 2), but no main effect for group ( $p > 0.05$ ). After the training period, both groups had significant increases ( $p \leq 0.05$ ) in the maximum EMG activity of the VM (27.9  $\pm$  40.2% for LV and 22.3  $\pm$  37% for HV) and the BB (24.7  $\pm$  53.9% for LV and 47.4  $\pm$  61.1% for HV).

### 3.4. Muscle thickness

There were no differences between groups in the MT of lower- or upper-body at baseline ( $p > 0.05$ ). A significant ( $p \leq 0.001$ ) main effect for time was observed in the MT of the knee extensors and elbow flexors, as well as in MT QUA<sub>sum</sub> in both groups, whereas no main effect for group was observed ( $p > 0.05$ ) for any MT scores (Fig. 2). Significant ( $p \leq 0.001$ ) increases in MT occurred in both groups for RF (8.3  $\pm$  6.5% for LV and 10.9  $\pm$  6.2% for HV), VL (7.9  $\pm$  5.9% for LV and 13.2  $\pm$  4.6% for HV), VM (10.5  $\pm$  8.1% for LV and 14.9  $\pm$  6.1% for HV), VI (9.0  $\pm$  7.1% for LV and 14.6  $\pm$  2.1% for HV) and MT QUA<sub>sum</sub> (8.6  $\pm$  2.0% for LV and 14.3  $\pm$  4.1% for HV) (Fig. 2). Furthermore, there was a significant increase ( $p \leq 0.01$ ) in the MT of MT EF<sub>sum</sub> for both groups (11.2  $\pm$  6.0 for LV group and 12.5  $\pm$  5.6% for HV group).

### 3.5. Muscle quality

There were no significant ( $p > 0.05$ ) differences between groups in MQ<sub>ST</sub>, MQ<sub>AS</sub> or MQ<sub>EI</sub> at baseline. A significant ( $p \leq 0.001$ ) main effect for time was observed in MQ<sub>ST</sub>, MQ<sub>AS</sub> and MQ<sub>EI</sub> for both groups, but there was no main effect for the group observed for any muscle quality ( $p > 0.05$ ) (Table 3). There was a significant ( $p \leq 0.001$ ) increase after the training period in both groups for MQ<sub>ST</sub> (22.2  $\pm$  18.1% for LV group and 20.8  $\pm$  19.5% for HV group) and MQ<sub>AS</sub> (25.6  $\pm$  18.8.1% for LV group and 26.3  $\pm$  8.5% for HV group). Likewise, there was a significant ( $p \leq 0.01$ ) increase in MQ<sub>EI</sub> for both groups (12.0  $\pm$  9.9% for LV group and 20.9  $\pm$  9.2% for HV group) after the training period.

## 4. Discussion

The main findings of the present study were that low- and high-volume strength training performed twice a week, induced similar improvements in dynamic and isometric maximal strength, muscular activation and muscle thickness of the lower and upper body of elderly women. Furthermore, both training volumes were similarly effective for improving MQ<sub>EI</sub>, MQ<sub>ST</sub> and MQ<sub>AS</sub> of the lower body.

The increase in force production resulting from a strength training program is related to various mechanisms: supraspinal adaptations (Falvo et al., 2010), changes in maximal motor unit discharge rate (Kamen and Knight, 2004), and changes at the whole-muscle and single-fiber levels (Frontera et al., 2003), among others. The results of the present study suggest that during the first three months of training (13 weeks), a low-volume and high-volume of strength training may induce a similar stimulus under the mechanism related to strength increases in elderly women. To our knowledge, there are only two studies comparing the effects of low- and high-volume training on strength gains in elderly women. Cannon and Marino (2010), after 10 weeks of training, reported that one- and three-sets of each exercise induced similar increases in knee extension 1-RM (27.8% for one-set and 24.7% for three-sets) and in maximal isometric strength of the knee extensors (18.6% for one-set and 17.4% for three-sets). Likewise, Galvão and Taaffe (2005) also observed no differences in elbow flexion 1-RM (39.9% for one-set and 60% for

**Table 2**  
Absolute values and percentage change ( $\Delta\%$ ) of maximum EMG activity after 13 weeks of training. The results represent means  $\pm$  SD.

| Variable              | Low-volume (LV, n = 11) |                   |                 | High-volume (HV, n = 9) |                   |                 |
|-----------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
|                       | Pre                     | Post              | $\Delta\%$      | Pre                     | Post              | $\Delta\%$      |
| Vastus lateralis (mV) | 0.115 $\pm$ 0.05        | 0.132 $\pm$ 0.85  | 15.1 $\pm$ 36.7 | 0.128 $\pm$ 0.02        | 0.132 $\pm$ 0.02  | 24.4 $\pm$ 29.6 |
| Rectus femoris (mV)   | 0.066 $\pm$ 0.03        | 0.062 $\pm$ 0.35  | 34.3 $\pm$ 58.7 | 0.076 $\pm$ 0.01        | 0.088 $\pm$ 0.01  | 43.2 $\pm$ 45.4 |
| Vastus medialis (mV)  | 0.091 $\pm$ 0.03        | 0.112 $\pm$ 0.04* | 27.9 $\pm$ 40.2 | 0.106 $\pm$ 0.06        | 0.124 $\pm$ 0.06* | 22.3 $\pm$ 37.0 |
| Biceps brachii (mV)   | 0.206 $\pm$ 0.09        | 0.254 $\pm$ 0.15* | 24.7 $\pm$ 53.9 | 0.368 $\pm$ 0.22        | 0.461 $\pm$ 0.21* | 47.4 $\pm$ 61.6 |

\* Significant increase from pre training values ( $p \leq 0.05$ ).

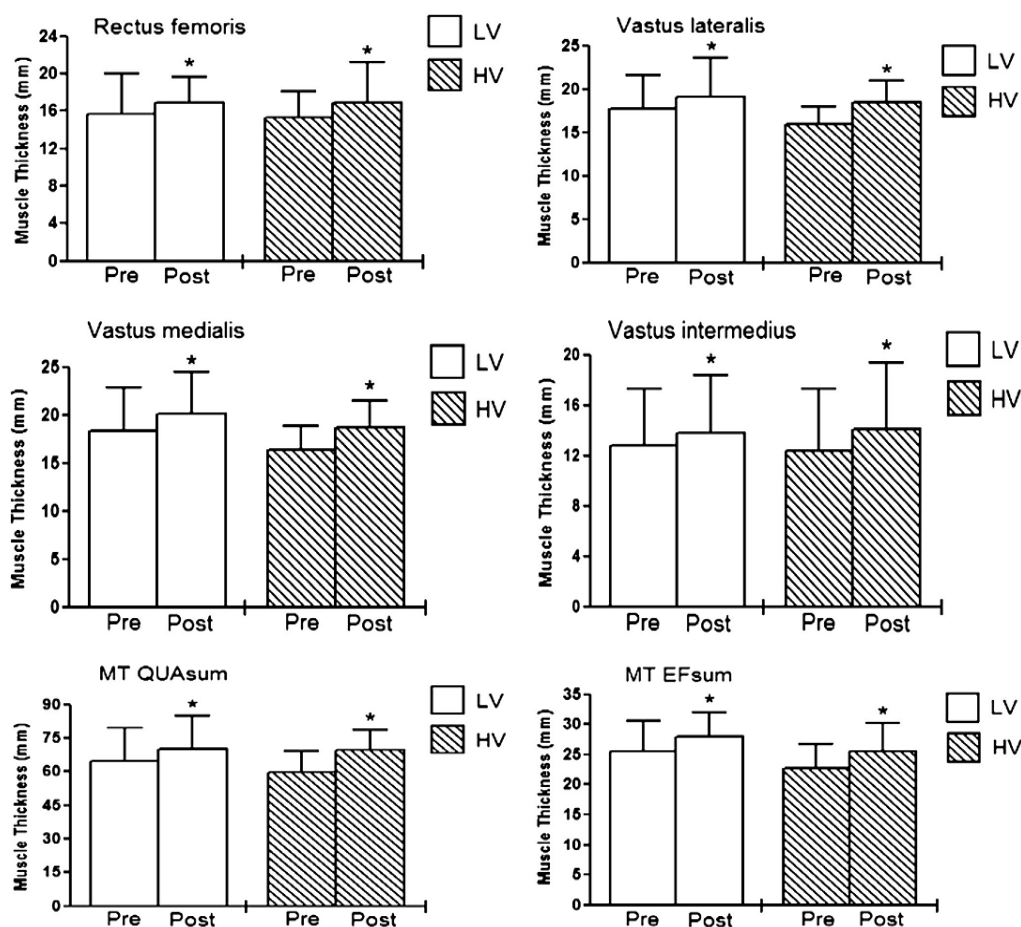


Fig. 2. Absolute values (mean  $\pm$  SD) of muscle thickness (MT) of the individual quadriceps femoris muscles, MT QUAsum and MT EFsum, before and after 13 weeks of training. \*Significant increase from pre training values ( $p \leq 0.001$ ).

three-sets) or knee extensor maximal isometric strength (6.3% for one-set and 20.9% for three-set after 20 weeks of training between one- and three-sets). However, three-sets induced greater increases in knee extension 1-RM (20.8% for one-set and 30.9% for three-sets). In contrast to our study, their training groups were not formed exclusively of elderly women (Cannon and Marino used young and elderly women) (Galvão and Taaffe used elderly men and women). This difference makes a detailed comparison with our current results difficult, because the strength gains from the training program may be different for elderly men and women (Beneka et al., 2005; Ivey et al., 2000a) and for young and elderly women (Ivey et al., 2000b; Lemmer et al., 2000).

Nevertheless, our results, and the findings of these studies regarding increases in dynamic strength (1-RM), may suggest that during the first 3 months of training, elderly women can significantly increase their lower- and upper-body dynamic strength by utilizing low-volume training. In contrast, after longer periods of training, some muscle groups, such as the knee extensors, may require a greater training volume to provide further strength gains, whereas other muscle groups, such as the elbow flexors, may still show gains with a low training volume (Bottaro et al., 2011; Starkey et al., 1996). Relative to isometric strength increments, high- and low-volume training appear to promote similar gains in the lower- and upper-body independent of the duration

Table 3

Muscle quality absolute values and percentage ( $\Delta\%$ ) change after 13 weeks of training. The results represent means  $\pm$  SD.

| Variable         | Low-volume (LV, n = 11) |                  |                             | High-volume (HV, n = 9) |                  |                   |
|------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|-------------------|
|                  | Pre                     | Post             | $\Delta\%$                  | Pre                     | Post             | $\Delta\%$        |
| MQ <sub>ST</sub> | 0.75 $\pm$ 0.19         | 0.89 $\pm$ 0.15  | 22.2 $\pm$ 18.1**           | 0.77 $\pm$ 0.22         | 0.94 $\pm$ 0.26  | 20.8 $\pm$ 19.5** |
| MQ <sub>AS</sub> | 2.93 $\pm$ 0.71         | 3.57 $\pm$ 0.54  | 25.6 $\pm$ 18.8**           | 2.98 $\pm$ 0.87         | 3.76 $\pm$ 1.08  | 26.3 $\pm$ 8.5**  |
| MQ <sub>EI</sub> | 141.3 $\pm$ 17.0        | 123.3 $\pm$ 12.7 | 12.0 $\pm$ 9.9 <sup>†</sup> | 141.3 $\pm$ 20.4        | 110.4 $\pm$ 16.3 | 20.9 $\pm$ 9.2*   |

MQ<sub>EI</sub>: muscle quality using the echo intensity images; MQ<sub>ST</sub>: unilateral knee extension 1-RM (kg)/MT QUAsum (mm); MQ<sub>AS</sub>: unilateral knee extension 1-RM (kg)/MT QUAsum (mm)<sup>0.67</sup>.

\*  $p \leq 0.01$ ; significant increase from pre training values.

\*\*  $p \leq 0.001$ ; significant increase from pre training values.

of training. More studies are necessary to elucidate possible mechanisms for this modal difference.

In the present study, the LV and HV groups significantly increased their maximum EMG activity of the BB and VM, with no difference between groups. This increase in maximum EMG activity is related to a higher agonist neural drive caused by changes in the synchronization of motor unit action potentials, motor unit recruitment and firing frequency (Aagaard, 2003). For the quadriceps, we only observed a significant increase in the maximum EMG activity of the VM, corroborating a differential effect of training on individual components of the quadriceps muscle (Rabita et al., 2000). Few studies have analyzed the influence of training volume on maximum EMG muscle activity. Cannon and Marino (2010) observed that one-set and three-sets induced similar increases in maximum EMG activity (average RMS values of the VL and VM) of the quadriceps ( $19.5 \pm 3.5\%$  for one-set and  $21.2 \pm 5.2\%$  for three-sets). However, this method of summation of the average RMS values from different muscles may complicate the interpretation of the results because the quadriceps muscles show inter-individual variability (Rabita et al., 2000). Additionally, it is desirable to independently consider each component muscle (Rabita et al., 2000). In another study, McBride et al. (2003) examined the effects of low-volume (one-set) and high-volume (six-sets) training on the EMG activity of the VM and BB. After 12 weeks of training, the authors did not observe significant changes in muscle EMG activity for either group. However, our data corroborates that significant neural adaptation may be obtained with low-volume training (Cannon and Marino, 2010).

Using B-mode ultrasound to assess MT is a highly reliable method to measure muscular hypertrophy in response to a strength training program (Abe et al., 2000), mainly when the assessment is performed by the same investigator (Ishida et al., 1992). Although the elderly loses muscle mass with age (sarcopenia), their muscular hypertrophy capacity is retained (Aagaard et al., 2010). Previous studies with elderly subjects comparing upper-body muscle gains using low- and high-volume training are not currently available. However, our findings that corroborate the results of related research with young subjects that indicate low- and high-volume training lead to the development of similar levels of muscular hypertrophy in the upper-body. Ronnestad et al. (2007), found that young men who trained with one-set or three-sets, obtained significant and similar muscular hypertrophy in the trapezius muscle ( $13.9 \pm 2.5\%$  and  $9.7 \pm 1.4\%$ , respectively) after 11 weeks of training. In a similar study, Bottaro et al. (2011) also observed that one-set and three-sets significantly increased the elbow flexor MT of young subjects ( $7.2\%$  for one-set and  $5.9\%$  for three-sets), with no significant difference between groups. Our data, regarding MT increases in the upper body, confirms the hypothesis that lower training volume per workout may be as efficient as higher volume in developing muscular hypertrophy in the elderly (Ronnestad et al., 2007). There are many published studies regarding muscular hypertrophy in the lower-body related to training volume with young subjects. However, the results are inconsistent. Ronnestad et al. (2007) observed that cross-sectional area (CSA) of the thigh increased significantly greater in the three-set group than in the one-set group ( $11\%$  vs.  $7\%$ , respectively). Recently in a study by Hanssen et al. (2012) the authors found that three-sets induced additional increases in thigh CSA than one-set ( $12 \pm 2\%$  vs.  $8 \pm 2\%$ , respectively). In addition, they observed that the number of satellite cells in the vastus lateralis, which has a strong relationship with muscle hypertrophy, increased significantly greater in the three-set group ( $14 \pm 7\%$  for one-set and  $37 \pm 7\%$  for three-sets). In contrast, Starkey et al. (1996) observed a small increase in thigh MT assessed using B-mode ultrasound at 60 and 40% of thigh length, and this increase was similar for the one- and three-set regimens. There is only one study comparing the effects of low- and high-volume strength training on muscular hypertrophy in elderly women. Cannon and Marino (2010) observed that after 10 training weeks, low- and high-volume training produced a similar increase in muscle volume of the quadriceps ( $7.8 \pm 2.0\%$  for one-set

and  $9.6 \pm 2.8\%$  for three-set). However, a comparison with our results is difficult because in their study, the training groups were formed from young and elderly women while our study used exclusively elderly women. Muscle hypertrophy in the upper- and lower-body of elderly women may be associated with different events, such as a reduction in the levels of inflammatory markers and cytokines (e.g., interleukin-6, tumor necrosis factor- $\alpha$  and C-reactive protein) (Ogawa et al., 2010) and a specific increase in the content of Type II muscle fiber satellite cells (Verdijk et al., 2009). In the present study, we did not measure any of the previously mentioned variables. However, our results suggest that low- and high-volume training elicit similar responses in these variables for elderly women during the first three months of training. Thus, additional sets may not induce greater muscle hypertrophy.

The LV and HV training groups in our study, showed significant improvements in  $MQ_{ST}$ ,  $MQ_{AS}$  and  $MQ_{EI}$  after the training period, with no difference between groups. Losses in MQ may be related to functional disabilities in the elderly (Tracy et al., 1999), and our results have importance because they suggest that elderly women can significantly improve their lower body muscle quality using a low volume strength training program. There are several studies showing improvement in the MQ of elderly people following a strength training regime (Ivey et al., 2000b; Tracy et al., 1999); however, this study is the first, to our knowledge, to compare the effects of different volumes of strength training on  $MQ_{AS}$  and  $MQ_{EI}$ . Although  $MQ_{ST}$ ,  $MQ_{AS}$  and  $MQ_{EI}$  are all forms of MQ, improvement in each may be related to different mechanisms. Improvements in  $MQ_{ST}$  and in  $MQ_{AS}$  appear to occur for one of the following reasons: neural adaptation, such as an increase in the activation of synergistic muscles, motor unit recruitment and discharge rate; decreased activation of antagonist muscles (Aagaard, 2003); or alterations in muscle architecture. In our study, both groups demonstrated significant muscle hypertrophy and an increase in muscle EMG activity, which might be responsible for the improvements in  $MQ_{ST}$  and  $MQ_{AS}$ . Thus, our results reiterate the idea that measuring  $MQ_{ST}$  may be a better indicator of muscle function than measuring strength alone (Dutta et al., 1997). Whereas, improvement in  $MQ_{ST}$  and  $MQ_{AS}$  should result from neuromuscular alterations, improvement in  $MQ_{EI}$  may be related to changes in skeletal muscle composition. Previous studies have suggested that age-related increases in the echo intensity of lower muscles are caused by the replacement of contractile tissue by fat and fibrous (Arts et al., 2010). Fat accumulation in the lower-body is harmful, because this may impair the glucose control of elderly people, increasing their exposure to metabolic risk factors (Goodpaster et al., 2003). Previous studies observed a reduction in the relative amount of intramuscular fat in elderly women and an improvement in the  $MQ_{EI}$  after a strength-training program (Sipila and Suominen, 1995, 1996). The results of our present study corroborate the findings that strength training can improve  $MQ_{EI}$  of the lower-body. Furthermore, our findings demonstrate that low- and high-volume training were similarly efficient in improving  $MQ_{EI}$  of the lower-body. Moreover, this change in muscular composition may increase muscular strength and performance in the activities of daily living, because the accumulation of fat in the knee muscle is associated with poor lower-body performance (Visser et al., 2002).

## 5. Conclusion

In summary, the results of the present study demonstrate that a 13-week progressive strength training regimen, with low- and high-volume, performed only twice a week promoted similar gains in dynamic and isometric maximal strength of the upper- and lower-body, as well as muscle quality of the lower-body in elderly women. These results have important practical applications because the results indicate that low-volume training, which requires less time to complete and thus enhances exercise participation and adherence (Carpinelli and Otto, 1998; Galvão and Taaffe, 2005), can mitigate several important impairments caused by the aging process and that this improvement is equivalent to that for high-volume training.

### Conflict of interest

There is no conflict of interest.

### Acknowledgments

The authors would like to acknowledge CNPq, CAPES and Miotec-Equipamentos Biomédicos for their funding support for this study.

### References

- Aagaard, P., 2003. Training-induced changes in neural function. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 31, 61–67.
- Aagaard, P., Suetta, C., Caserotti, P., Magnusson, S.P., Kjaer, M., 2010. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 20, 49–64.
- Abe, T., DeHoyos, D.V., Pollock, M.L., Garzarella, L., 2000. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81, 174–180.
- Andersen, J.L., 2003. Muscle fibre type adaptation in the elderly human muscle. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 13, 40–47.
- Arts, I.M., Pillen, S., Schelhaas, H.J., Overeem, S., Zwarts, M.J., 2010. Normal values for quantitative muscle ultrasonography in adults. *Muscle Nerve* 41, 32–41.
- Beneka, A., Malliou, P., Fatouros, I., Jamurtas, A., Gioftsidou, A., Godolias, G., Taxildaris, K., 2005. Resistance training effects on muscular strength of elderly are related to intensity and gender. *J. Sci. Med. Sport* 8, 274–283.
- Berg, H.E., Tedner, B., Tesch, P.A., 1993. Changes in lower limb muscle cross-sectional area and tissue fluid volume after transition from standing to supine. *Acta Physiol. Scand.* 148, 379–385.
- Bottaro, M., Veloso, J., Wagner, D., Gentil, P., 2011. Resistance training for strength and muscle thickness: effect of number of sets and muscle group trained. *Sci. Sports* 26, 259–264.
- Cadore, E.L., Izquierdo, M., Alberton, C.L., Pinto, R.S., Conceicao, M., Cunha, G., Radaelli, R., Bottaro, M., Trindade, G.T., Krueel, L.F., 2012. Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. *Exp. Gerontol.* 47, 164–169.
- Cannon, J., Marino, F.E., 2010. Early-phase neuromuscular adaptations to high- and low-volume resistance training in untrained young and older women. *J. Sports Sci.* 28, 1505–1514.
- Carpinelli, R.N., Otto, R.M., 1998. Strength training. Single versus multiple sets. *Sports Med.* 26, 73–84.
- Castro, M.J., McCann, D.J., Shaffrath, J.D., Adams, W.C., 1995. Peak torque per unit cross-sectional area differs between strength-trained and untrained young adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 397–403.
- Chilibeck, P.D., Stride, D., Farthing, J.P., Burke, D.G., 2004. Effect of creatine ingestion after exercise on muscle thickness in males and females. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36, 1781–1788.
- Dutta, C., Hadley, E.C., Lexell, J., 1997. Sarcopenia and physical performance in old age: overview. *Muscle Nerve Suppl.* 5, S5–S9.
- Falvo, M.J., Sirevaag, E.J., Rohrbach, J.W., Earhart, G.M., 2010. Resistance training induces supraspinal adaptations: evidence from movement-related cortical potentials. *Eur. J. Appl. Physiol.* 109, 923–933.
- Frontera, W.R., Hughes, V.A., Krivickas, L.S., Kim, S.K., Foldvari, M., Roubenoff, R., 2003. Strength training in older women: early and late changes in whole muscle and single cells. *Muscle Nerve* 28, 601–608.
- Fukunaga, Y., Ikezoe, T., Yamada, Y., Tsukagoshi, R., Nakamura, M., Mori, N., Kimura, M., Ichihashi, N., 2012. Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112, 1519–1525.
- Galvão, D.A., Taaffe, D.R., 2005. Resistance exercise dosage in older adults: single- versus multiset effects on physical performance and body composition. *J. Am. Geriatr. Soc.* 53, 2090–2097.
- Goodpaster, B.H., Krishnaswami, S., Resnick, H., Kelley, D.E., Haggerty, C., Harris, T.B., Schwartz, A.V., Kritchevsky, S., Newman, A.B., 2003. Association between regional adipose tissue distribution and both type 2 diabetes and impaired glucose tolerance in elderly men and women. *Diabetes Care* 26, 372–379.
- Hakkinen, K., Kraemer, W.J., Kallinen, M., Linnamo, V., Pastinen, U.M., Newton, R.U., 1996. Bilateral and unilateral neuromuscular function and muscle cross-sectional area in middle-aged and elderly men and women. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 51, B21–B29.
- Hanssen, K.E., Kvamme, N.H., Nilsen, T.S., Ronnestad, B., Ambjornsen, I.K., Norheim, F., Kadi, F., Hallen, J., Drevon, C.A., Raastad, T., 2012. The effect of strength training volume on satellite cells, myogenic regulatory factors, and growth factors. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01452.x> (ahead of print).
- Hass, C.J., Garzarella, L., de Hoyos, D., Pollock, M.L., 2000. Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32, 235–242.
- Hass, C.J., Feigenbaum, M.S., Franklin, B.A., 2001. Prescription of resistance training for healthy populations. *Sports Med.* 31, 953–964.
- Ishida, Y., Carroll, J.F., Pollock, M.L., Graves, J.E., Leggett, S.H., 1992. Reliability of B-mode ultrasound for the measurement of body fat and muscle thickness. *Am. J. Hum. Biol.* 4, 511–520.
- Ivey, F.M., Roth, S.M., Ferrell, R.E., Tracy, B.L., Lemmer, J.T., Hurlbut, D.E., Martel, G.F., Siegel, E.L., Fozard, J.L., Jeffrey Metter, E., Fleg, J.L., Hurley, B.F., 2000a. Effects of age, gender, and myostatin genotype on the hypertrophic response to heavy resistance strength training. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 55, M641–M648.
- Ivey, F.M., Tracy, B.L., Lemmer, J.T., NessAiver, M., Metter, E.J., Fozard, J.L., Hurley, B.F., 2000b. Effects of strength training and detraining on muscle quality: age and gender comparisons. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 55, B152–B157 (discussion B158–159).
- Jakobi, J.M., Rice, C.L., 2002. Voluntary muscle activation varies with age and muscle group. *J. Appl. Physiol.* 93, 457–462.
- Jaric, S., Radosavljevic-Jaric, S., Johansson, H., 2002. Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87, 304–307.
- Kamen, G., Knight, C.A., 2004. Training-related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 59, 1334–1338.
- Kemmler, W.K., Lauber, D., Engelke, K., Weineck, J., 2004. Effects of single- vs. multiple-set resistance training on maximum strength and body composition in trained postmenopausal women. *J. Strength Cond. Res.* 18, 689–694.
- Klein, C.S., Rice, C.L., Marsh, G.D., 2001. Normalized force, activation, and coactivation in the arm muscles of young and old men. *J. Appl. Physiol.* 91, 1341–1349.
- Korhonen, M.T., Mero, A.A., Alen, M., Sipilä, S., Hakkinen, K., Liikavainio, T., Viitasalo, J.T., Haverinen, M.T., Suominen, H., 2009. Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41, 844–856.
- Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W.F., Ryushi, T., Takano, S., Mizuno, M., 2000. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J. Appl. Physiol.* 88, 811–816.
- Lemmer, J.T., Hurlbut, D.E., Martel, G.F., Tracy, B.L., Ivey, F.M., Metter, E.J., Fozard, J.L., Fleg, J.L., Hurley, B.F., 2000. Age and gender responses to strength training and detraining. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32, 1505–1512.
- Lynch, N.A., Metter, E.J., Lindle, R.S., Fozard, J.L., Tobin, J.D., Roy, T.A., Fleg, J.L., Hurley, B.F., 1999. Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J. Appl. Physiol.* 86, 188–194.
- Marshall, P.W., McEwen, M., Robbins, D.W., 2011. Strength and neuromuscular adaptation following one, four, and eight sets of high intensity resistance exercise in trained males. *Eur. J. Appl. Physiol.* 111, 3007–3016.
- McBride, J.M., Blaak, J.B., Triplett-McBride, T., 2003. Effect of resistance exercise volume and complexity on EMG, strength, and regional body composition. *Eur. J. Appl. Physiol.* 90, 626–632.
- Miyatani, M., Kanehisa, H., Fukunaga, T., 2000. Validity of bioelectrical impedance and ultrasonographic methods for estimating the muscle volume of the upper arm. *Eur. J. Appl. Physiol.* 82, 391–396.
- Ogawa, K., Sanada, K., Machida, S., Okutsu, M., Suzuki, K., 2010. Resistance exercise training-induced muscle hypertrophy was associated with reduction of inflammatory markers in elderly women. *Mediat. Inflamm.* <http://dx.doi.org/10.1155/2010/171023> ahead of print.
- Rabita, G., Perot, C., Linsel-Corbeil, G., 2000. Differential effect of knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83, 531–538.
- Ronnestad, B.R., Egeland, W., Kvamme, N.H., Refsnes, P.E., Kadi, F., Raastad, T., 2007. Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *J. Strength Cond. Res.* 21, 157–163.
- Sipilä, S., Suominen, H., 1995. Effects of strength and endurance training on thigh and leg muscle mass and composition in elderly women. *J. Appl. Physiol.* 78, 334–340.
- Sipilä, S., Suominen, H., 1996. Quantitative ultrasonography of muscle: detection of adaptations to training in elderly women. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 77, 1173–1178.
- Starkey, D.B., Pollock, M.L., Ishida, Y., Welsch, M.A., Brechue, W.F., Graves, J.E., Feigenbaum, M.S., 1996. Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28, 1311–1320.
- Tracy, B.L., Ivey, F.M., Hurlbut, D., Martel, G.F., Lemmer, J.T., Siegel, E.L., Metter, E.J., Fozard, J.L., Fleg, J.L., Hurley, B.F., 1999. Muscle quality. II. Effects Of strength training in 65- to 75-yr-old men and women. *J. Appl. Physiol.* 86, 195–201.
- Verdijk, L.B., Gleeson, B.G., Jonkers, R.A., Meijer, K., Savelberg, H.H., Dendale, P., van Loon, L.J., 2009. Skeletal muscle hypertrophy following resistance training is accompanied by a fiber type-specific increase in satellite cell content in elderly men. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 64, 332–339.
- Visser, M., Kritchevsky, S.B., Goodpaster, B.H., Newman, A.B., Nevitt, M., Stamm, E., Harris, T.B., 2002. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. *J. Am. Geriatr. Soc.* 50, 897–904.

**ANEXO 3**

-Artigo publicado no periódico Journal of Sports Medicine and Physical Fitness-

## Effect of two different strength training volumes on muscle hypertrophy and quality in elderly women

R. RADAELLI <sup>1</sup>, E. N. WILHELM <sup>1</sup>, C. E. BOTTON <sup>1</sup>, M. BOTTARO <sup>2</sup>, E. L. CADORE <sup>1,3</sup>, L. E. BROWN <sup>4</sup>, R. S. PINTO <sup>1</sup>

**Aim.** The aim of this study was to compare the effects of 13 weeks of low- or high-volume strength training on upper and lower body muscle thickness and lower body muscle quality determined by ultrasonography in elderly women.

**Methods.** Twenty healthy untrained elderly women were randomly assigned into two strength training groups, low-volume (LV; N.=11; 64.6±3.1 years; 66.4±5.1 kg; 162.9±5.8 cm; 24.8±5.1 kg.m<sup>-2</sup>) or high-volume (HV; N.=9; 63.9±2.3 years; 64.1±7.2 kg; 163.2±4.9 cm; 24.3±4.2 kg.m<sup>-2</sup>). Participants trained two days per week, with the LV group performing one-set of each exercise whereas the HV group performed three-sets of each exercise. The intensity of training was progressive during the training period and controlled using number of repetitions maximum (RM).

**Results.** The knee extensors muscle thickness significantly increased in both groups after 13 weeks (8.6±2.9% for LV and 14.3±3.9% for HV; P≤0.001), with no difference between groups (P>0.05). Both groups showed similar elbow flexors muscle thickness gains after 13 weeks of training (11.2±6% for LV and 12.5±5.6% for HV). The knee extensors echo intensity significantly decreased for both groups after 13 weeks (P≤0.05), with no difference between groups.

**Conclusion.** These findings suggest that high- and low-volume strength training are similarly effective in increasing muscle thickness and improving muscle quality in elderly women after 13 weeks of strength training.

**KEY WORDS:** Aging - Resistance training - Ultrasonography.

One of the most harmful effects of aging is the loss of skeletal muscle mass (*i.e.*, sarcopenia). This process results from a reduction in the number of muscle fibers and atrophy of the remaining fibers.<sup>1, 2</sup> Along with this change in muscle mass, the aging

Corresponding author: R. Radaelli, Physical Education School, Federal University of Rio Grande do Sul, Rua Felizardo n. 760, Bairro Jardim Botânico, 90690-200, Porto Alegre, Brazil.  
E-mail: regis.radaelli@hotmail.com

<sup>1</sup>Physical Education School  
Federal University of Rio Grande do Sul  
Porto Alegre, Brazil

<sup>2</sup>College of Physical Education and Exercise Science  
University of Brasília, Brasília, Brazil

<sup>3</sup>Department of Health Sciences  
Public University of Navarre, Navarre, Spain

<sup>4</sup>Departament of Kinesiology  
California State University, Fullerton, CA, USA

process is also associated with changes in muscle composition,<sup>3, 4</sup> resulting in reduced muscle quality (MQ), especially in elderly women.<sup>3</sup> To counteract this, strength training (ST) is an effective intervention to reduce losses in skeletal muscle;<sup>1</sup> however, the effectiveness of this type of training depends on manipulation of some variables, such as training volume.

ST volume is calculated as the product of the number of sets performed of each exercise and the number of repetitions completed per set.<sup>5</sup> Previous studies with young subjects have demonstrated conflicting results regarding the effects of ST volume on muscle hypertrophy. Some research has found similar muscle hypertrophy using low- and high-volume ST,<sup>6, 7</sup> whereas others found greater gains with high-volume.<sup>8, 9</sup>

Data on the effects of ST volume on muscle hypertrophy in elderly people are scarce. To the best of our knowledge, only one study compared the effects of low- and high-volume ST on muscle hypertrophy in an elderly population.<sup>10</sup> They observed similar increases in knee extensor muscle hypertrophy in



elderly women who trained ten weeks using low- or high-volume. However, they did not investigate the effects of low- and high-volume training on upper-body muscle mass, and it can be speculated that the upper and lower-body may respond differently to a low- or high-volume ST program.<sup>8, 9</sup> Furthermore, their training groups were comprised of young and elderly women. This may have influenced the results, because gains induced by ST programs can be affected by age.<sup>11, 12</sup>

MQ can be assessed by ultrasonography using echo intensity calculated from a grey scale value. The increase in echo intensity, which represents MQ reduction, is believed to be caused by an increase in intramuscular fibrous and adipose tissue deposited within the muscle.<sup>13</sup> In fact, it has been shown that ST may decrease the echo intensity values, which suggests a reduced quantity of non-contractile tissue within the muscle and an improved MQ.<sup>14</sup> However the effect of different ST volumes on the MQ of elderly people remains unknown. The ideal ST volume and its effects on MQ during different training periods have great importance for the ST prescription. In untrained elderly, the stimulus threshold required to elicit neuromuscular adaptations may be lower.<sup>10, 15, 16</sup> Thus, low-volume training, which is associated with greater adherence,<sup>16</sup> may be as effective as high-volume training for improvements in MQ.

Therefore, the aim of the present study was to compare the effects of low- or high-volume ST on upper and lower body muscle thickness (MT) and lower body MQ in elderly women, following 13 weeks of ST.

## Materials and methods

### Participants

Twenty healthy elderly women that had not participated in a regular strength training program for at least three months volunteered for this study. They were randomly divided into two groups, low-volume (LV; N.=11) or high-volume (HV; N.=9). The physical characteristics of the training groups are showed in the Table I. All subjects were carefully informed of the design of the study and gave their written consent to participate. Subjects were free of any cardio-

TABLE I.—Physical characteristics (mean±SD) before 13-week strength training period.

| Variable                  | Low-volume (N.=11) | High-volume (N.=9) |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Age (y)                   | 64.6±3.1           | 63.9±2.3           |
| Body mass (kg)            | 66.4±5.1           | 64.1±7.2           |
| Height (cm)               | 162.9±5.8          | 163.2±4.9          |
| Body fat (%)              | 19.8±3.7           | 19.1±7.9           |
| BMI (kg.m <sup>-2</sup> ) | 24.8±5.1           | 24.3±4.2           |
| Knee extension 1-RM       | 49.5±16.4          | 50.8±16.4          |

BMI: body mass index (kg/m<sup>2</sup>); 1-RM: one-repetition maximum.

vascular, metabolic or musculoskeletal limitations to physical exercise. All the women were postmenopausal and with normal body mass index (BMI). All procedures of the present study received the approval of the Institutional Research Ethics Committee and followed the principles of the Helsinki declaration.

### Procedures

#### STRENGTH TRAINING PROGRAM

A supervised ST program was performed twice a week for a period of 13 weeks, with at least two days of rest between training sessions. In each workout, both groups performed the following exercises: bilateral knee extension, lat pull-down, bilateral leg press, bilateral elbow flexion, bilateral leg curl, bench press, triceps extension, hip abduction and adduction, and abdominal crunch. During the training period, the HV group performed three sets of each exercise with 2-min rest between sets, whereas the LV group performed one set of each exercise. The intensity of training (determined by maximal repetitions – RM) was altered similarly for both groups. The intensity of training utilized during the training period was choose following previous studies.<sup>9, 17</sup> During the first 6 weeks the subjects trained at 15-20 RM; during weeks 7-10 they trained at 12-15RM; while in the last three weeks they trained with an intensity of 10-12 RM. When participants were able to perform more repetitions than prescribed, the training load for the next workout was increased by 2.5 to 5 kg. All training sessions were monitored by at least two trained investigators and all women completed at least 95% of the workouts.

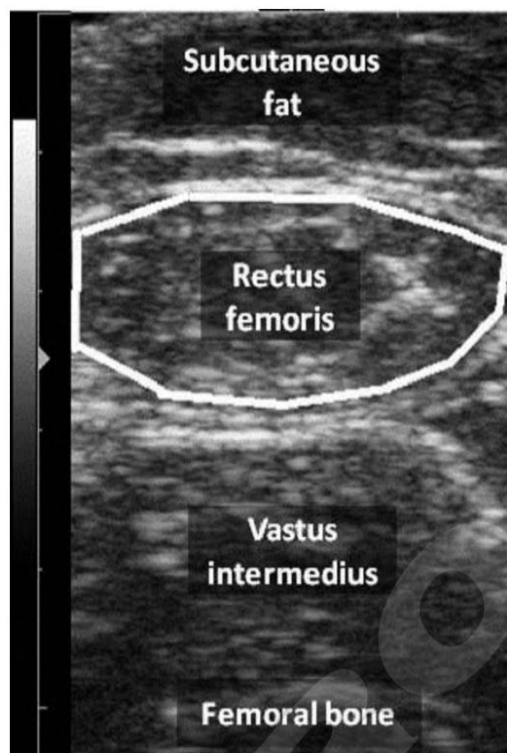


Figure 1.—Region of interest in the rectus femoris muscle where the echo intensity was calculated.

#### MUSCLE THICKNESS

Real-time B-Mode ultrasonography (Philips-VMI, Ultra Vision Flip, Brazil) with a 7.5MHz linear-array probe (38 mm), was used to obtain MT of the knee extensor muscles. The overall knee extensors MT ( $KE_{MT}$ ) was calculated as the sum of rectus femoris (RF), vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM) and vastus intermedius (VI);  $MT=RF+VL+VM+VI$ .<sup>17</sup> The MT of the elbow flexor biceps brachii and brachialis ( $EF_{MT}$ ) muscles was determined from the sum of their MT (biceps brachii and brachialis). All sites of MT measurements have been previously described.<sup>18-21</sup> Measurements were performed on the right leg and arm while the subjects were in a supine position with limbs extended and relaxed, after resting in the supine position for 15 min to allow fluid shifts to occur.<sup>22</sup> The probe was coated with a water-soluble transmission gel to provide acoustic contact without depressing the dermal surface. All images were

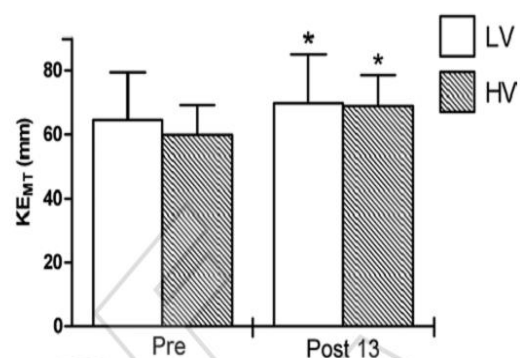


Figure 2.—Changes in quadriceps femoris muscle thickness after 13 weeks of training. HV: high-volume group; LV: low-volume group; \* Significant increase from pre training values ( $P \leq 0.001$ ).

digitized and later analyzed in Image-J software (version 1.37, National Institute of Health, USA). All measurements were made by the same investigator. Baseline test and retest (7 days between test and retest) reliability ICC's of MT measurements were between 0.85 and 0.95.

#### MUSCLE QUALITY

Knee extensor MQ ( $KE_{MQ}$ ) was determined from the echo intensity values calculated by computer assisted grey-scale analysis using the standard function of the Image-J software (version 1.37, National institute of health, USA). High values of echo intensity represents changes associated with increase of amount noncontractile tissue within of muscle.<sup>13</sup> Thus, reducing in amount of noncontractile tissue within of muscle reducing the echo intensity values and increase the MQ. To calculate the echo intensity value, a region of interest in the RF muscle that included as much RF muscle as possible without any bone or surrounding fascia was selected. The echo intensity value of interest region was calculated and resulted in a number between 0 (black) and 255 (white) (Figure 1). The mean echo intensity was calculated using three images.

#### Statistical analyses

All data are presented as mean $\pm$ SD. Normality of the distribution, homogeneity and sphericity for outcome measures were tested using Shapiro-Wilk, Levene and Mauchly's test, respectively. As

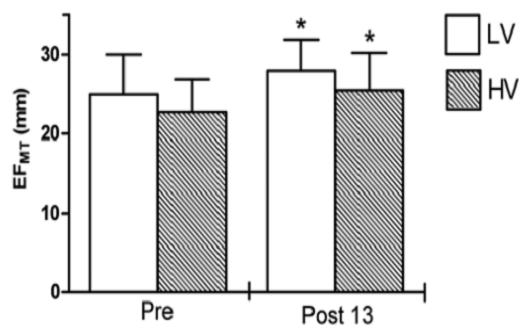


Figure 3.—Changes in elbow flexors muscle thickness after 13 weeks of training. HV: high-volume group; LV: low-volume group; \* Significant increase from pre training values ( $P \leq 0.001$ ).

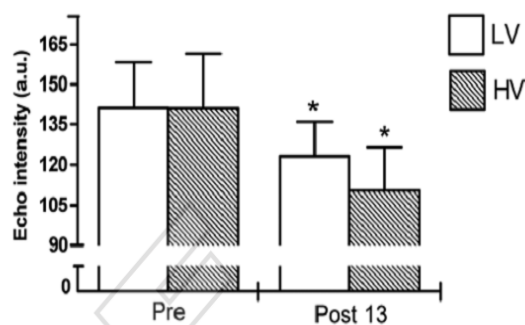


Figure 4.—Changes in echo intensity after 13 weeks of training. HV: high-volume group; LV: low-volume group; \* Significant decrease from pre training values ( $P \leq 0.05$ ).

data showed normal distribution, homogeneity and sphericity ( $P > 0.05$ ), the effects of training volume was assessed by a two-way mixed model (group  $\times$  time) Analysis of Variance (ANOVA). When a significant F value was identified, a Bonferroni post hoc test was used to identify pairwise differences between means. The significance level was set at  $P \leq 0.05$ .

## Results

### Muscle hypertrophy

Before training, there were no significant differences between groups in  $KE_{MT}$  or  $EF_{MT}$  ( $P > 0.05$ ). The  $KE_{MT}$  increased significantly in both groups after 13 weeks of training, from  $64.6 \pm 14.8$  mm to  $69.9 \pm 15.2$  mm (by  $8.6 \pm 2.9\%$ ) ( $P \leq 0.001$ ) in LV group and from  $59.8 \pm 9.5$  mm to  $68.3 \pm 10.6$  mm (by  $14.3 \pm 3.9\%$ ) ( $P \leq 0.001$ ) in HV group ( $F_{(1)} = 288.68$ ;  $P \leq 0.001$ ;  $\eta^2 = 0.97$ ), however there were no group effect ( $F_{(1)} = 0.18$ ;  $P > 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.02$ ) and no significant time-group interaction ( $F_{(1)} = 13.27$ ;  $P > 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.62$ ) at any time point (Figure 2). Regarding  $EF_{MT}$ , significant increases were also observed for both groups after 13 weeks of ST, from  $25.5 \pm 5$  mm to  $27.9 \pm 4$  mm (by  $11.2 \pm 6\%$ ) ( $P \leq 0.001$ ) in LV group and from  $22.7 \pm 4.1$  mm to  $25.5 \pm 4.7$  mm ( $12.5 \pm 5.6\%$ ) ( $P \leq 0.001$ ) in HV group ( $F_{(1)} = 88.50$ ;  $P \leq 0.001$ ;  $\eta^2 = 0.91$ ), with no difference between groups ( $F_{(1)} = 4.54$ ;  $P > 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.36$ ) and no significant time-group interaction at any time point ( $F_{(1)} = 0.26$ ;  $P > 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.03$ ) (Figure 3).

### Muscle quality

There were no significant differences between groups at baseline. In both groups, echo intensity significantly decreased after 13 weeks of training, from  $141.3 \pm 17$  to  $123.3 \pm 12.7$  (by  $-12.9 \pm 9.9\%$ ) ( $P \leq 0.05$ ) in LV group and from  $141.3 \pm 20.4$  to  $110.4 \pm 16.3$  (by  $-20.9 \pm 7.7\%$ ) ( $P \leq 0.05$ ) in HV group ( $F_{(1)} = 67.77$ ;  $P \leq 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.89$ ), with no significant difference between groups ( $F_{(1)} = 0.18$ ;  $P > 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.02$ ), and no significant time-group interactions ( $F_{(1)} = 0.74$ ;  $P > 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.08$ ) (Figure 4).

## Discussion

The primary findings of the present study were that LV and HV groups demonstrated similar increases in  $KE_{MT}$ ,  $EF_{MT}$  and MQ after 13 weeks of training. These results suggest that only one set per exercise (*i.e.*, low volume) is as effective as three sets per exercise (*i.e.*, high volume) in promoting hypertrophy and enhancing MQ in untrained elderly women during early training phases.

Regarding knee extensor muscle hypertrophy, our results corroborate the study of Cannon and Marino,<sup>10</sup> who observed similar muscle hypertrophy in subjects who trained with low- or high-volume during ten weeks of ST. Nevertheless, subjects in their study were young and elderly women, and this makes comparison difficult with our present results. Muscle hypertrophy is strongly associated with muscle damage, endocrinal responses and metabolic stimulus.<sup>23</sup> For example, muscle damage induced by

ST is associated with the activation of satellite cells, inflammatory agents and upregulation of IGF-1,<sup>24</sup> which are anabolic mechanisms important for hypertrophic response. Therefore, it could be speculated that multiple sets using the same intensity of training than single set would induce more structural damage and, consequently, increased responses. However, our results showed that HV and LV groups demonstrated a similar increase in  $KE_{MT}$  after 13 weeks of training. Thus, it might be suggested that low- and high-volume strength training, scheduled with equal intensity of training in each exercise, for elderly women may promote similar responses in mechanisms associated with muscle hypertrophy during the first 13 weeks of ST.

To the best of the authors' knowledge, no studies have assessed the effects of low- or high-volume ST on hypertrophy of upper-body muscles in the elderly. Similar to the present study, previous investigations using young subjects have shown similar upper-limb hypertrophy induced by ST. Bottaro *et al.*,<sup>6</sup> found that MT of the biceps brachii equally increased significantly for subjects who trained with low- or high-volume (7.2% and 5.9%, respectively) following ten weeks of training. Likewise, Ronnestad *et al.*,<sup>8</sup> observed similar increases in cross sectional area of the trapezius muscle after 12 weeks of training in subjects who trained with low- or high-volume (13.9±2.5% and 9.7±1.4%, respectively). In another study,<sup>9</sup> it was also observed similar increases in cross sectional area of the trapezius between groups that used low- or high-volume training. As observed in these studies, we showed that low-volume ST is effective for elderly women to achieve significant muscle hypertrophy in upper-body muscles. In general, the arm muscles are less trained than the leg muscles,<sup>8</sup> and, consequently, the threshold to induce muscle hypertrophy in the former may be lower. From a practical standpoint, a low volume of ST (*i.e.*, one set per exercise) was sufficient stimulus to promote hypertrophy in both upper and lower-body muscles, at least for 13 weeks of training.

MQ in our study significantly improved for both LV and HV groups after 13 weeks of training, with no difference between groups. A previous study also observed a decrease in echo intensity of the vastus lateralis after a ST program.<sup>14</sup> However, the present study is the first to compare the effects of different volumes of ST on MQ assessed by echo intensity. Our results are impor-

tant because it shows that elderly women can significantly improve their MQ using a low-volume of ST. The mechanisms associated with MQ improvement are still unclear but it has been suggested that the echo intensity assessed by gray scale values is associated with the amount of intramuscular fibrous and adipose tissue,<sup>13</sup> thus the improvement in MQ could be associated with a reduction in the amount of non-contractile tissue within the muscle. In fact, echo intensity has been negatively associated with strength performance in elderly populations.<sup>25</sup> Thus, our results suggest that both low and high volume ST induces similar improvements in MQ.

#### Limitations of the study

It is important to note some limitations in the present study. The small sample size of the training groups limits the extrapolation of the findings to all elderly women. Additionally, in the present study the training intensity was determined by RM and ST programs that use other way to control training intensity, like percentage of the RM, may observe different results.

#### Conclusions

In summary, the results of the present study showed that low- or high-volume ST was equally effective to promote muscle hypertrophy in lower- and upper-body muscles, as well as improving MQ in the lower-body of elderly women. These findings have important implications for the prescription of ST programs, since elderly women may benefit from ST using a low-volume program for a period of three months. However, future studies utilizing longer periods of training are necessary to investigate whether additional sets may promote greater lower- and upper-body muscle gains.

#### References

1. Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, Kjaer M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20:49-64.
2. Doherty TJ. Invited review: Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol* 2003;95:1717-27.
3. Goodpaster BH, Carlson CL, Visser M, Kelley DE, Scherzinger A, Harris TB *et al.* Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Health ABC Study. *J Appl Physiol* 2001;90:2157-65.

4. Visser M, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, Newman AB, Nevitt M, Stamm E *et al.* Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. *J Am Geriatr Soc* 2002;50:897-904.
5. Hass CJ, Garzarella L, de Hoyos D, Pollock ML. Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:235-42.
6. Bottaro M, Veloso J, Wagner D, Gentil P. Resistance training for strength and muscle thickness: Effect of number of sets and muscle group trained. *Sci Sports* 2011;26:259-64.
7. Starkey DB, Pollock ML, Ishida Y, Welsch MA, Brechue WF, Graves JE *et al.* Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:1311-20.
8. Ronnestad BR, Egeland W, Kvamme NH, Refsnes PE, Kadi F, Raastad T. Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *J Strength Cond Res* 2007;21:157-63.
9. Hanssen KE, Kvamme NH, Nilsen TS, Ronnestad B, Ambjornsen IK, Norheim F *et al.* The effect of strength training volume on satellite cells, myogenic regulatory factors, and growth factors. *Scand J Med Sci Sports* 2012 [Epub ahead of print].
10. Cannon J, Marino FE. Early-phase neuromuscular adaptations to high- and low-volume resistance training in untrained young and older women. *J Sports Sci* 2010;28:1505-14.
11. Ivey FM, Tracy BL, Lemmer JT, NessAiver M, Metter EJ, Fozard JL *et al.* Effects of strength training and detraining on muscle quality: age and gender comparisons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000;55:B152-7.
12. Lemmer JT, Hurlbut DE, Martel GF, Tracy BL, Ivey FM, Metter EJ *et al.* Age and gender responses to strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1505-12.
13. Pillen S, Tak RO, Zwarts MJ, Lammens MM, Verrijp KN, Arts IM *et al.* Skeletal muscle ultrasound: correlation between fibrous tissue and echo intensity. *Ultrasound Med Biol* 2009;35:443-6.
14. Sipilä S, Suominen H. Quantitative ultrasonography of muscle: detection of adaptations to training in elderly women. *Arch Phys Med Rehabil* 1996;77:1173-8.
15. Galvao DA, Taaffe DR. Resistance exercise dosage in older adults: single- versus multiset effects on physical performance and body composition. *J Am Geriatr Soc* 2005;53:2090-7.
16. Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:456-64.
17. Cadore EL, Izquierdo M, Alberton CL, Pinto RS, Conceicao M, Cunha G *et al.* Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. *Exp Gerontol* 2012;47:164-9.
18. Chilibeck PD, Stride D, Farthing JP, Burke DG. Effect of creatine ingestion after exercise on muscle thickness in males and females. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1781-8.
19. Korhonen MT, Mero AA, Alen M, Sipilä S, Hakkinen K, Liikavainio T *et al.* Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:844-56.
20. Miyatani M, Kanehisa H, Fukunaga T. Validity of bioelectrical impedance and ultrasonographic methods for estimating the muscle volume of the upper arm. *Eur J Appl Physiol* 2000;82:391-6.
21. Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S, Mizuno M. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol* 2000;88:811-6.
22. Berg HE, Tedner B, Tesch PA. Changes in lower limb muscle cross-sectional area and tissue fluid volume after transition from standing to supine. *Acta Physiol Scand* 1993;148:379-85.
23. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 2010;24:2857-72.
24. Schoenfeld BJ. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *J Strength Cond Res* 2012;26:1441-53.
25. Visser M, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Newman AB, Nevitt M, Rubin SM, *et al.* Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2005;60:324-33.

*Acknowledgements.*—The authors would like to thank CNPq and CAPES.

*Conflicts of interest.*—The authors certify that there is no conflict of interest with any financial organization regarding the material discussed in the manuscript.

Received on June 12, 2013.

Accepted for publication on June 12, 2013.