

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO**  
**HUMANO**

**EFEITOS DA MANIPULAÇÃO DA ORDEM DOS TIPOS DE EXERCÍCIO**  
**DURANTE O TREINAMENTO CONCORRENTE NAS ADAPTAÇÕES**  
**NEUROMUSCULARES E CARDIORRESPIRATÓRIAS EM HOMENS IDOSOS**

**Tese de Doutorado**

**Eduardo Lusa Cadore**

**Porto Alegre, setembro de 2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO  
HUMANO**

**EDUARDO LUSA CADORE**

**EFEITOS DA MANIPULAÇÃO DA ORDEM DOS TIPOS DE EXERCÍCIO  
DURANTE O TREINAMENTO CONCORRENTE NAS ADAPTAÇÕES  
NEUROMUSCULARES E CARDIORRESPIRATÓRIAS EM HOMENS IDOSOS**

**Tese de doutorado com objetivo de  
obtenção do título de Doutor do  
Programa de Pós-graduação em  
Ciências do Movimento Humano, EsEF,  
UFRGS.**

**Orientador: Luiz Fernando Martins Kruehl**

**Porto Alegre, setembro de 2012**

### CIP - Catalogação na Publicação

Cadore, Eduardo Lusa

EFEITOS DA MANIPULAÇÃO DA ORDEM DOS TIPOS DE EXERCÍCIO DURANTE O TREINAMENTO CONCORRENTE NAS ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES E CARDIORRESPIRATÓRIAS EM HOMENS IDOSOS / Eduardo Lusa Cadore. -- 2012. 139 f.

Orientador: Luiz Fernando Martins KrueL.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. treinamento combinado. 2. eletromiografia. 3. qualidade muscular. 4. treinamento de força. 5. treinamento aeróbico. I. KrueL, Luiz Fernando Martins, orient. II. Título.

**COMISSÃO DE AVALIAÇÃO:**

Prof. Dr. Mikel Izquierdo Redín, UPNA, Navarra, Espanha

Prof. Dr. Paulo de Tarso Veras Farinatti, UERJ, Rio de Janeiro, Brasil

Prof. Dr. Jorge Pinto Ribeiro, UFRGS, Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Dr. Ronei Silveira Pinto, UFRGS, Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Dr. Alexandre Velly Nunes, UFRGS, Rio Grande do Sul, Brasil

CONCEITO FINAL: A

Orientador: Luiz Fernando Martins Kruel

Doutorando: Eduardo Lusa Cadore

Porto Alegre, setembro de 2012

## AGRADECIMENTOS

Muito obrigado Prof. Luiz Fernando Krueel, meu orientador, por apostar em mim, por todos ensinamentos ao longo de minha carreira acadêmica, todas as portas abertas e todo apoio nos bons e nos maus momentos.

Muito obrigado Prof. Ronei Silveira Pinto, por todo incentivo na investigação do treinamento concorrente, por todas as discussões enriquecedoras e por toda colaboração em nossos projetos.

Muchas gracias Prof. Mikel Izquierdo, por aceptarme en tu laboratorio, y por la oportunidad de aprender contigo. Además de un gran maestro, eres una gran persona.

Muito obrigado aos demais membros da minha banca por aceitarem participar da avaliação da minha tese, Prof. Paulo Farinatti, Prof. Alexandre Nunes e, especialmente, Prof. Jorge Pinto Ribeiro por sua contribuição na qualificação do projeto.

A todos os colaboradores da minha tese, além dos Professores Krueel, Mikel e Ronei, muito obrigado a Cristine Alberton, Prof. Marco Aurélio Vaz, Bruno Baroni, Fábio Lanferdini, Giovani Cunha, Régis Radaelli, Prof. Martim Bottaro, meus bolsistas Matheus Conceição e Guilherme Trindade, e muito especialmente, a Stephanie Santana Pinto.

Muito obrigado a todos os demais membros do GPAT, por todos ensinamentos ao longo de todas reuniões.

Muito obrigado aos funcionários do LAPEX e PPGCMH, especialmente Luciano, Dani, Andrézinho.

Muito obrigado a todos os senhores que foram sujeitos do estudo, sem vocês a realização do projeto seria impossível. Aprendi muito com vocês.

Muito obrigado aos velhos e aos novos amigos, grandes conquistas na vida.

Quero dedicar esse trabalho a minha família, especialmente aos meus pais, Itacir Cadore e Delma Lusa Cadore, pela minha vida, por todo amor, pelo esforço em me educar e por me fazer perceber a importância do estudo. Obrigado por fazerem de mim um guerreiro com os exemplos e a educação de vocês.

## **FINANCIAMENTO**

- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasil
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS),  
Brasil
- Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Brasil
- Fundação Carolina, Espanha
- Universidade Pública de Navarra, Navarra, Espanha

## APRESENTAÇÃO

A presente tese de doutorado será apresentada no modelo tradicional. Os dados apresentados nessa tese geraram as seguintes publicações originais (anexo I):

1. Cadore, E.L., Izquierdo, M., Alberton, C.L., Pinto, R.S., Conceição, M., Cunha, G., Radaelli, R., Bottaro, M., Trindade, G.T., Krueel, L.F. Strength prior to endurance intrasession exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. *Exp. Gerontol.* 47, 164-169, 2012.
2. Cadore, E.L., Izquierdo, M., Pinto, S.S., Alberton, C.L., Pinto, R.S., Baroni, B.M., Vaz, M.A., Lanferdini, F.J., Radaelli, R., González-Izal, M., Bottaro, M., Krueel, L.F. Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: effects of intrasession exercise sequence. *Age (Dordr)* 2012. doi 10.1007/s11357-012-9405-y.

Além disso, parte da revisão de literatura apresentada nessa tese gerou o seguinte artigo de revisão (anexo I):

3. Cadore, E.L., Pinto, R.S., Krueel, L.F. Adaptações neuromusculares ao treinamento de força e concorrente em homens idosos. *Rev. Bras. Cineant. Des. Hum.* 14, 487-499, 2012.

Além dos artigos supracitados, durante o período do doutorado (junho de 2009 a setembro de 2012), o doutorando publicou os seguintes trabalhos na área de treinamento concorrente ou treinamento físico em idosos:

4. Cadore, E.L., Izquierdo, M., Conceição, M., Radaelli, R., Pinto, R.S., Baroni, B.M., Vaz, M.A., Alberton, C.L., Pinto, S.S., Cunha, G., Bottaro, M., Krueel, L.F. Echo

- intensity is associated with skeletal muscle power and cardiovascular performance in elderly men. *Exp. Gerontol.* 47: 473-478, 2012.
5. Cadore, E.L., Pinto, R.S., Lhullier, F.L.R., Correa, C.S., Alberton, C.L., Pinto, S.S., Almeida, A.P.V., Tartaruga, M.P., Silva, E.M., Kruel, L.F.M. Physiological effects of concurrent training in elderly men. *Int. J. Sports Med.* 31, 689-697, 2010
  6. Cadore, E.L., Pinto, R.S., Lhullier, F.L.R., Correa, C.S., Alberton, C.L., Pinto, S.S., Almeida, A.P.V., Tartaruga, M.P., Silva, E.M., Kruel, L.F.M. Effects of strength, endurance and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. *J. Strength Cond. Res.* 25, 758–766, 2011.
  7. Cadore, E.L., Pinto, R.S., Alberton, C.L., Pinto, S.S., Lhullier, F.L.R., Tartaruga, M.P., Correa, C.S., Almeida, A.P.V., Silva, E.M., Laitano, O., Kruel, L.F.M. Neuromuscular economy, strength and endurance in healthy elderly men. *J. Strength Cond. Res.* 25, 997–1003, 2011.
  8. Cadore, E.L., Izquierdo, M., Dos Santos, M.G., Martins, J.B., Lhullier, F.L., Pinto, R.S., Silva, R.F., Kruel, L.F.M. Hormonal responses to concurrent strength and endurance training with different exercise orders. *J Strength Cond Res* Jan 3 2012 [Epub ahead of print].
  9. Silva, R.F., Cadore, E.L., Kothe, G., Guedes, M., Alberton, C.L., Pinto, S.S., Pinto, R.S., Trindade, G., Kruel, L.F. Concurrent training with different aerobic intensities. *Int. J. Sports Med.* 33:627-634, 2012.
  10. Correa, C.S., Laroche, D.P., Cadore, E.L., Reischak-Oliveira, A., Bottaro, M. Kruel, L.F., Tartaruga, M.P., Radaelli, R., Wilhelm, E.M., Lacerda, F.C., Gaya, A.R., Pinto, R.S. 3 types of strength training in older women. *Int. J. Sports Med.* Jul 10 2012. [Epub ahead of print].

## RESUMO

O objetivo da presente tese foi investigar os efeitos da ordem das modalidades de treino de força e aeróbico nas adaptações neuromusculares e cardiorrespiratórias ao treinamento concorrente em idosos. Vinte seis homens idosos saudáveis ( $64,7 \pm 4,1$  anos) foram distribuídos em 2 grupos de treino concorrente: treino de força executado antes do treino aeróbico (GFA,  $n=13$ ), e treino aeróbico executado antes do treino de força (GAF,  $n = 13$ ). Os indivíduos treinaram 12 semanas, 3 vezes por semana executando os dois tipos de treinamento na mesma sessão. A espessura muscular (EM) de membros superiores (músculos do quadríceps) e inferiores (flexores do cotovelo) foram mensuradas com a técnica de ultrasonografia. Foram avaliados a força de membros superiores (flexores do cotovelo) e inferiores (extensores do joelho) com o teste de uma repetição máxima (1RM), o pico de torque isométrico (PTiso) dos extensores e flexores do joelho, e a taxa de produção de força (TPF) dos extensores do joelho em um dinamômetro isocinético. Além disso, a tensão específica foi avaliada através do quociente entre os valores de 1RM/2 e o somatório dos valores de EM do quadríceps. A atividade neuromuscular máxima e a economia neuromuscular (valores root mean square obtidos a 50% do PTiso normalizados pela atividade neuromuscular máxima) dos músculos vasto lateral (VL) e reto femoral (RF) foram avaliadas com eletromiografia (EMG) de superfície. O consumo de oxigênio de pico ( $VO_{2\text{pico}}$ ), a potência máxima ( $W_{\text{máx}}$ ), os limiares ventilatórios absolutos ( $LV_1$  e  $LV_2$ ) e relativos ( $LV_1\%$  e  $LV_2\%$ ) e as potências nos limiares ( $W_{LV1}$  e  $W_{LV2}$ ) foram avaliadas em um teste incremental em ciclo ergômetro. Ambos os grupos aumentaram os valores de 1RM e a tensão específica de membros inferiores ( $P<0,001$ ), mas os aumentos foram maiores

no grupo GFA do que em GAF [(35,1 ± 12,8 vs. 21,9 ± 10,6%, respectivamente, P<0,01) e (27,5 ± 12,7 vs. 15,2 ± 10,3%, respectivamente P<0,02)]. Ambos os grupos aumentaram os valores de 1RM de membros superiores (P<0,001), o PTiso dos flexores e extensores do joelho (P<0,001), TPF dos extensores do joelho (P<0,05), a EM dos extensores do joelho e flexores do cotovelo (P<0,001), a atividade neuromuscular máxima do VL e RF (P<0,01 a 0,05) e a economia neuromuscular do VL (P<0,001), sem diferenças entre os grupos. A economia neuromuscular do RF melhorou somente em GFA (P<0,01) e esse aumento foi maior (P<0,05) que em GAF. Houve aumento no VO<sub>2pico</sub> (P<0,001), na W<sub>máx</sub>, (P<0,001) e na W<sub>LV2</sub> (P<0,001) em GAF e GFA, sem diferenças entre os grupos. Somente o grupo GFA aumentou a W<sub>LV1</sub> (P<0,05). Não houve modificações nos valores de LV<sub>1</sub>, LV<sub>2</sub>, LV<sub>1</sub>% e LV<sub>2</sub>% nos grupos. A execução do treinamento concorrente com o treino de força realizado antes do treino aeróbico resulta em maiores ganhos na força máxima e economia neuromuscular dos membros inferiores, bem como resulta em maiores ganhos na potência do primeiro limiar ventilatório.

**Palavras-chave:** treinamento combinado; eletromiografia, qualidade muscular, treinamento de força, treinamento aeróbico.

## ABSTRACT

The aim of this study was investigate the effects of different intra-session exercise orders in the neuromuscular and cardiorespiratory adaptations induced by concurrent training in elderly. Twenty-six healthy elderly men ( $64.7 \pm 4.1$  years), were placed into two concurrent training groups: strength prior to (GFA, n=13) or after (GAF, n=13) endurance training. Subjects trained strength and endurance training during 12 weeks, three times per week performing both exercise types in the same training session. Upper and lower body muscle thickness (MT) were determined by ultrasonography. Upper (elbow flexors) and lower body (knee extensors) one maximum repetition test (1RM), lower-body isometric peak torque (PTiso) and rate of force development (RFD) of knee extensors were evaluated as strength parameters. In addition, the specific tension was evaluated by the quotient between knee extensors 1RM/2 and the quadriceps femoris MT. Lower-body maximal electromyographic activity and the neuromuscular economy (root mean square values at 50% of pre training PTiso normalized by maxima neuromuscular activity) of vastus lateralis (VL) and rectus femoris (RF) muscles were determined by surface electromyography. The peak oxygen uptake ( $VO_{2peak}$ ), maximum aerobic workload ( $W_{m\acute{a}x}$ ), absolute ( $VT_1$  and  $VT_2$ ) and relative ( $VT_1\%$  and  $VT_2\%$ ) ventilatory thresholds, as well as workloads at  $VT_1$  and  $VT_2$  ( $W_{VT1}$  and  $W_{VT2}$ ) were evaluated during a maximal incremental test on a cycle ergometer. Both GFA and GAF increased the lower-body 1RM and specific tension, but the increases observed in the GFA were greater than GAF [ $(35.1 \pm 12.8$  vs.  $21.9 \pm 10.6\%$ , respectively,  $P<0.01$ ) and  $(27.5 \pm 12.7$  vs.  $15.2 \pm 10.3\%$ , respectively,  $P<0.02$ )]. In addition, GFA and GAF increased upper-body 1RM, PTiso of knee extensors and flexors ( $P<0.001$ ), RFD of knee extensors ( $P<0.05$ ), MT of elbow flexors and knee extensors ( $P<0.001$ ), maximal

neuromuscular activity of VL and RF ( $P < 0.01$  to  $0.05$ ), and, neuromuscular economy of VL ( $P < 0.001$ ), with no differences between groups. The neuromuscular economy of RF was improved only in GFA ( $P < 0.01$ ) and this increase was greater than GAF ( $P < 0.05$ ). There were increases in the  $VO_{2peak}$  ( $P < 0.001$ ),  $W_{max}$  ( $P < 0.001$ ) and  $W_{VT2}$  ( $P < 0.001$ ), with no difference between GFA and GAF. Only GFA increased the  $W_{VT1}$  ( $P < 0.05$ ). There were no modifications after training in the  $VT_1$ ,  $VT_2$ ,  $VT_1\%$ , and  $VT_2\%$ . Performing strength prior to endurance exercise during concurrent training resulted in greater maximal strength gains and neuromuscular economy of lower-body, as well as greater changes in the power at first ventilatory threshold.

**Key-words:** Combined training; electromiography; muscle quality; resistance exercise; aerobic training.

## SUMÁRIO

FINANCIAMENTO.....	5
APRESENTAÇÃO.....	6
RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	15
LISTA DE QUADROS, TABELAS E FIGURAS.....	17
INTRODUÇÃO.....	19
1. OBJETIVOS.....	22
1.1. Objetivo geral.....	22
1.2. Objetivos específicos.....	22
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1. TREINAMENTO DE FORÇA EM IDOSOS.....	24
2.1.1. Efeitos na produção de força e potência muscular.....	24
2.1.2. Mecanismos fisiológicos responsáveis pelo aumento na força muscular.....	27
2.1.3. Efeitos na atividade neuromuscular.....	29
2.1.4. Efeitos na massa muscular.....	30
2.1.5. Efeitos na capacidade cardiorrespiratória.....	31
2.2. TREINAMENTO AERÓBICO EM IDOSOS.....	33
2.2.1. Efeitos na força muscular.....	33
2.2.2. Efeitos na capacidade cardiorrespiratória.....	34
2.3. TREINAMENTO CONCORRENTE EM IDOSOS.....	37
2.3.1. Efeitos na força muscular.....	38
2.3.2. Efeitos nas atividade neuromuscular.....	41
2.3.3. Efeitos na massa muscular.....	42
2.3.4. Efeitos na capacidade cardiorrespiratória.....	43
2.3.5. Manipulação da ordem das modalidades de treinamento.....	44
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO.....	46
3.2. POPULAÇÃO E AMOSTRA.....	46
3.2.1. População.....	46
3.2.2. Amostra.....	46
3.3. VARIÁVEIS.....	48
3.3.1. Variáveis Independentes.....	48
3.3.2. Variáveis Dependentes.....	48

3.3.3. Variáveis de caracterização da amostra.....	49
3.3.4. Variáveis Intervenientes.....	49
3.4. TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES.....	49
3.4.1. Treinamento de Força.....	50
3.4.2. Treinamento Aeróbico.....	52
3.4.3. Treinamento concorrente.....	52
3.5. INSTRUMENTOS DE MEDIDA E PROTOCOLOS DE TESTE.....	54
3.5.1. Composição corporal.....	54
3.5.2. Força muscular dinâmica.....	55
3.5.3. Espessura muscular.....	56
3.5.4. Tensão específica.....	58
3.5.5. Torque muscular isométrico máximo e Taxa de produção de força.....	58
3.5.6. Atividade neuromuscular máxima e economia neuromuscular de membros inferiores.....	59
3.5.6. Consumo de oxigênio de pico, potência máxima em ciclo ergômetro e limiares ventilatórios.....	61
3.6. TRATAMENTO DOS DADOS.....	65
3.6.1. Torque isométrico.....	65
3.6.2. Atividade neuromuscular máxima e economia neuromuscular de membros inferiores.....	65
3.6.3. Consumo de oxigênio pico e limiares ventilatórios.....	66
3.8. PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS.....	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
4.1. Normalidade e homogeneidade.....	68
4.2. Caracterização da amostra e frequência de treinamento.....	68
4.3. Variáveis dependentes.....	68
4.3.1. Variáveis neuromusculares.....	69
4.3.2. Variáveis cardiorrespiratórias.....	82
5. CONCLUSÕES.....	88
6. APLICAÇÕES PRÁTICAS.....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXO.....	107

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Bpm	Batimentos por minuto
CVM	Contração voluntária máxima
EMG	Eletromiografia
FC	Frequência cardíaca
FC <sub>máx</sub>	Frequência cardíaca máxima
FC <sub>res</sub>	Frequência cardíaca de reserva
FC <sub>lim</sub>	Frequência cardíaca correspondente ao segundo limiar ventilatório
GAF	Grupo de treinamento concorrente com exercício aeróbico realizado antes
GFA	Grupo de treinamento concorrente com exercício de força realizado antes
IEMG	Eletromiografia integrada
LV <sub>1</sub>	Primeiro limiar ventilatório absoluto
LV <sub>2</sub>	Segundo limiar ventilatório absoluto
LV <sub>1</sub> %	Primeiro limiar ventilatório relativo ao VO <sub>2pico</sub>
LV <sub>2</sub> %	Segundo limiar ventilatório relativo ao VO <sub>2pico</sub>
W <sub>LV1</sub>	Potência no primeiro limiar ventilatório
W <sub>LV2</sub>	Potência no segundo limiar ventilatório
%CVM	Percentual da Contração voluntária máxima
% 1 RM	Percentual de uma repetição máxima
RMS	<i>Root mean square</i>
RM	Repetição máxima
sem	Semanas
1 RM	Uma repetição máxima

VCO <sub>2</sub>	Produção de gás carbônico
VE	Ventilação
VO <sub>2</sub>	Consumo de oxigênio
VO <sub>2máx</sub>	Consumo máximo de oxigênio
VO <sub>2pico</sub>	Consumo de oxigênio de pico
↑	Aumento
↓	Diminuição
W <sub>máx</sub>	Potência máxima em ciclo ergômetro
TA	Treinamento aeróbico
TF	Treinamento de força
TC	Treinamento concorrente
VL	Vasto lateral
RF	Reto femoral
BF	Bíceps femoral
VM	Vasto medial
VI	Vasto intermédio
QF	Quadríceps femoral
BB	Bíceps braquial
BR	Braquial
AN	Atividade neuromuscular

## LISTA DE QUADROS, TABELAS E FIGURAS

- Quadro 1: Adaptações neuromusculares ao treinamento de força em idosos, pág. 25 (revisão de literatura).
- Quadro 2: Adaptações cardiorrespiratórias ao treinamento aeróbico em idosos, pág. 37 (revisão de literatura).
- Quadro 3: Adaptações neuromusculares ao treinamento concorrente vs. treinamento de força em idosos, pág. 39 (revisão de literatura).
- Quadro 4: Cálculo amostral para todas variáveis, pág. 47 (métodos).
- Quadro 5: Cronograma de avaliações e treinamento, pág. 50 (métodos).
- Quadro 6: Periodização de 12 semanas do treinamento concorrente, pág. 51 (métodos).
- Figura 1: Treinamento concorrente, pág. 53 (métodos).
- Figura 2: Teste de força dinâmica máxima, pág. 56 (métodos).
- Figura 3: Imagem por ultrasonografia do quadríceps femoral, pág. 57 (métodos).
- Figura 4: Mapeamento para reposicionamento dos eletrodos, pág. 60 (métodos).
- Figura 5: Teste máximo em ciclo ergômetro, pág. 61 (métodos).
- Tabela 1: Características físicas, pág. 68 (resultados e discussão).
- Tabela 2: Performance na força, pág. 69 (resultados e discussão).
- Tabela 3: Espessura muscular, atividade neuromuscular máxima e economia neuromuscular, pág. 70 (resultados e discussão).
- Figura 6: Carga máxima de treinamento, pág. 71 (resultados e discussão).
- Figura 7: Valores de 1RM de membros inferiores, pág. 72 (resultados e discussão).
- Figura 8: Espessura muscular de membros inferiores pág. 73 (resultados e discussão).
- Figura 9: Tensão específica de membros inferiores pág. 74 (resultados e discussão).

- Figura 10: Atividade neuromuscular máxima do vasto lateral pág. 75 (resultados e discussão).
- Figura 11: Atividade neuromuscular máxima do reto femoral pág. 76 (resultados e discussão).
- Figura 12: Economia neuromuscular do reto femoral pág. 76 (resultados e discussão).
- Tabela 4: Variáveis cardiorrespiratórias, pág. 83 (resultados e discussão).
- Figura 13: Consumo de oxigênio de pico pág. 84 (resultados e discussão).
- Figura 14: Potência máxima em ciclo ergômetro pág. 84 (resultados e discussão).

## INTRODUÇÃO

A importância das funções neuromuscular e cardiorrespiratória para a manutenção da capacidade funcional em idosos (ACSM, 2011) tem motivado diversos estudos investigando o treinamento simultâneo de força e aeróbico para avaliar se existe incompatibilidade entre esses tipos de treinamento. De fato, alguns desses estudos têm demonstrado que o treinamento aeróbico pode reduzir o ganho de força e potência decorrentes do treino de força quando ambos são realizados simultaneamente (i.e. efeito de interferência) (SALE et al., 1990; HENNESSY et al., 1994; KRAEMER et al., 1995; BELL et al., 1997; BAAR 2006; PINTO, 2007; CADORE et al., 2010).

Em populações de idosos, poucos estudos investigaram as adaptações neuromusculares ao treino concorrente (WOOD et al., 2001; IZQUIERDO et al., 2004; CADORE et al., 2010; KARAVIRTA et al., 2011). Em estudo de Wood et al. (2001), ganhos de força similares foram observados entre o treinamento de força isolado e concorrente após 12 semanas, três vezes por semana, mas com o grupo concorrente executando 50% do volume de treinamento de força (uma série) comparado ao grupo força (duas séries). Em outro estudo Izquierdo et al. (2004) não observaram efeito de interferência comparando 16 semanas de treinamento de força, duas vezes por semana, e concorrente, uma vez por semana cada modalidade (força e aeróbico). Contudo, em estudos de Wood et al. (2001) e Izquierdo et al. (2004), volumes inferiores de treino de força foram executados pelo grupo concorrente.

Já nos estudos que utilizaram volumes semelhantes entre os grupos de treinamento (força e concorrente) em idosos, os resultados são controversos. Utilizando o mesmo volume de treinamento para os grupos força e concorrente durante 21 semanas, Karavirta et al. (2011) observaram ganhos similares na força máxima e massa muscular entre os grupos

de treinamento, mesmo resultado encontrado em outros estudos com periodização semelhante (SILAMPÄÄ et al. 2008; HOLVIALA et al. 2010). Já em estudo prévio no Laboratório de Pesquisa do exercício da UFRGS, Cadore et al. (2010), observaram um ganho na força dinâmica superior no grupo de força (67%) comparado ao grupo concorrente (41%) após 12 semanas de treinamento. Nesse estudo, o efeito de interferência foi observado concomitante a diferentes adaptações na amplitude do sinal eletromiográfico (EMG) entre os grupos, o que sugere que a interferência na força pode estar relacionada com prejuízo nas adaptações neurais. Entretanto, nesse estudo, o treino aeróbico foi sempre executado imediatamente antes do treino de força, o que pode ter gerado uma fadiga decorrente do treino aeróbico e prejudicado a performance ao longo do treino subsequente. De fato, tem sido demonstrado que o exercício em ciclo ergômetro causa uma diminuição aguda na capacidade de produção de força (LEVERITT e ABERNETHY, 1999), relacionada com a incapacidade de recrutamento máximo de unidades motoras, bem como incapacidade de emitir altas frequências de disparo (LEPERS et al., 2001).

Baseado na possível influência negativa do exercício em cicloergômetro na produção de força, uma questão que surge referente ao estudo de Cadore et al. (2010), é se as diferentes adaptações neurais que ocorreram simultaneamente com as diferentes magnitudes de desenvolvimento na força muscular nos grupos força e concorrente, podem estar associadas à fadiga aguda do treino aeróbico, o que nesse caso poderia ser evitada com a manipulação da ordem das modalidades de treinamento. Em estudo de Gravelle e Blessing (2000), investigando mulheres jovens, não houve diferenças no desenvolvimento de força decorrente da manipulação da ordem de execução dos exercícios de força e aeróbico, realizado em remoergômetro. Contudo, esses autores observaram a mesma magnitude de aumento da força entre os grupos de treino concorrente e o grupo de força (26

– 27,5%), ou seja, nenhuma interferência foi observada. Já Chtara et al. (2008), observaram o efeito de interferência em homens jovens após 12 semanas, mas sem diferenças decorrentes da ordem dos exercícios. Por outro lado, em estudo de Sale et al. (1990), investigando jovens durante 12 semanas de treino concorrente em que foram comparados treinos em dias simultâneos ou alternados de força e aeróbico, foi observado maior magnitude de aumento na força no treino em dias alternados, o que foi justificado pelos autores como decorrente da execução do exercício aeróbico anteriormente ao de força em 50% dos treinos nesse grupo.

Sendo assim, existem resultados controversos na literatura em relação à influência da ordem de execução do exercício aeróbico na magnitude do efeito de interferência. Além disso, nos estudos que investigaram os efeitos da manipulação da ordem dos exercícios não foi mensurada a amplitude do sinal EMG para investigação das adaptações neurais, bem como técnicas de imagem para investigação das adaptações morfológicas, o que permitiria maior inferência nos possíveis mecanismos responsáveis pela influência negativa crônica do treino aeróbico nas adaptações ao treino de força. Ainda, não foram encontrados estudos investigando os efeitos da manipulação da ordem dos tipos de exercícios em idosos.

Com relação às adaptações cardiorrespiratórias, Chtara et al. (2005) observaram maiores ganhos em parâmetros cardiorrespiratórios em homens jovens que executaram o treino aeróbico antes do treino de força, quando comparados à ordem inversa. Resultados diferentes foram observados por Gravelle e Blessing (2000), que observaram maiores ganhos no consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) em mulheres jovens que realizaram o treino de força antes do aeróbico. Sendo assim, além dos dados escassos e controversos a respeito dos efeitos da ordem das modalidades de treino de força e aeróbico nas adaptações

cardiorrespiratórias, não foram encontrados estudos investigando os efeitos dessa ordem em indivíduos idosos.

Tendo em vista a importância da investigação da prescrição simultânea dos exercícios de força e aeróbico para a promoção da saúde em idosos, bem como na carência existente na literatura a respeito do efeito da manipulação da ordem dos tipos de exercício durante o treino concorrente em idosos, a presente investigação chega ao seguinte problema:

*“Existem diferenças nas adaptações neuromusculares e cardiorrespiratórias relacionadas à manipulação da ordem dos tipos de exercício de força e aeróbico durante a execução do treino concorrente em homens idosos?”*

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo do presente estudo foi investigar o efeito da manipulação da ordem dos tipos de exercício de força e aeróbico durante o treinamento concorrente, nas adaptações neuromusculares e cardiorrespiratórias em homens idosos.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar e comparar os efeitos do treinamento concorrente no qual o exercício aeróbico foi realizado antes do treino de força, com os efeitos do treinamento concorrente no qual o exercício aeróbico foi realizado depois do treino de força:

- Na força muscular dinâmica de membros inferiores e superiores;
- No torque muscular isométrico de membros inferiores;
- Na Taxa de produção de força de membros inferiores;

- Na atividade neuromuscular máxima de membros inferiores;
- Na economia neuromuscular de membros inferiores;
- No consumo de oxigênio de pico;
- No primeiro limiar ventilatório;
- No segundo limiar ventilatório;
- Na potência máxima em cicloergômetro;
- Na espessura muscular dos músculos do quadríceps, bíceps braquial e braquial.
- Na tensão específica de membros inferiores.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. TREINAMENTO DE FORÇA EM IDOSOS**

Indivíduos idosos submetidos ao treinamento de força (TF) apresentam aumento na força muscular (HUMPHRIES et al., 2000; IZQUIERDO et al., 2001b; VINCENT & BRAITH, 2002; RYAN et al., 2004), potência muscular (HÄKKINEN et al., 2001b; NOGUEIRA et al., 2009; PEREIRA et al. 2012), ativação muscular (HÄKKINEN & HÄKKINEN, 1995; HÄKKINEN et al., 1996; 1998b; 2000 e 2001b, CADORE et al. 2010; CORREA et al. 2012) e massa muscular (HÄKKINEN et al., 1996; 1998a; 1998c; KRAEMER et al., 1999; IZQUIERDO et al., 2001b; NOGUEIRA et al., 2009). A melhora na performance neuromuscular decorrente do TF nessa população aparenta ser semelhante do que em indivíduos jovens (KRAEMER et al., 1999), já que apesar do prejuízo na função neuromuscular decorrente do envelhecimento, essa população apresenta grande treinabilidade. Essa revisão de literatura dará mais enfoque à população de homens idosos.

#### **2.1.1. Efeitos na produção de força e potência muscular**

Os resultados sugerem que estudos utilizando 2 - 6 séries (aumento de volume progressivo durante a periodização), com intensidades variando de 40 a 80% da força máxima (i.e., 1 repetição máxima - 1RM), com 2 sessões semanais em períodos de 12 a 24 semanas, observaram incrementos médios na força muscular dinâmica de 30% (HÄKKINEN e HÄKKINEN 1995; HÄKKINEN et al. 1996, 1998a, 1998b, 2000, 2001a, 2001b; IZQUIERDO et al. 2001a; CANNON et al. 2007; SILVKA et al. 2008; RAJ et al. 2011), bem como na força muscular isométrica de 10-60% (HÄKKINEN e HÄKKINEN 1995; HÄKKINEN et al. 1996, 1998a, 1998b, 2000, 2001a). Maiores incrementos na força muscular dinâmica podem ser observados com o aumento do número de sessões semanais

(CADORE et al. 2010). Em estudo de Cadore et al. (2010), foi observado aumento de 67% na força dinâmica máxima em homens idosos que treinaram 3 vezes por semana durante 12 semanas, o qual o volume/intensidade inicial foi de 20 repetições máximas (RM), sendo de 6 - 8 RM na fase final do período de treino. No quadro 1 são apresentados as características do programa de treinamento e os resultados de alguns estudos que investigaram os efeitos do treino de força na função neuromuscular em homens idosos.

Quadro 1: Adaptações neuromusculares ao treinamento de força em idosos.

Autor	Período e Frequência	Volume e intensidade	Resultados
Häkkinen e Häkkinen, 1995	12 sem; 2x/sem	2-5 séries de 3 - 15 repetições (30-90% de 1RM) 30 - 80% de 1RM. Contrações lentas e explosivas.	↑PT (20%)**; ↑EMG VL, VM e RC (~20%)*; ↑AST QF (9%)**.
Häkkinen et al. 1996	12 sem; 2x/sem	2-6 séries de 8-15 repetições (40-90% de 1RM) unilateral (UNI) e bilateral (BIL). Contrações lentas e explosivas.	↑1RM grupo BIL (19 vs. 13%)**; ↑1RM unilateral grupo UNI (17 vs. 10%)**; ↑EMG bilateral grupo BIL (19 vs. 13%)*; ↑EMG unilateral grupo UNI (9 vs. 7%)*; ↑AST QF em ambos grupos (11-14%)**.
Häkkinen et al. 1998	24 sem; 2x/sem	3-5 séries de 3-15 repetições (50-90% de 1RM). Contrações lentas e explosivas (20%).	↑1RM (21%)**; ↑PT (36%***); ↑TPF (40%)*; ↑SJ (24%***); ↑EMG* VL e VM.
Kraemer et al. 1999	10 sem; 3x/sem	periodização ondulatória: 2-5 séries de 3-5RM; 8-10RM e 12-15RM.	↑1RM (10%)*; ↑AST QF (6%)*.
Häkkinen et al. 1998b	10 sem; 2x/sem	3-5 séries de 3-15 repetições (50-90% de 1RM). Contrações lentas e explosivas (20%).	↑PT (16%)**; ↑EMG* VL e VM; ↑AST QF (8,5%***); ↑AST* fibras I e II.
Häkkinen et al. 2000	24 sem; 2x/sem	3-6 séries de 6-15 repetições (50-80% de 1RM). Contrações lentas e explosivas.	↑1RM (29%***); ↑EMG* VL e VM; ↑SJ (22%***); ↑AST QF (7%***).
Häkkinen et al. 2001	24 sem; 2x/sem	3-5 séries de 6-15 repetições (50-80% de 1RM). Contrações lentas e explosivas.	↑PT (36%***); ↑EMG* VL e VM; ↑TPF (40%)*; ↑1RM (21%***).

Autor	Período e Frequência	Volume e intensidade	Resultados
Izquierdo et al. 2001 <sup>a</sup>	16 sem; 2x/sem	3-5 séries de 6-15 repetições (50-80% de 1RM). Contrações lentas e explosivas.	↑1RM (25-41%)****; ↑PT (26%)****; ↑potência de 20 a 80% de 1RM (15-60%)***; ↑AST QF (11%)*
Häkkinen et al. 2002	24 sem; 2x/sem	3-5 séries de 6-15 repetições (50-80% de 1RM). Contrações lentas e explosivas (20%).	↑1RM (21%)****; ↑AST* fibras I, IIa e IIX.
Bottaro et al. 2007	10 sem; 2x/sem	3 séries de 8 a 10 repetições (40 a 60% de 1RM); contrações lentas (CL) vs. explosivas (CE)	↑1RM (25%)* nos 2 grupos; ↑potência a 60% de 1RM, maior em CE (31 vs. 8%)*. Maior aumento em CE também observado nos testes 8 ft-up-and-go (15 vs. 0.8%)* e 30s chair stand (43 vs. 6%)*
Cannon et al. 2007	10 sem; 2x/sem	3 séries de 10 repetições (50-75% de 1RM).	↑PT (18%)*; ↑EMG* VL e VM (21%)*; ↑AST QF (11%)*.
Slivka et al. 2008	12 sem; 3x/sem	3 séries de 10 repetições (~70% de 1RM).	↑1RM (41%)*; ↑AST QF (2%)*.
Nogueira et al. 2009	10 sem; 2x/sem	3 séries de 8 a 10 repetições (40 a 60% de 1RM); contrações lentas (CL) vs. explosivas (CE)	↑1RM (25%)* nos 2 grupos; ↑ espessura do RC somente em CE (11%)* e do BIC em CE (14%)* e CL (6,7%)*.
Raj et al. 2011	16 sem; 2x/sem	TF 2 séries de 10 repetições (75% 1RM) vs. 3 séries de 10 repetições (50% 1RM) com a fase excêntrica realizada UNI.	↑1RM (23%)* nos 2 grupos; ↑ espessura do VL somente no grupo com ênfase excêntrica UNI (5%)*.

↑, aumento; min, minutos; 1RM, 1 repetição máxima; PT, pico de torque isométrico; SJ, squat jump; AST, área de secção transversal; QF, quadríceps femoral; VL, vasto lateral; VM, vasto medial; RC, reto da coxa; BIC, bíceps braquial; sem, semanas; x/sem, número de treinos por semana; TF, treinamento de força; EMG, sinal eletromiográfico; TPF, taxa máxima de produção de força; \*P<0,05; \*\*P<0,01; \*\*\*P<0,001; NS, não significativo.

Um aspecto que influencia as adaptações neuromusculares ao TF em homens idosos é a especificidade das ações musculares. Em estudo de Häkkinen et al. (1996), homens idosos foram divididos em grupos de treino unilateral e bilateral, sendo ambos avaliados na força máxima bilateral e unilateral. Foram observados aumentos na força bilateral do quadríceps de todos os indivíduos, com maior aumento relativo para o grupo que treinou

bilateralmente (19 vs. 13%), bem como na força unilateral, sendo maior aumento relativo para o grupo que treinou unilateralmente (17 vs. 10%).

Cabe salientar, relativamente ao método de treino utilizado, a importância da execução de parte das séries com ações musculares explosivas durante o treinamento, visando modificações relacionadas à produção de força rápida em indivíduos idosos, já que variáveis relacionadas à potência muscular ou à taxa de produção de força possuem estreita relação com a capacidade funcional em idosos (IZQUIERDO et al. 2001a BOTTARO et al. 2007). Em estudos de Bottaro et al. (2007) e Nogueira et al. (2009), foram observados incrementos significativos na produção de força rápida nos idosos que treinaram em alta velocidade de execução e nenhum incremento nessa capacidade nos idosos que treinaram somente com ações musculares lentas.

Os resultados dos estudos supracitados demonstram claramente a capacidade de aumento na força muscular em indivíduos idosos (NOGUEIRA et al. 2009; HÄKKINEN et al. 2000, 2001a, BRENTANO et al. 2008; CADORE et al. 2010). Diferenças na magnitude de aumento na força nos diferentes estudos podem ter ocorrido devido a fatores como condicionamento físico inicial da amostra, tempo de treinamento e intensidade fisiológica das séries (repetições máximas vs. repetições submáximas). A importância do treinamento de força e a consistência de seus efeitos nessa população podem ser observadas, já que mesmo após períodos de destreino de 12 semanas, a força muscular ainda permanece maior do que a registrada anteriormente ao período de treinamento (HÄKKINEN et al. 2000).

### **2.1.2. Mecanismos fisiológicos responsáveis pelo aumento na força muscular**

A melhora na força muscular decorrente do TF pode ser explicada a partir de adaptações neurais e morfológicas (MORITANI E DEVRIES 1979). As principais

adaptações neurais ao TF consistem no aumento na capacidade de recrutamento nas unidades motoras (KNIGHT e KAMEN, 2001), aumento na frequência de disparo dessas unidades motoras (HÄKKINEN e HÄKKINEN 1995; HÄKKINEN et al. 2001a; KAMEN e KNIGHT, 2004), bem como aumento na excitabilidade motoneural espinhal e aumento no estímulo motor eferente (AAGAARD et al. 2002a, 2002b, 2010). Entre os métodos de avaliação das adaptações neurais ao treino de força, o mais comum é a quantificação da amplitude do sinal eletromiográfico (EMG) (HÄKKINEN et al. 1995, 2001a), já que um aumento nas unidades motoras recrutadas, bem como na sua frequência de disparo resultam em aumento na amplitude desse sinal (HÄKKINEN et al. 1998a, 1998b, 2000, 2001a, 2001b, BRENTANO et al. 2008; CADORE et al. 2010). Outras adaptações neurais sugeridas para explicar o aumento da força máxima são a redução da coativação dos músculos antagonistas (HÄKKINEN et al. 1998a), além da inibição da ativação do órgão tendinoso de Golgi durante a produção de tensão máxima do músculo. Ainda, um maior sincronismo de fibras musculares, embora não seja sugerido como fator importante para a melhora da força máxima, resulta em um menor tempo de obtenção da força máxima, sendo, portanto, um mecanismo responsável pelo aumento na taxa de produção de força (HÄKKINEN et al. 1998a, 1998b, 1998c).

Já as adaptações morfológicas ao TF incluem o aumento da área de secção transversa fisiológica (AST) da fibra muscular (KRAEMER et al. 1995; PUTMAN et al. 2004), o que resulta no aumento na AST do músculo (HÄKKINEN et al. 2001b), bem como no aumento na espessura muscular (NOGUEIRA et al. 2009) e uma modificação entre as isoformas de cadeia pesada de miosina, o que ocorre a partir de uma conversão de fibras do subtipo IIx para o subtipo IIa (KRAEMER et al. 1995; PUTMAN et al. 2004). Modificações na AST da fibra são comumente avaliadas a partir de técnicas histoquímicas

realizadas após biópsia muscular (KRAEMER et al. 1995), enquanto modificações na AST total do músculo e na espessura muscular são avaliadas a partir de técnicas de imagem como ressonância magnética (CANNON et al. 2007), tomografia computadorizada (HÄKKINEN et al. 1998a) ou ultrasonografia (NOGUEIRA et al. 2009; AHTIAINEN et al. 2010).

### **2.1.3. Efeitos na atividade neuromuscular**

Diversos estudos têm demonstrado aumento da amplitude do sinal EMG paralelamente ao aumento de força observado (HÄKKINEN e HÄKKINEN 1995; HÄKKINEN et al. 1996, 2000; CADORE et al. 2010), geralmente investigando a amplitude do sinal eletromiográfico (EMG) dos músculos vasto lateral, vasto medial e reto femoral, como indicador da ativação muscular do quadríceps em homens idosos.

Os incrementos no sinal EMG são mais proeminentes nas primeiras 4 a 8 semanas, fase de treinamento em que ocorrem preferencialmente adaptações neurais (HÄKKINEN e HÄKKINEN 1995; HÄKKINEN et al. 1996, 1998a). Da mesma forma que o aumento na força muscular, adaptações no sinal EMG seguem um padrão de especificidade, com maior aumento no sinal EMG em contrações bilaterais observados como adaptação ao treino bilateral (19 vs. 10%), bem como maior aumento em contrações unilaterais observados como adaptação ao treino unilateral (9 vs. 7%) (HÄKKINEN et al. 1996). Ainda, uma estreita relação pode ser observada entre os incrementos na força muscular e na magnitude do sinal EMG, evidenciando a importância das adaptações neurais nas primeiras semanas de treinamento ( $r = 0,59 - 0,65$ ;  $P < 0,05$ ) (HÄKKINEN et al. 1996, 2000).

Uma variável relacionada ao sinal EMG, importante na avaliação das adaptações neurais ao TF, é a taxa de aumento do sinal EMG em determinados intervalos (i.e., 100ms,

500ms), o que evidencia uma melhora na capacidade de recrutamento rápido de um grupo muscular. Contudo, a exemplo da taxa de produção de força, essas variáveis aparentam ser incrementadas somente quando ações musculares explosivas são agregadas ao treino (HÄKKINEN et al. 1998a).

Outra adaptação neural decorrente do TF é a melhora na economia neuromuscular (CADORE et al. 2010, 2011a, 2011b). Em estudo prévio do nosso laboratório, Cadore et al. (2011a) observaram uma redução no sinal EMG normalizado a 40, 60 e 80% da força máxima isométrica (CIVM) pré treinamento no vasto lateral e 60 e 80% no reto femoral, após o TF em indivíduos idosos. Esses resultados sugerem que para a mesma carga absoluta, os indivíduos necessitaram de um menor número de unidades motoras recrutadas após o treinamento.

Com base nos resultados dos estudos supracitados pode-se inferir que o treinamento de força resulta em um aumento na amplitude do sinal EMG máximo em homens idosos (HÄKKINEN e HÄKKINEN 1995; HÄKKINEN et al. 1996, 2001b; CANNON et al. 2007; CADORE et al. 2010), bem como numa redução no sinal EMG normalizado para a mesma carga submáxima (Quadro 1). Esse aumento está relacionado com adaptações neurais ao treinamento de força, já que esse aumento ocorre paralelamente ao aumento na força máxima (HÄKKINEN e HÄKKINEN 1995; HÄKKINEN et al. 1996, 1998a, 1998b, 1998c; 2000, 2001b; BRENTANO et al. 2008; CADORE et al. 2010).

#### **2.1.4. Efeitos na massa muscular**

Diversos estudos têm demonstrado incrementos importantes na massa muscular em indivíduos idosos (SUETTA et al. 2004). Embora a capacidade de aumento na massa muscular nessa população possa ser menor quando comparada a de indivíduos jovens

(KRAEMER et al. 1999), estudos têm demonstrado aumentos entre 5 e 14% da AST e espessura muscular do quadríceps femoral nessa população em períodos de treinamento que variam de 10 a 24 semanas (HÄKKINEN e HÄKKINEN 1995; HÄKKINEN et al. 1996; CANNON et al. 2007; NOGUEIRA et al. 2009).

Os resultados dos estudos revisados sugerem que existe uma preservação do potencial de hipertrofia muscular em indivíduos idosos, embora esse potencial seja inferior ao observado em indivíduos jovens (KRAEMER et al. 1999), diferentemente do que ocorre com potencial de aumento na força muscular (semelhante entre jovens e idosos). Essa hipertrofia pode ser observada mesmo em estudos com TF de curta duração (i.e., 10 semanas) (KRAEMER et al. 1999; CANNON et al. 2007), com periodização linear (HÄKKINEN e HÄKKINEN 1995) ou ondulatória (KRAEMER et al. 1999), frequência semanal de duas (NOGUEIRA et al. 2009) a três sessões por semana (CANNON et al. 2007), cargas moderadas a altas (60 a 90% de 1 RM) e múltiplas séries (KRAEMER et al. 1999; HÄKKINEN et al. 2000; CANNON et al. 2007) (Quadro 1).

### **2.1.5. Efeitos na capacidade cardiorrespiratória**

Embora o treinamento de força, através do aumento do diâmetro da fibra muscular, possa resultar em diminuição da densidade mitocondrial (TANAKA e SWENSEN, 1998), alguns estudos têm demonstrado que o TF pode resultar em pequenos incrementos na capacidade aeróbica máxima de indivíduos não treinados (WILMORE et al., 1978; GETTMAN et al., 1982; CHTARA et al., 2005; VINCENT et al. 2002), além de melhora na economia de movimento (HARTMAN et al., 2007), aumento do limiar de lactato (MARCINIK et al., 1991), bem como em indivíduos altamente treinados pode melhorar a performance aeróbica através do aumento na economia de movimento e da potência

muscular (PAAVOLAINEN et al., 1999; MIKKOLA et al., 2007). Além disso, outros autores demonstraram que o TF aumenta o número absoluto mas não relativo de capilares por fibra muscular (HEPPLE et al., 1997) e a atividade da enzima citrato cintase em idosos nonageários (FRONTERA et al., 1990), resultando em aumento da capacidade oxidativa. Entretanto, existe pouca consistência nos resultados a respeito da influência do TF no  $VO_{2m\acute{a}x}$ , e a melhora da capacidade de endurance decorrente desse tipo de treino parece estar mais associada com a economia de movimento (BASTIAANS et al., 2001, MINAHAN e WOOD, 2008).

Estudos investigando as adaptações cardiorrespiratórias ao TF têm demonstrado aumento no  $VO_{2m\acute{a}x}$  em indivíduos idosos (FRONTERA et al. 1990; IZQUIERDO et al. 2003; HEPPLE et al. 1997). Em estudo de Hepple et al. (1997), 10 homens idosos com idades entre 65 e 74 anos foram submetidos a um TF de 9 semanas previamente a um treinamento aeróbico de 9 semanas. Após as 9 semanas de TF, foram observados aumentos significativos no  $VO_{2m\acute{a}x}$  ( $27,7 \pm 1,4$  vs.  $30,1 \pm 1,2$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ), bem como no pico de potência em ciclo ergômetro ( $163 \pm 7$  vs.  $174 \pm 10$  W).

Em outro estudo, Izquierdo et al. (2003) avaliaram a capacidade aeróbica máxima e submáxima em ciclo ergômetro de 11 indivíduos de meia idade (M46) e 11 indivíduos idosos (M64), antes e após um TF de 16 semanas, com cargas aumentando de forma linear, variando de 50 a 80% de 1 RM. Houve aumento significativo na carga máxima (W) ( $11 \pm 10$  e  $6 \pm 6\%$  para M46 e M64, respectivamente), carga a 2 mmol/l de lactato (W) ( $19 \pm 17$  e  $9 \pm 9\%$  para M46 e M64, respectivamente) e 4 mmol/l de lactato (W) ( $8 \pm 8$  e  $8 \pm 7\%$  para M46 e M64, respectivamente) em ambos os grupos de treinamento, com incrementos observados logo após 8 semanas de treinamento. Em estudo do nosso grupo de pesquisa,

Cadore et al. (2010) demonstraram um incremento de ~5% ( $P=0,05$ ) na potência máxima em ciclo ergômetro em homens idosos após 12 semanas de TF.

Como foi observado nos estudos supracitados, o treinamento de força é capaz de gerar pequenos incrementos na capacidade aeróbica máxima e submáxima de indivíduos previamente não treinados em exercício aeróbico, especialmente em idades bem avançadas (FRONTERA et al., 1990, BRENTANO et al., 2008).

## **2.2. TREINAMENTO AERÓBICO EM IDOSOS**

O treinamento aeróbico (TA) aumenta a capacidade cardiorrespiratória através de adaptações no músculo esquelético (NADER, 2006), além de adaptações centrais no sistema cardiovascular (WISLOFF et al., 2001; D'ANDREA et al., 2002). Intensidades mais próximas ao primeiro limiar ventilatório resultam em adaptações predominantemente periféricas, ao passo que intensidades de treinamento próximas ao segundo limiar ventilatório resultam também em adaptações centrais. Além disso, o TA pode promover adaptações na força muscular, especialmente quando realizado em ciclo ergômetro (IZQUIERDO et al. 2004; CADORE et al. 2010).

### **2.2.1. Efeitos na força muscular**

Alguns estudos demonstraram que o treinamento aeróbico, quando realizado em ciclo ergômetro é um estímulo para pequenos incrementos de força muscular (IZQUIERDO et al, 2004 e 2005; VAN ZANT e BOUILLON, 2007). Em estudo de Izquierdo et al. (2004), foram comparados os efeitos do TF realizado 2 vezes por semana com os efeitos do TC, executando 1 vez por semana força e 1 vez por semana exercício aeróbico em ciclo ergômetro em indivíduos idosos durante durante 8 semanas. Foi demonstrado que o

incremento de força foi semelhante em ambos os grupos, somente em membros inferiores, com incremento superior na força de membros superiores no grupo de força (2 vezes por semana de estímulo), o que sugere que o aumento na força de membros inferiores semelhante entre os grupos ocorreu devido ao estímulo do ciclo ergômetro.

Em recente estudo do nosso laboratório, Cadore et al. (2010) observaram aumento de 22% na força dinâmica máxima em indivíduos que treinaram um treinamento aeróbico de 12 semanas em ciclo ergômetro, com intensidades variando de 80 a 100% da frequência cardíaca correspondente ao segundo limiar ventilatório.

### **2.2.2. Efeitos na capacidade cardiorrespiratória**

Com relação ao sistema muscular, o TA aumenta a densidade capilar, densidade mitocondrial, reservas de substratos musculares e atividade enzimática oxidativa. Além disso, o TA altera o tamanho e percentual de subtipos de fibras do tipo II, diminuindo a área transversal muscular e aumentando a proporção de fibras tipo IIa em relação à IIb, além de reduzir a área das fibras do tipo I (para revisão, ver TANAKA e SWENSEN, 1998). Dessa forma, o TA melhora a cinética do consumo de oxigênio, aumentando o  $VO_{2máx}$ , e sendo assim, a performance em exercícios de longa duração (NADER, 2006). Por outro lado, têm sido demonstrado, que além do  $VO_{2máx}$ , a performance aeróbica é influenciada pela potência muscular, capacidade anaeróbica, atividade muscular durante o movimento e economia de movimento (PAAVOLAINEN et al., 1999; BASTIAANS et. al., 2001; NUMMELA et al., 2006; CADORE et al. 2011a).

O envelhecimento biológico, por outro lado, influencia negativamente a capacidade cardiorrespiratória, através de diversos mecanismos. No aspecto cardiovascular, o declínio é primariamente associado à diminuição no débito cardíaco máximo, mediado pela redução

do volume máximo de ejeção e da frequência cardíaca máxima, e em menor escala, pela mudança na diferença arteriovenosa de oxigênio (ASTRAND et al. 1973; LEVY et al., 1998; IZQUIERDO et al., 2001b). Além disso, com relação ao sistema neuromuscular, o processo de sarcopenia associado à idade (LARSSON et al., 1978; LEXELL et al., 1988; BROSS et al., 1999), compromete a utilização do oxigênio captado reduzindo a capacidade aeróbica e funcional (BROSS et al., 1999). Além disso, fatores neurais relacionados ao sistema músculo-esquelético parecem influenciar na capacidade aeróbica em indivíduos idosos (CADORE et al. 2011a, 2011b). Ainda, foi demonstrado que outros parâmetros que declinam com a idade, como a força muscular dinâmica máxima (valores de 1 RM) de membros inferiores, e a potência de membros inferiores possuem relação com a capacidade aeróbica (IZQUIERDO et al., 2001b; CADORE et al. 2011b).

Embora existam perdas decorrentes do envelhecimento em diversos parâmetros relacionados com a capacidade aeróbica, indivíduos idosos demonstram melhora nesse aspecto decorrente do treinamento de endurance (HEPPLE et al., 1997; LEVY et al., 1998; MEIJER et al., 2000; OKAZAKI et al., 2002). Em estudo realizado por Hepple et al. (1997), indivíduos idosos foram avaliados antes e após um TA de 9 e 18 semanas em ciclo ergômetro, com frequência de 3 vezes por semana e duração de 30 minutos por sessão. Foi demonstrado que já após 9 semanas, houve aumento no  $VO_{2pico}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ), bem como na potência máxima em ciclo ergômetro (W), além de aumento significativo após 18 semanas, comparado aos valores de 9 semanas de treinamento. Esse estudo demonstrou aumento significativo no número de capilares em contato com fibras musculares, razão capilar por fibra muscular e densidade capilar (capilar/ $mm^2$ ).

Outros estudos investigando os efeitos do treinamento aeróbico em idosos demonstraram aumentos de 8 – 20% no  $VO_{2pico}$ , e na potência máxima em ciclo ergômetro

( $W_{m\acute{a}x}$ ), em períodos de treino que variaram de 12 a 24 semanas, com frequência semanal de 3 a 5 vezes por semana, tempo de exercício de 30 a 60 minutos e intensidades variando de 50 a 85% da frequência cardíaca de reserva (LEVY et al. 1998; MEIJER et al. 2000). Além disso, adaptações como redução na resposta cardiovascular para a mesma carga submáxima absoluta na frequência cardíaca em intensidade submáxima (70 e 100W) têm sido observadas (MEIJER et al. 2000; OKAZAKI et al. 2002; IZQUIERDO et al. 2004).

Outra adaptação importante do treinamento aeróbico é a redução da atividade neuromuscular para a mesma carga absoluta após um período de treinamento (i.e., economia neuromuscular) (CADORE et al. 2011a, 2011b). Em estudo de Cadore et al. (2011a), além de incrementos no  $VO_{2pico}$  e  $W_{m\acute{a}x}$ , foi demonstrado que os idosos que realizaram o treinamento aeróbico de 12 semanas diminuíram o percentual relativo à ativação máxima a diferentes cargas absolutas durante um teste incremental em ciclo ergômetro, tornando-se mais econômicos na função neuromuscular durante esse tipo de exercício.

Como pode ser observada nos estudos supracitados, a capacidade de aumento na performance aeróbica permanece durante o envelhecimento biológico. Além disso, foi demonstrado que a ativação muscular contribui de forma importante no desempenho cardiorrespiratório em idosos (CADORE et al. 2011a). No quadro 2 são apresentados as características do programa de treinamento e os resultados de alguns estudos que investigaram as adaptações cardiorrespiratórias ao treino aeróbico em homens idosos.

Quadro 2: Adaptações cardiorrespiratórias ao treinamento aeróbico em idosos.

Autor	Período e Frequência	Volume e intensidade	Resultados
Hepple et al. 1997	18 sem, 3x/sem	30 min, intensidade não descrita	↑ VO <sub>2pico</sub> (16%)**; ↑ W <sub>máx</sub> (15%)**
Levy et al. 1998	24 sem, 4-5x/sem	45 min, 50 – 85% do FC <sub>res</sub>	↑ VO <sub>2pico</sub> (21%***)
Meijer et al. 2000	12 sem, 2x/sem	30 min, 50% FC <sub>res</sub>	↑ VO <sub>2pico</sub> (8%)**; ↑ W <sub>máx</sub> (8%)**; ↓ FC a 70 e 100W**
Okazaqui et al. 2002	18 sem, 3x/sem	60 min, 50 – 85% do VO <sub>2pico</sub>	↑ VO <sub>2pico</sub> (20%)**; ↑ LV <sub>1</sub> (9%)*
Izquierdo et al. 2004	16 sem, 2x/sem	30-40 min, 70 – 90% da FC <sub>Max</sub>	↑ W <sub>máx</sub> (16%)*; ↓ FC a 120W*
Cadore et al. 2011b	12 sem, 3x/sem	20-30 min, 80 – 100 FC no LV <sub>2</sub>	↑ VO <sub>2pico</sub> (20%)**; ↑ W <sub>máx</sub> (19%)**

↑, aumento; ↓, diminuição; min, minutos; x/sem, número de treinos por semana; VO<sub>2pico</sub>, consumo de oxigênio de pico; W<sub>máx</sub>, potencia máxima em ciclo ergômetro; LV<sub>1</sub>, primeiro limiar ventilatório; LV<sub>2</sub>, segundo limiar ventilatório; FC, frequência cardíaca, FC<sub>res</sub>, FC de reserva; FC<sub>max</sub>, FC máxima. \*P<0,05; \*\*P<0,01; \*\*\*P<0,001.

### 2.3. TREINAMENTO CONCORRENTE EM IDOSOS

A literatura nos mostra resultados controversos a respeito dos efeitos do treino aeróbico (TA) realizado simultaneamente ao treinamento de força nos ganhos de força e potência muscular em diversas populações (homens ou mulheres, jovens ou idosos, atletas ou sedentários). Alguns estudos demonstraram que o TA pode reduzir o ganho de força e potência decorrentes do TF quando ambos os tipos de treino são executados simultaneamente (i.e., treinamento concorrente) e esse efeito têm sido denominado de “efeito de interferência” (SALE et al. 1990; KRAEMER et al. 1995; BELL et al. 1997; CADORE et al. 2012). Por outro lado, diversos outros estudos observaram ganhos semelhantes na força muscular comparando o TF com o treino concorrente (TC) (WOOD et al. 2001; MCCARTHY et al. 2002; IZQUIERDO et al. 2004; KARAVIRTA et al. 2011; SILVA et al. 2012). Apesar de diversos estudos terem sido realizados investigando indivíduos jovens, poucos investigaram o desempenho da força e capacidade aeróbica do treino concorrente em indivíduos idosos (WOOD et al. 2001; IZQUIERDO et al. 2004; SILAMPÄÄ et al. 2008; CADORE et al. 2010, 2011a; KARAVIRTA et al. 2011). A

vantagem da prescrição do treinamento concorrente, é que mesmo que ocorra interferência nos ganhos de força ou potência, esse tipo de treinamento apresenta os mesmos ganhos de capacidade cardiorrespiratória que o treino aeróbico isolado (KRAEMER et al. 1995; WOOD et al. 2001; CADORE et al. 2010, 2011b; BELL et al. 1997).

### **2.3.1. Efeitos na força muscular**

Em estudo realizado por Wood et al. (2001), indivíduos idosos foram submetidos ao TF e TC durante 12 semanas, com o grupo de TF executando 2 séries e o grupo de TC executando apenas 1 série. Esses autores observaram aumento semelhante na força muscular em ambos os grupos (38-44%). Em outro estudo, Izquierdo et al. (2004) investigaram homens idosos após 16 semanas de treinamento, com o grupo de TF executando 2 sessões por semana e o grupo de TC executando uma sessão por semana de TF e outra de TA em cicloergômetro. Não foram observadas diferenças nas adaptações na força muscular entre o TF e o TC, sugerindo um efeito sinérgico do TA no ciclo ergômetro com o TF (grupo TC), o que resultou nos mesmos ganhos comparados ao TF. Contudo, nos estudos de Wood et al. (2001) e Izquierdo et al. (2004), os grupos de TC treinaram menos séries por exercício do que os grupos de TF, o que dificulta comparações dos ganhos entre TF e TC.

Utilizando o mesmo volume de treinamento para os grupos de TF e TC durante 21 semanas com frequência semanal de 2 vezes por semana, volume variando de 2 - 4 séries e cargas de 40 a 80% de 1RM, Karavirta et al. (2011) observaram ganhos similares de força dinâmica e isométrica entre os grupos. Em outros estudos utilizando periodizações de treinamento e frequência semanal similares (SILAMPÄÄ et al. 2009; HOLVIALA et al. 2010, 2012) ganhos semelhantes de força foram observados entre o TF e TC. No quadro 3

são apresentados as características do programa de treinamento e os resultados de alguns estudos que compararam os efeitos do treino de força e concorrente na função neuromuscular em homens idosos.

Quadro 3: Adaptações neuromusculares ao treinamento concorrente vs. treinamento de força em idosos.

Autor	Período e Frequência	Volume e intensidade	Resultados
Wood et al. 2001	12 sem; 3x/sem; 2x/sem; TF+TA	TF: 2 séries de 12-15 repetições (75% de 5RM) até 8-12RM. TA: 60-70% da FC <sub>máx</sub> estimada, 21-45 min em cicloergômetro. TC: 1 série de 8-12RM + 30 min em cicloergômetro (TA)	↑1RM (15-29%)* em TF e TC. ↑ performance em testes funcionais em ambos os grupos*. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Izquierdo et al. 2004	16 sem; 2x/sem; 2x/sem; 1x/sem TF + 1x/sem TA.	TF: 3-5 séries de 6-15 repetições (50-80% de 1RM) Contrações lentas e explosivas (20% do volume de 30 a 50% de 1RM). TA: 30 a 40 min em cicloergômetro, nas cargas (W) de 2, 3 e 4mmolL <sup>-1</sup> .	↑1RM em TF e TC (22-41%)**; ↑ potência muscular a 45% de 1RM em TF e TC (45%)*. ↑AST QF em TF e TC (ambos 11%)*. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Sillanpää et al. 2008	21 sem; 2x/sem; 2x/sem; TC: TA alternados.	TF: TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1</sub> , entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2</sub> .	↑1RM em TF e TC (22%)****; ↑ espessura VL+VM em TF e TC (9%)****. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Sillanpää et al. 2009	21 sem; 2x/sem; 2x/sem; TC: TA alternados.	TF: TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1</sub> , entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2</sub> .	↑PT em TF e TC (15-17%)****. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Karavirta et al. 2009	21 sem; 2x/sem; 2x/sem; TC: TA, alternados.	TF: TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1</sub> , entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2</sub> .	↑1RM em TF e TC (22%)****. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Cadore et al. 2010	12 sem; 3x/sem; 3x/sem; TF+TA, TA antes de TF, mesma sessão.	TF: 18-20RM a 6-8RM. TA: 30 min em cicloergômetro, 80 a 100% do LV <sub>2</sub> .	maior ↑1RM em TF (67%)**** comparado a TC(41%)****; maior ↑ no PT em TF (14%)* comparado a TC (1%, NS). maior ↑EMG VL e RC em TF (30%)* comparado a TC (16%, NS); maior ↑ECO neuromuscular* em TF comparada a TC.
Holviala et al. 2010	21 sem; 2x/sem; 2x/sem; TC: TA, alternados.	TF: TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1</sub> , entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2</sub> .	↑1RM em TF e TC (22%)****. Nenhuma diferença entre TF e TC. ↑EMG VL (18%)* e RF (14%)* em TC e ↑EMG VM (32%) em TF*. ↑PT em TF e TC (8-12%)*. Nenhuma diferença entre TF e TC.

Autor	Período e Frequência	Volume e intensidade	Resultados
Holviala et al. 2012	21 sem; 2x/sem; 2x/sem; TC: TA, TA, alternados.	TF: TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1</sub> , entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2</sub> .	↑ potência a 50% de 1RM (10%)**; ↑EMG VL e VM em TF (26 e 25%)** e TC (33 e 23%)**; ↑ performance em testes funcionais em TF e TC. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Karavirta et al. 2011	21 sem; 2x/sem; 2x/sem; TC: TA, TA, alternados.	TF: TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1</sub> , entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2</sub> .	↑1RM em TF e TC (22%)***. ↑PT em TF e TC (14 e 20%)*; ↑EMG VM em TF (41%)* e TC (28%)*. Maior ↑EMG VL em TF do que TC na semana 10, mas sem diferenças na semana 21. ↑AST fibras tipo II somente em TF (16%)*.
Cadore et al. 2011b	12 sem; 3x/sem; 3x/sem: TF+TA, TA antes de TF, mesma sessão.	TF: TF: 18-20RM a 6-8RM. TA: TA: 30 min em cicloergômetro, 80 a 100% do LV <sub>2</sub> .	↑ECO neuromuscular dinâmica* somente em TC no RC a 50, 75 e 100W e em TF e TC no VL a 100W.

↑, aumento; min, minutos; ECO, economia; 1RM, 1 repetição máxima; PT, pico de torque isométrico; AST, área de secção transversal; QF, quadríceps femoral; VL, vasto lateral; VM, vasto medial; RC, reto da coxa; sem, semanas; x/sem, número de treinos por semana; TF, treinamento de força; TA, treinamento aeróbico; TC, treinamento concorrente; EMG, sinal eletromiográfico; LV<sub>1</sub> e LV<sub>2</sub> primeiro e segundo limiar ventilatório, respectivamente. \*P<0,05; \*\*P<0,01; \*\*\*P<0,001; NS, não significativo.

Já em estudos no nosso Laboratório, Cadore et al. (2010), observaram um ganho de força dinâmica superiores no grupo de força (67%) comparado ao grupo concorrente (41%) após 12 semanas de treinamento, o que não foi observado em exercício para membros superiores (31 vs. 33%, respectivamente), sugerindo que o TA interferiu negativamente somente quando o mesmo grupo muscular foi envolvido em ambos tipos de treinamento. Cabe salientar, não obstante, que mesmo encontrando interferência do TA nos ganhos do TF, ainda assim os incrementos na força muscular observados no grupo de TC nesse estudo foram semelhantes ou superiores aos ganhos de força observados nos estudos investigando idosos supracitados: 21 – 44% (WOOD et al. 2001; IZQUIERDO et al. 2004; SILAMPÄÄ et al. 2009; HOLVIALA et al. 2010, 2012; KARAVIRTA et al. 2011), o que pode ser

justificado pela maior frequência semanal (3 vezes por semana). Nesse estudo foi especulado que a fadiga resultante do TA tenha sido o fator responsável pelo efeito de interferência observado, já que o TA foi sempre executado antes do TF (CADORE et al. 2010).

Baseados nos resultados observados com relação ao treinamento concorrente em idosos, pode-se inferir que: (I) realizando o mínimo de frequência semanal de treinamento (1 vez por semana TF + 1 vez por semana TA), o TA executado em ciclo ergômetro pode ter um efeito sinérgico com o TF (IZQUIERDO et al. 2004); (II) frequência semanal de 2 vezes por semana não resulta em efeito de interferência (SILAMPÄÄ et al. 2009; HOLVIALA et al. 2010, 2012; KARAVIRTA et al. 2011); e, (III) frequência semanal de 3 vezes por semana otimiza os ganhos de força mas pode resultar em interferência (CADORE et al. 2010).

Entre os mecanismos apontados como responsáveis pela interferência do TA no desenvolvimento da força muscular decorrente do TF estão a interferência nas adaptações neurais, o baixo conteúdo de glicogênio e consequente estado catabólico crônico levando ao overtraining e a interferência no turnover protéico das fibras utilizadas em ambos os tipos de treinamento, o que induz a uma menor magnitude de hipertrofia muscular, especialmente nas fibras do tipo I e à fadiga ocasionada pelo treino aeróbico anterior ao treinamento de força, comprometendo a performance no mesmo (NADER 2006).

### **2.3.2. Efeitos na atividade neuromuscular**

Poucos estudos investigaram as adaptações no sinal EMG decorrentes do treino concorrente e, em indivíduos jovens, nenhuma diferença nas adaptações no sinal EMG máximo tem sido observada entre os treinos de força e concorrente (MCCARTHY et al.

2002), embora interferência tenha sido observada nos ganhos na ativação muscular rápida (HÄKKINEN et al. 2003). Por outro lado em indivíduos idosos, apesar de resultados controversos, um prejuízo nas adaptações neurais parece explicar o efeito de interferência quando o mesmo ocorre nessa população (CADORE et al. 2010).

Investigando indivíduos idosos, Karavirta et al. (2011) demonstraram ganhos na EMG máxima significativamente maiores no grupo de TF comparado ao TC nos músculos vasto lateral e vasto medial após 10 semanas (41 vs 18% e 35 vs. 11%, respectivamente), ao passo que após 21 semanas as diferenças não se mantiveram, sendo observado o mesmo incremento nesses dois grupos. Da mesma forma que os valores de força supracitados, em outros estudos que utilizaram periodizações de treinamento e frequência semanal similares nenhuma diferença nas adaptações neurais foi observada entre os grupos de TF e TC (SILAMPÄÄ et al. 2008, 2009; HOLVIALA et al. 2010, 2012; KARAVIRTA et al. 2009).

Já em estudo de Cadore et al. (2010) foi observado aumento significativo na amplitude máxima do sinal EMG e na economia neuromuscular durante contrações submáximas somente em resposta ao TF isolado, sendo que esse aumento foi significativamente maior do que o observado após o TC. Cabe salientar que essas diferenças ocorreram em paralelo com as diferenças nos ganhos de força dinâmica citados anteriormente (67 vs. 41% em TF e TC, respectivamente). Esses resultados sugerem que o efeito de interferência ocorreu devido a um prejuízo promovido pelo TA nas adaptações neurais ao TF.

### **2.3.3. Efeitos na massa muscular**

Estudos avaliando as adaptações morfológicas ao treino concorrente em idades mais avançadas são escassos. Izquierdo et al. (2004) investigando homens idosos, não

observaram diferenças na hipertrofia muscular após 12 semanas de treino de força (2 vezes por semana) e concorrente (um vez de treino de força e outra aeróbico) (ambos 11% de aumento).

Já em estudo de Karavirta et al. (2011), foi observado um aumento na AST das fibras tipo II do vasto lateral somente no grupo de TF (16%), ao passo que nenhuma modificação foi observada no grupo de TC nesse estudo. Curiosamente, nesse estudo não foram observadas diferenças na magnitude de incremento nas variáveis de força muscular. Em outro estudo com periodização semelhante, Silampää et al. (2008) não observaram diferenças na magnitude de aumento da espessura muscular obtidas em resposta ao TF e TC.

Com base nos resultados descritos, é possível sugerir que o componente morfológico associado à produção de força não possui relação com o efeito de interferência quando o mesmo ocorre em homens idosos (CADORE et al. 2010).

#### **2.3.4. Efeitos na capacidade cardiorrespiratória**

Como esperado, diversos estudos têm demonstrado que a combinação dos treinos de força e endurance é a melhor estratégia para melhorar a performance aeróbica em indivíduos idosos, quando comparada ao treinamento de força isolado. Além disso, a performance do treinamento concorrente não interfere negativamente nas adaptações cardiovasculares ao treinamento aeróbico, quando comparada ao treino aeróbico realizado isoladamente (WOOD et al. 2001; IZQUIERDO et al. 2004; KARAVIRTA et al. 2009, 2011; HOLVIALA et al. 2010, 2012, SILAMPÄÄ et al. 2008, 2009; CADORE et al. 2011a).

Os estudos que investigaram as adaptações cardiovasculares ao TC demonstraram aumentos variando de 10 a 18% no consumo máximo de oxigênio e na carga máxima em ciclo ergômetro em idosos que treinaram períodos variando de 12 a 21 semanas (WOOD et al. 2001; IZQUIERDO et al. 2004; SILAMPÄÄ et al. 2009; HOLVIALA et al. 2010; CADORE et al. 2010, 2011b; KARAVIRTA et al. 2011).

De maneira similar aos resultados na força e hipertrofia mencionados anteriormente, Izquierdo et al. (2004) observaram ganhos de mesma magnitude na potência aeróbica em idosos que treinaram 2 vezes por semana o treino de endurance (23%) e 1 vez por semana um treino de força e outra de endurance (28%), após 16 semanas de treinamento. Esses resultados sugerem que um mínimo de frequência semanal pode ser um ótimo estímulo para promover ganhos cardiovasculares em fases iniciais de treinamento, em idosos não treinados. Outros estudos comparando as adaptações cardiovasculares ao treino concorrente com o treino aeróbico isolado em idosos não observaram diferenças entre os ganhos no consumo máximo de oxigênio entre os dois grupos (SILAMPÄÄ et al. 2009; HOLVIALA et al. 2010; CADORE et al. 2010, 2011b; KARAVIRTA et al. 2011).

### **2.3.5. Manipulação da ordem dos tipos de treinamento (força e aeróbico)**

Alguns estudos sobre o treinamento concorrente investigaram o efeito da manipulação da ordem dos exercícios sobre as adaptações neuromusculares, ou seja, se existe diferenças entre a execução do aeróbico antes ou depois do treinamento de força. Em estudo de Gravelle et al. (2000), investigando mulheres jovens, não houve diferenças no desenvolvimento de força decorrente da manipulação da ordem de execução dos exercícios de força e aeróbico, realizado em remoergômetro nesse estudo. Contudo, esses autores observaram a mesma magnitude de aumento da força entre os grupos de treino concorrente

e o grupo de força (26 – 27,5%), ou seja, nenhuma interferência foi observada. Já Chtara et al. (2008), observaram o efeito de interferência em homens jovens após 12 semanas, mas sem diferenças decorrentes da ordem dos exercícios. Em estudo publicado anteriormente a esse, os mesmos autores (CHTARA et al., 2005) demonstraram que a execução do exercício aeróbico antes do treino de força gera maior incremento no  $VO_{2máx}$  do que a execução do exercício aeróbico executado posteriormente ao treino de força. Sendo assim, até o presente momento, não foram encontrados estudos que demonstraram que a ordem de execução dos exercícios durante o treino concorrente influencia na magnitude do desenvolvimento de força decorrente do treino. Por outro lado, em estudo de Sale et al. (1990), investigando jovens durante 12 semanas de treino concorrente em que foram comparados treinos em dias simultâneos ou alternados de força e aeróbico, foi observado maior magnitude de aumento na força no treino em dias alternados, o que foi justificado pelos autores como decorrente da execução do exercício aeróbico anteriormente ao de força em 50% dos treinos nesse grupo.

Contudo, os dados acerca dos efeitos da manipulação da ordem dos tipos exercício de força e aeróbico sobre as adaptações neuromusculares e cardiorrespiratórias ao treinamento concorrente, especialmente em indivíduos idosos, ainda são escassos e necessitam serem mais investigados.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO**

Este estudo caracteriza-se como sendo um ensaio clínico randomizado, visando a análise de dois tipos de treinamento físico diferenciados.

#### **3.2. POPULAÇÃO E AMOSTRA**

##### **3.2.1. População**

A população envolveu homens com idade entre 60 e 75 anos, aptos a realizar o treinamento físico proposto, sem treinamento aeróbico ou de força regular e sistemático por pelo menos 1 ano anterior ao estudo. Foi adotado como critério de inclusão a ausência de histórico de doenças cardiovasculares (a exceção de hipertensão arterial controlada por medicamento), endócrinas, metabólicas e neuromusculares, além da utilização de qualquer medicamento com influência no metabolismo neuromuscular ou endócrino. A observação dos critérios de inclusão foi realizada por um profissional médico. Foi solicitado aos indivíduos da amostra do estudo a apresentação de uma avaliação médica envolvendo anamnese clínica e um eletrocardiograma de esforço (ECG) para identificação de possíveis fatores de exclusão dos indivíduos. Cada indivíduo foi orientado a procurar um profissional médico que foi o responsável por cada avaliação médica, bem como pelo laudo do ECG de esforço.

##### **3.2.2. Amostra**

Os indivíduos foram selecionados utilizando-se divulgação do projeto em veículo de comunicação de grande circulação. A amostra foi não-probabilística voluntária, constituída por um número de homens idosos calculados através de cálculo amostral, baseado em

estudos prévios (CHTARA et al., 2005; HÄKKINEN et al., 2001b; CADORE et al., 2010; NOGUEIRA et al., 2009). Optou-se por estes estudos para o cálculo amostral, devido à semelhança com as avaliações que foram realizadas no presente estudo, além da amostra semelhante. O cálculo foi realizado para amostras emparelhadas com o programa GPOWER versão 3.0.10 para Windows, onde foi adotado um nível de significância de 0,05, um poder de 90%, e um coeficiente de correlação variando de 0,9 para as variáveis. O tamanho da amostra para todas as variáveis está descrito no Quadro 4. Foi adotado para o tamanho amostral o número de maior valor entre as variáveis: 12 em cada grupo. Foram recrutados para o cada grupo 16 indivíduos como forma de administrar uma possível perda amostral sem a perda do poder estatístico dos resultados. Ao final do treinamento, 13 indivíduos por grupo tiveram avaliações pré e pós teste realizadas e tiveram seus dados incluídos nos resultados. A perda amostral de 6 indivíduos ocorreu por motivos não relacionados ao treinamento executado. Após o período de treinamento, seriam excluídos da amostra os indivíduos que não tivessem obtido um comparecimento de 85% do número de treinos (31 treinos) ou faltassem a mais de 2 treinos consecutivos. Contudo, não houve casos de frequência inferior a esse índice no estudo.

Quadro 4: Cálculo amostral para todas as variáveis:

Variável	Poder	Coefficiente de correlação	Tamanho amostral	Referência dos dados
Força dinâmica	90%	0.9	10	Cadore et al. 2010
Torque isométrico	90%	0.9	10	Häkkinen et al., 2001b
Torque isocinético	90%	0.9	9	Häkkinen et al., 2001b
Taxa de produção de força	90%	0.9	11	Häkkinen et al., 2001b
Ativação muscular máxima	90%	0.9	12	Cadore et al. 2010
Consumo máximo de Oxigênio	90%	0.9	11	Ch tara et al., 2005
Potência máxima em ciclo ergômetro	90%	0.9	11	Cadore et al. 2010
Espessura muscular	90%	0.9	9	Nogueira et al. 2009

Cada indivíduo foi informado sobre os procedimentos metodológicos desse estudo através da leitura de um termo de consentimento livre e esclarecido. A leitura e a assinatura do termo de consentimento foi realizada individualmente em dia separado das coletas. O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CEP-UFRGS). Através de randomização em blocos, a amostra foi dividida em 2 grupos:

1. Treinamento Concorrente com treino aeróbico antes – GAF.
2. Treinamento Concorrente com treino de força antes – GFA.

### **3.3. VARIÁVEIS**

#### **3.3.1. Variáveis Independentes**

- Treinamento concorrente com aeróbico antes;
- Treinamento concorrente com força antes;

#### **3.3.2. Variáveis dependentes**

- Força muscular dinâmica de membros inferiores;
- Força muscular dinâmica de membros superiores;
- Torque muscular isométrico de membros inferiores;
- Taxa de produção de força em 100ms;
- Taxa máxima de produção de força;
- Ativação muscular máxima isométrica de membros inferiores;
- Ativação muscular máxima antagonista de membros inferiores;
- Potência aeróbica;

- Primeiro limiar ventilatório;
- Segundo limiar ventilatório;
- Potência máxima no protocolo em ciclo ergômetro;
- Potência no primeiro limiar ventilatório;
- Potência no segundo limiar ventilatório;
- Espessura muscular dos músculos do quadríceps femoral;
- Tensão específica dos extensores do joelho;
- Espessura muscular dos músculos flexores do cotovelo.

### **3.3.3. Variáveis para caracterização da amostra**

- Estatura;
- Idade;
- Massa corporal;
- Percentual de gordura corporal estimado.

### **3.3.4. Variáveis intervenientes**

- Predisposição genética para o desenvolvimento das capacidades avaliadas;
- Nutrição dos indivíduos.

## **3.4. TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES**

Os diferentes tipos de treinamento utilizados no projeto tiveram duração de 12 semanas. Os grupos treinaram 3 vezes por semana, em dias alternados (segundas, quartas e sextas-feiras), com intensidade e volume de treinamento progressivos, periodizados de

forma linear. O local de treinamento dos grupos foi na sala de musculação da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EsEF-UFRGS). O cronograma das coletas e do treinamento está no quadro 5.

Quadro 5: Cronograma de avaliações e treinamento:

Semana 0	Semana 1 – 12	Semana 13
Avaliação de todas as variáveis dependentes	Treinamento	Avaliação das variáveis dependentes

### 3.4.1. Treinamento de Força (TF)

Antes do início do treinamento, os sujeitos foram familiarizados com os exercícios durante 2 sessões onde aprenderam a executar corretamente os movimentos que seriam utilizados no TF. Os exercícios utilizados durante o TF foram: supino, extensão de joelhos, remada baixa, *leg press*, voador inverso, flexão de joelhos, tríceps na roldana, rosca direta e exercícios abdominais. Antes do início dos treinamentos, um aquecimento específico de membros superiores e inferiores foi executado com cargas leves e a execução de 1 série de 25 repetições. Nas primeiras 2 semanas de treinamento, os indivíduos dos grupos GAF e GFA treinaram com 2 séries de 18 a 20 repetições máximas (RM) (média  $\pm$  DP da carga relativa,  $39,7 \pm 7,4\%$  de 1RM pré treinamento) por exercício. Já entre a 3<sup>a</sup> e a 4<sup>a</sup> semanas, os indivíduos treinaram com 2 séries de 15 a 17 RM ( $48,3 \pm 5,7\%$  de 1RM pré treinamento) em cada exercício. Entre a 5<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> semana, os indivíduos realizaram 2 séries de 12 a 14 RM ( $64,1 \pm 8,7\%$  de 1RM pré treinamento) por exercício. Já na 8<sup>a</sup> semana, o número séries aumentou para 3 e o número de repetições por série foi de 8-10 RM ( $81,3 \pm 12,3\%$  de 1RM pré treinamento). Nas últimas 2 semanas (semanas 11 e 12), os indivíduos treinaram com 3 séries de 6 a 8 RM ( $93,1 \pm 14\%$  de 1RM pré treinamento). Durante o

programa de treinamento, a máxima carga utilizada em cada mesociclo (18-20 RM, 15-17 RM, 12-14 RM, 8-10RM e 6-8 RM) foi registrada para permitir futuras comparações entre os grupos na **carga máxima de treinamento no exercício de extensão de joelhos, relativa aos valores de 1RM pré treinamento**. A carga máxima foi considerada o maior valor (kg) alcançado nesse exercício durante cada mesociclo, expressa posteriormente (resultados) relativizada (%) pelo 1RM pré treino. Entretanto, a carga de treino relativa a 1RM não foi controlada durante o período de treinamento. A carga foi ajustada imediatamente quando os indivíduos fossem capazes de realizar mais ou menos repetições do que o intervalo de repetições estabelecido, através de tentativa e erro. O tempo de descanso entre as séries foi de 90 a 120 segundos. O quadro 6 apresenta a periodização do treinamento de força nos grupos experimentais.

Quadro 6 – Periodização das 12 semanas do treinamento concorrente.

Semana	TREINAMENTO DE FORÇA			TREINAMENTO AERÓBICO	
	Treinos	Séries	Volume x Intensidade	Volume	Intensidade
1	3	2	18 - 20 RM	20 minutos	80 % FC <sub>lim</sub>
2	3	2	18 – 20 RM	20 minutos	80 % FC <sub>lim</sub>
3	3	2	15 – 17 RM	20 minutos	85 % FC <sub>lim</sub>
4	3	2	15 – 17 RM	25 minutos	85 % FC <sub>lim</sub>
5	3	2	12 – 14 RM	25 minutos	85 % FC <sub>lim</sub>
6	3	2	12 – 14 RM	25 minutos	90 % FC <sub>lim</sub>
7	3	2	12 – 14 RM	30 minutos	90 % FC <sub>lim</sub>
8	3	3	8 – 10 RM	30 minutos	90 % FC <sub>lim</sub>
9	3	3	8 – 10 RM	30 minutos	95 % FC <sub>lim</sub>
10	3	3	8 – 10 RM	30 minutos	95 % FC <sub>lim</sub>
11	3	3	6 – 8 RM	6x 4 min / 1 min intervalo ativo	100 % FC <sub>lim</sub>
12	3	3	6 – 8 RM	6x 4 min / 1 min intervalo ativo	100 % FC <sub>lim</sub>

### **3.4.2. Treinamento Aeróbico (TA)**

Os indivíduos dos grupos GAF e GFA realizaram a periodização do treinamento de força, acrescida de treinamento aeróbico, durante as 12 semanas. Conforme o grupo sorteado, os indivíduos executaram o treinamento aeróbico antes ou depois do treino de força. O treino aeróbico desses indivíduos foi com intensidade relativa à frequência cardíaca obtida no segundo limiar ventilatório ( $FC_{lim}$ ). Nas primeiras 2 semanas, os indivíduos treinaram por 20 minutos com intensidade de 80 % da  $FC_{lim}$ . Durante a 3ª semana, os indivíduos treinaram por 20 minutos a 85% da  $FC_{lim}$ , aumentando o tempo para 25 minutos na 4ª e 5ª semana. Já na 6ª semana, o treino foi de 25 minutos a 90% da  $FC_{lim}$ , subindo para 30 minutos na 7ª e 8ª semana. Na 9ª e 10ª semana, os indivíduos treinaram 30 minutos, com intensidade de 95% da  $FC_{lim}$ . Já nas semanas 11ª a 12ª, os indivíduos treinaram com intensidade entre 95 e 100% da  $FC_{lim}$ . No início de cada sessão de treino, os indivíduos realizaram um aquecimento geral em cicloergômetro, durante 5 minutos. Após o aquecimento, cada indivíduo realizou o treinamento propriamente dito, com volume e intensidade correspondente. Ao final da sessão, serão realizados alongamentos para membros inferiores. O quadro 6 apresenta a periodização do treinamento aeróbico.

### **3.4.3. Treinamento concorrente (TC)**

Ambos grupos de treinamento (GFA e GAF) executaram o treinamento concorrente de força e aeróbico (figura 1), que teve como volume total, o equivalente ao somatório de ambos tipos de treinamento descritos nos itens 3.4.1 e 3.4.2, sendo diferenciados apenas pela ordem de execução dos tipos de treino.



Fig. 1. Treinamento concorrente de força (esquerda) e aeróbico (direita).

### **3.5. INSTRUMENTOS DE MEDIDA E PROTOCOLOS DE TESTE**

Os indivíduos que compuseram a amostra desse estudo compareceram à Escola de Educação Física (ESEF) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para os dias de coletas de dados. Antes do início do treinamento (semana 0), e após 12 semanas de treinamento (semana 13), foram avaliados a força muscular dinâmica, as variáveis relacionadas ao torque muscular obtido durante contração isométrica, a ativação muscular isométrica, espessura muscular e a capacidade cardiorrespiratória. Todos os testes realizados foram executados por avaliadores sem o conhecimento de qual o tipo de treinamento cada indivíduo estava realizando. Com relação aos valores de força, o avaliador não teve acesso aos valores pré treinamento.

#### **3.5.1. Composição corporal**

Para caracterização da amostra, a composição corporal foi estimada utilizando-se os protocolos de dobras cutâneas propostos por Jackson & Pollock (1978), que possibilitaram o cálculo da densidade corporal (DC) de cada indivíduo. Após isso, a composição corporal foi estimada através da fórmula de Siri (SIRI, 1993). Foi utilizado um plicômetro da marca LANGE, com resolução de 1mm para mensuração das dobras cutâneas, uma balança analógica da marca ASIMED, com resolução de 0,1 kg, e um estadiômetro da marca ASIMED, com resolução de 1mm. Inicialmente, cada indivíduo teve a sua massa corporal e a sua estatura mensuradas. Posteriormente, o local das dobras cutâneas selecionadas foi marcado de acordo com o posicionamento proposto por Heyward e Stolarczyk (2000). As dobras foram medidas em forma de circuito, totalizando, no máximo, 3 medidas de cada dobra cutânea.

### **3.5.2. Força muscular dinâmica (1RM)**

Foi realizado, o teste de 1RM para membros inferiores no exercício de extensão de joelhos bilateral e para membros superiores no exercício de flexão de cotovelos bilateral com pesos livres. O equipamento utilizado para extensão de joelhos foi a “cadeira extensora” da marca WORLD, com resolução de 1 kg (figura 2). Para o controle do tempo por fase de movimento (concêntrica e excêntrica) e consequentemente o controle indireto da velocidade de movimento durante o teste, foi utilizado um metrônomo da marca QUARTZ com resolução de 1Hz. Antes da execução dos testes os indivíduos realizaram 5 minutos de aquecimento em cicloergômetro em baixa intensidade, alongamentos e 1 série de 25 repetições para cada exercícios com carga leve. Após a seleção da carga de teste, baseada na massa corporal dos indivíduos, cada indivíduo realizou o maior número possível de repetições de cada exercício, alcançando, no máximo, 10 repetições. Após a execução do teste, a carga foi redimensionada a fim de encontrar a carga máxima para uma repetição. O teste foi novamente realizado para a verificação da carga e, se esta não for equivalente ao máximo do indivíduo, o mesmo procedimento foi repetido até que, no máximo, 5 tentativas fossem executadas. Para cada grupo muscular, o intervalo entre cada tentativa foi de 4 minutos. Em cada tentativa, as fases concêntrica e excêntrica tiveram a duração de 2 segundos cada uma. Os indivíduos da amostra foram familiarizados com os exercícios em pelo menos 2 oportunidades anteriormente aos testes de força dinâmica.



Fig. 2. Teste de força muscular dinâmica máxima (1RM) para membros inferiores.

### 3.5.3. Espessura muscular

A espessura muscular foi obtida nos músculos bíceps braquial, braquial, vasto intermédio, vasto lateral, vasto medial e reto femoral através de um equipamento de ultrasonográfica (Philips, VMI, Indústria e Comércio Ltda. Lagoa Santa, MG, Brasil), com imagem de avaliação em B-modo (figura 3). As medidas foram realizadas com os indivíduos posicionados em decúbito dorsal e com os membros inferior e superior direito relaxados. Os locais das medidas foram: bíceps braquial e braquial – 40% da distância entre o epicôndilo lateral do úmero ao processo acromial da escápula, partido do epicôndilo (MIYATAMI et al. 2002); vasto intermédio e reto femoral – dois terços da distância entre o trocânter maior do fêmur e o epicôndilo lateral do fêmur e três centímetros lateral a partir da linha média do membro (CHILIBECK et al., 2004); vasto lateral - ponto médio entre o trocânter maior e o epicôndilo lateral do fêmur (KUMAGAI et al., 2000); e, vasto medial – um terço da distância entre o trocânter maior e o epicôndilo lateral do fêmur (KORHONEN

et al., 2009). Foram executadas medidas no ponto médio entre a crista ilíaca anterosuperior e a borda superior da patela, bem como medidas 5 e 10 cm abaixo desse ponto. Um transdutor com 7,5 MHz foi posicionado sobre o músculo avaliado de modo perpendicular. Para a aquisição da imagem foi utilizado um gel a base de água que promove um aumento do contato acústico sem a necessidade de causar pressão sobre a pele. Foi realizado um mapeamento dos pontos anatômicos que utilizou marcas na pele para identificação dos pontos no momento dos retestes. O mesmo avaliador executou as medidas nos momentos de avaliação, realizando 3 medidas para cada ponto, onde sempre a menor medida foi considerada para análise. Todas as configurações do equipamento, tais como profundidade e frequência de medida foram mantidas durante as avaliações.



Fig. 3. Imagem por ultrasonografia do quadríceps femoral.

#### **3.5.4. Tensão específica de membros inferiores**

Foi utilizada como variável que expressa a qualidade muscular (MQ) (NARICI et al. 2005) e calculada pelo quociente entre os valores individuais de 1RM divididos por dois e a soma dos valores de espessura muscular do quadríceps femoral correspondentes, ajustados pelo coeficiente alométrico 0,67 (JARIC et al. 2002). Sendo assim, a força por unidade de massa muscular foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{Tensão específica} = (1RM/2) (kg) / (VL+VM+VI+RF) (mm)^{0,67}$$

#### **3.5.5. Torque muscular isométrico máximo e Taxa de produção de força**

Para obtenção do torque isométrico máximo, taxa máxima de produção de força e taxa de produção de força em 100ms dos extensores do joelho, os indivíduos realizaram um aquecimento de 5 minutos em ciclo ergômetro e em seguida foram posicionados em um dinamômetro isocinético da marca Biodex (New York, EUA). Esse equipamento estava conectado a um conversor análogo digital (A/D) (Dataq Instruments Inc. Akron, Ohio-USA), que permitiu quantificar o torque realizado quando o indivíduo executou a extensão do joelho no ângulo determinado. Dessa forma, os indivíduos foram posicionados sentados com o quadril em um ângulo de 90°, estabilizados por um velcron fixando-os ao equipamento na altura na cintura. Após ter sua perna direita posicionada pelos avaliadores em um ângulo de 100° na extensão do joelho (180° representa a extensão total), os indivíduos foram instruídos a exercer a máxima força possível na extensão ou flexão do joelho direito de modo a produzir essa força o mais rápido possível.

Foram realizadas 3 tentativas para obtenção da contração voluntária máxima (CVM) para extensores e 3 tentativas para flexores do joelho, com duração de 5 segundos cada CVM, e intervalo de 2 minutos entre cada tentativa. Durante esse teste, foi providenciado

encorajamento verbal por parte dos pesquisadores para que os sujeitos se sentissem motivados a produzir a máxima força. O sinal de força obtido foi adquirido pelo software BIODEX, em sincronismo com a eletromiografia. Para análise do torque isométrico máximo foi utilizado o software SAD32, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS. A CVM com maior valor foi utilizada para obtenção das variáveis de Taxa de Produção de Força, que foram consideradas: (I) a máxima variação da força na fase ascendente da curva x força tempo (taxa máxima); e, (II) a variação de força nos primeiros 100ms da curva força x tempo (taxa em 100ms). O ponto considerado o início da fase ascendente da curva força x tempo foi o ponto onde o torque produzido pelos sujeitos ultrapassou os valores de 2 DP da média obtida nos sinal de torque durante o repouso. Para tal cálculo foi utilizado o software Matlab (Microsoft, EUA).

### **3.5.6. Atividade neuromuscular máxima e economia neuromuscular de membros inferiores**

Para a aquisição dos dados eletromiográficos (EMG) foi utilizado um eletromiografo de oito canais (AMT-8, Bortec Biomedical Ltd., Canadá). O sinal EMG foi convertido por uma placa analógico-digital DI-720 com 16 bits de resolução (Dataq Instruments Inc. Akron, Ohio-USA) com frequência de amostragem de 2000 Hz por canal. Paralelamente aos testes de torque isométrico, a ativação muscular foi avaliada através do sinal EMG dos músculos vasto lateral e reto femoral, além do bíceps femoral porção longa, como avaliação da coativação antagonista. Em um primeiro momento, foi feita a raspagem dos pêlos e limpeza da pele por abrasão, com algodão umedecido com álcool em gel, onde os eletrodos foram colocados. Os eletrodos de superfície (modelo 242, marca HAL, São Paulo) foram então posicionados, em configuração bipolar, longitudinalmente à direção das

fibras musculares, no ventre dos músculos vasto lateral, reto femoral e bíceps femoral, próximas à região do ponto motor, de acordo com as recomendações propostas por Leis e Trapani (2000). A distância entre os eletrodos é fixa em 2 cm, característica do modelo de eletrodo utilizado e, em cada coleta, o nível de resistência entre os eletrodos foi medido, controlado e mantido abaixo de 3000 Ohms (NARICI et al, 1989), através de verificação que foi feita por um multímetro. Um eletrodo de referência foi colocado na tuberosidade da tibia da perna direita. O posicionamento dos eletrodos foi controlado através do mapeamento proposto por Narici et al. (1989), através de lâminas transparentes onde foram desenhados mapas anatômicos com o posicionamento de eletrodos referentes a pontos anatômicos e sinais na pele (figura 4).



Fig. 4. Mapeamento para o reposicionamento dos eletrodos (Narici et al. 1989).

Simultaneamente aos valores de torque, o sinal EMG coletado foi transmitido para um conversor A/D que transmitiu os dados (sinal eletromiográfico e torque) para uma única placa de aquisição, possibilitando o armazenamento dos dados obtidos em diferentes instrumentos e medida em um mesmo arquivo. A aquisição das curvas de torque e EMG dos diferentes músculos foi efetuada com uma frequência de amostragem de 2000Hz (DE LUCA, 1997). Dessa forma, foram obtidos os sinais EMG correspondentes a maior CVM

(atividade neuromuscular máxima). Além disso, a economia neuromuscular isométrica foi avaliada através da quantificação dos valores *root mean square* (RMS) durante uma contração a 50% do valor de torque obtido na maior CVM. Para isso, foi fornecido um feedback visual através de uma linha posicionada na escala de produção de torque, a qual os indivíduos foram orientados a manter o nível de produção de torque. Para isso foram feitas 3 tentativas, onde o indivíduos deveriam permanecer pelo menos 3 segundos com a produção torque estável.

### **3.5.7. Consumo de oxigênio de pico ( $VO_{2\text{pico}}$ ), limiares ventilatórios ( $LV_1$ e $LV_2$ ) e potência máxima em ciclo ergômetro ( $W_{\text{máx}}$ )**

O  $VO_{2\text{pico}}$ , foi obtido em um teste realizado em ciclo ergômetro, com característica progressiva, e semelhante ao protocolo utilizado por Izquierdo et al., (2004), em indivíduos idosos (figura 5).



Fig. 5. Teste máximo em ciclo ergômetro (esquerda) e analisador de gases (direita).

*Instrumentação:*

Foi utilizado um cicloergômetro da marca CYBEX. Para coletas dos gases, foi utilizado um ergoespirômetro (analisador de gases) da marca MEDICAL GRAPHICS CORPORATION, modelo Cardiopulmonary Exercise System Cpx (St. Paul, EUA). Este aparelho coleta amostras do gás expirado com a possibilidade de armazenamento dos dados adquiridos em cada respiração (breath-by-breath). Para monitoramento da frequência cardíaca, foi utilizado um freqüencímetro da marca POLAR, modelo S610, com as seguintes funções: mensuração da frequência cardíaca online, com determinação da frequência cardíaca máxima de cada estágio e cronômetro com indicador de tempo parcial.

*Familiarização com o protocolo:*

Antes dos testes, cada indivíduo participou de duas sessões de familiarização com o protocolo e com a máscara (ou bocal) utilizada para a coleta dos gases.

As sessões de familiarização consistiram na execução dos seguintes procedimentos:

- a. Explicação do protocolo, salientando o seu caráter máximo, além da impossibilidade de falar durante o teste;
- b. Estabelecimento de sinais convencionados para a interrupção do teste, por iniciativa do indivíduo;
- c. Colocação da máscara;
- d. Execução dos 3 primeiros estágios do protocolo.

Ao final da familiarização, o teste máximo foi agendado com um intervalo de, no mínimo, 48 horas.

*Calibração do analisador de gases:*

Uma hora antes do início do primeiro teste de cada dia, o equipamento de ergoespirometria foi ligado para aquecimento e estabilização das células de análise de gases

para que a calibração do equipamento fosse efetuada. O procedimento de calibração foi adotado em todos os dias de teste. A calibração do ergoespirômetro incluiu procedimentos de calibração do pneumotacógrafo e do analisador de gases. Se, por qualquer razão, as condições do teste fossem alteradas durante o dia (por exemplo, alterações consideráveis na temperatura ou falta de energia elétrica), o procedimento completo seria repetido.

*Procedimentos para calibração:*

a) Informação das condições ambientais: antes do início do processo de calibração foram informadas a temperatura ambiente, a pressão atmosférica e a umidade relativa do ar.

b) Calibração do volume no pneumotacógrafo: inicialmente, a calibração do volume zero no pneumotacógrafo foi feita eletronicamente pelo sistema. Em seguida, foi feita a calibração do volume com a execução de cinco injeções e ejeções de ar, em diferentes velocidades através do pneumotacógrafo, utilizando-se de uma seringa de 3 litros.

c) Calibração do analisador de gases: consistiu no ajuste das concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> de acordo com as concentrações dos cilindros de referência (21% O<sub>2</sub> e nitrogênio para balanço) e de calibração (12% O<sub>2</sub>, 5,09% CO<sub>2</sub>, e nitrogênio para balanço), da empresa Air Products. Por último, foi realizada a medida da phase delay, ou seja, a diferença de tempo entre a detecção do fluxo pelo pneumotacógrafo, praticamente instantânea, e as medidas das concentrações dos gases pelo analisador.

*Teste máximo:*

Ao chegar no laboratório, cada indivíduo teve sua pressão arterial mensurada. Logo após, ele foi colocado na posição sentada, em uma cadeira posicionada sobre a esteira, para a colocação da máscara (ou bocal) e do freqüencímetro. Após a colocação da máscara, a coleta do VO<sub>2</sub> e VCO<sub>2</sub> de repouso foi iniciada, e o teste foi iniciado somente quando a taxa de troca respiratória respiratória (RER) estivesse com um valor abaixo de 0,95. Satisfeitas

as condições anteriormente citadas, o teste máximo iniciou com os indivíduos pedalando por 2 minutos a uma carga de 25 watts (W) e a uma cadência entre 70 e 75 rpm. A cada 2 minutos, a carga foi aumentada em 25 W, até a exaustão dos indivíduos. Durante os testes foram registrados o  $\text{VO}_2$ , e os limiares ventilatórios. O teste foi interrompido quando ocorreu a exaustão indivíduo, determinada pela execução, de um sinal convencional que indicasse a impossibilidade de continuar pedalando. A avaliação foi considerada válida, se dois dos seguintes critérios fossem alcançado ao final do teste (MEIJER et al., 2000):

1. Obtenção da frequência cardíaca máxima predita pela idade ( $220 - \text{idade}$ ).
2. Impossibilidade de continuar pedalando em uma velocidade mínima de 70 rpm;
3. A obtenção de um RER maior do que 1,10 ( $\text{QR} > 1,10$ );

O pico de  $\text{VO}_2$  ( $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ) foi considerado o maior valor obtido próximo ao final do teste.

*Carga máxima em ciclo ergômetro no momento de exaustão:*

Foi a máxima carga ( $W_{\text{máx}}$ ) em Watts (W), determinada durante o protocolo em ciclo ergômetro, determinada através da fórmula:  $W_{\text{máx}} = W_{\text{com}} + (t/120) \Delta W$ , onde  $W_{\text{com}}$  é a carga no último estágio do teste completado,  $t$  é o tempo no ultimo estágio não completado e  $\Delta W$  é o incremento de carga no último estágio (25W) (IZQUIERDO et al., 2003).

*Limiares ventilatórios:*

O primeiro limiar ventilatório foi calculado através do método V-slope. Nesse método, a curva de  $\text{VO}_2$  é plotada contra a curva de  $\text{VCO}_2$  durante o exercício. O gráfico determina o ponto de quebra ou de intersecção entre as duas curvas, como resultado do aumento mais rápido da curva de  $\text{VCO}_2$  comparado à curva de  $\text{VO}_2$ . O segundo limiar ventilatório foi deteminado através da curva de ventilação e correspondeu ao ponto de

aumento exponencial da ventilação em relação à carga (WASSERMAN 1986; HANSEN et al. 2007). Além disso, para confirmação dos dados, o primeiro e o segundo limiares ventilatórios foram determinados através dos equivalentes ventilatórios de O<sub>2</sub> (VE/VO<sub>2</sub>) e CO<sub>2</sub> (VE/VCO<sub>2</sub>) (WASSERMAN 1986). Os pontos correspondentes foram determinados por dois observadores experientes e independentes (HUG et al., 2003).

### **3.6. TRATAMENTO DOS DADOS**

#### **3.6.1. Torque isométrico**

Os arquivos de torque isométrico de cada indivíduo foram “exportados” do sistema de aquisição BIODEX para o sistema de análise de sinais SAD32. O sinal de torque isométrico foi então filtrado com um filtro do tipo Passa-baixa de 9ª ordem para exclusão de sinais acima de 9 Hz. O maior valor obtido foi considerado o pico de torque.

#### **3.6.2. Atividade neuromuscular máxima e economia neuromuscular de membros inferiores**

Os sinais EMG foram coletados com a utilização do programa de aquisição de dados Windaq e armazenadas em um computador (Pentium IV 1000 MHz). Com relação ao sinal EMG isométrico, foram feitos procedimentos de filtragem no programa SAD32, no qual utilizou-se um filtro do tipo Passa-banda Butterworth, de 5ª ordem, com frequência de corte entre 20 e 500 Hz. As curvas do sinal correspondente às contrações voluntárias máximas, após passarem pelos procedimentos de filtragem, foram recortadas para a obtenção do valor RMS, no janelamento correspondente a 1 segundo iniciado após obtenção do pico de torque muscular máximo. Para obtenção da economia neuromuscular, foram utilizados os mesmos procedimentos de filtragem do sinal e foi feito um recorte de 1

segundo na curva de torque, correspondente a 50% dos valores de torque isométrico máximo pré treinamento. Os valores RMS obtidos no teste para economia neuromuscular foram normalizados pela atividade neuromuscular máxima e expressos em valores percentuais. A coativação antagonista obtida foi normalizada pelos valores de ativação máxima do bíceps femoral obtidos na CVM de flexão de joelho e expressa em valores percentuais.

### **3.6.3. Consumo de oxigênio pico e limiares ventilatórios**

Os valores de cada teste foram “exportados” e visualizados através de tabelas formatadas no programa Excel XP, pertencente ao pacote Microsoft Office XP. Através dessas tabelas foram então identificados os valores correspondentes aos limiares e  $VO_{2pico}$  de cada indivíduo.

## **3.7. PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS**

Foi utilizada estatística descritiva com média e desvio padrão. O teste de normalidade utilizado foi de Shapiro-Wilk e o de homogeneidade foi o de Levene. Após isso, foi realizado o teste de Análise de Variância (ANOVA) two-way (tempo x grupo). Para comparação da carga máxima de treinamento, devido ao maior número de medidas no fator tempo, foi utilizado o teste post-hoc de Bonferroni. O nível de significância  $\alpha = 0,05$  será considerado em todas as análises. Para a execução dos procedimentos estatísticos, foi utilizado o pacote estatístico SPSS versão 17.

O poder estatístico retroativo fornecido pelo programa SPSS registrou um poder de 99,99% em todas as variáveis de força e capacidade aeróbica onde um efeito do tempo foi encontrado, e 80% para os resultados onde uma interação significativa foi observada.

Exceções foram observadas nas variáveis de taxa de produção de força, onde um poder estatístico de 71 a 78% foi observado no efeito tempo. Além disso, o poder estatístico do efeito tempo nas variáveis de EMG foi de 80 e 92% para a atividade neuromuscular máxima do VL e RF, respectivamente, e de 100 e 85% para a economia neuromuscular do VL e RF, respectivamente.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. NORMALIDADE E HOMOGENEIDADE

Todas as variáveis analisadas no presente estudo apresentaram distribuição normal. Além disso, os dois grupos de treinamento foram homogêneos com relação à variância.

### 4.2. VARIÁVEIS DE CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA E FREQUÊNCIA DE TREINAMENTO

Os resultados de caracterização da amostra estão apresentados na tabela 1. Após o período do treinamento, não houve modificações nos valores de idade, massa corporal e estatura. Ambos os grupos reduziram o percentual de gordura após o treinamento ( $P < 0.001$ ), sem diferenças entre os grupos (tabela 1). Com relação a frequência de treinamento, não houve diferenças significativas entre os grupos ( $94.8 \pm 4.3$  vs.  $97.2 \pm 2.9\%$ , em GFA E GAF, respectivamente).

Tabela 1: Características físicas antes e depois do treinamento. Média  $\pm$  DP.

	Grupo força-aeróbico GFA n = 13		Grupo aeróbico-força GAF, n = 13	
	Pré	pós	Pré	pós
Idade (anos)	$64,7 \pm 3,7$	$64,9 \pm 3,9$	$64,7 \pm 4,8$	$64,8 \pm 4,8$
Massa corporal (kg)	$79,7 \pm 10,5$	$79,5 \pm 9,5$	$83,3 \pm 13,4$	$82,6 \pm 13,3$
Estatura (cm)	$170,0 \pm 5,9$	$170,0 \pm 5,9$	$173,5 \pm 5,1$	$173,5 \pm 5,1$
% gordura	$27,3 \pm 3,7$	$25,6 \pm 3,3^*$	$28,1 \pm 3,0$	$26,8 \pm 3,4^*$

\*Diferenças significativas dos valores pré treinamento ( $P < 0,001$ ).

### 4.3. VARIÁVEIS DEPENDENTES

Os resultados serão apresentados divididos em 2 grupos de variáveis: 1) variáveis neuromusculares; e, 2) variáveis cardiorrespiratórias. Em cada tópico, primeiramente serão apresentados os resultados e depois os mesmos serão discutidos por tópico.

### 4.3.1. Variáveis neuromusculares

Os resultados das variáveis neuromusculares estão apresentados nas tabelas 2 e 3. Antes do período de treinamento, não houve diferenças entre os grupos nas variáveis de força e torque muscular, taxa de produção de força, espessura muscular, atividade neuromuscular máxima e economia neuromuscular.

Tabela 2: Performance na força antes e depois do treinamento. Grupo força-aeróbico (GFA) e grupo aeróbico-força (GAF). Média  $\pm$  DP.

	Força-aeróbico (GFA, n=13)		Aeróbico-força (GAF, n=13)	
	Pré treinamento	Pós treinamento	Pré treinamento	Pós treinamento
1RM FC (kg)	27,0 $\pm$ 2,2	31,3 $\pm$ 3,7***	26,2 $\pm$ 4,2	29,1 $\pm$ 4,4***
1RM EJ (kg)	68,1 $\pm$ 9,8	91,5 $\pm$ 12,7***†	72,7 $\pm$ 11,8	88,3 $\pm$ 14,9***
PT Isométrico EJ (N·m)	229,8 $\pm$ 27,8	247,3 $\pm$ 26,9***	238,6 $\pm$ 38,6	250,2 $\pm$ 34,3***
PT Isométrico FJ (N·m)	116,6 $\pm$ 15,0	125,0 $\pm$ 15,6***	115,1 $\pm$ 25,7	131,9 $\pm$ 40,0***
TPF EJ em 100ms (N·m·s <sup>-1</sup> )	490,6 $\pm$ 354,0	620,0 $\pm$ 366,8*	428,7 $\pm$ 320,0	652,5 $\pm$ 459,5*
TMPF EJ (N·m·s <sup>-1</sup> )	773,7 $\pm$ 354,4	879,7 $\pm$ 434,9**	757,7 $\pm$ 324,5	1007,2 $\pm$ 515,9**
Tensão específica QF (kg·mm <sup>0.67</sup> )	1,95 $\pm$ 0,32	2,47 $\pm$ 0,32***†	2,03 $\pm$ 0,26	2,33 $\pm$ 0,32***

1RM, uma repetição máxima; EJ, extensores do joelho; FJ, flexores do joelho; PT, pico de torque; TPF, taxa de produção de força; TMPF, taxa máxima de produção de força. Diferença significativa dos valores pré treinamento: \*(P <0,05), \*\*(P <0,01), e \*\*\*(P <0,001). Interação tempo vs. grupo significativa: †(P<0,02).

Tabela 3: Espessura muscular, atividade neuromuscular máxima e economia neuromuscular antes e após o período de treinamento. Grupo força-aeróbico (GFA) e grupo aeróbico-força (GAF). Média  $\pm$  DP.

	Força-aeróbico (GFA, n=13)		Aeróbico-força (GAF n=13)	
	Pré treinamento	Pós treinamento	Pré treinamento	Pós treinamento
Espessura muscular VL (mm)	19,8 $\pm$ 2,7	21,3 $\pm$ 3,2***	21,6 $\pm$ 2,3	23,2 $\pm$ 2,3***
Espessura muscular VM (mm)	19,3 $\pm$ 2,9	22,5 $\pm$ 3,9***	19,4 $\pm$ 4,7	21,2 $\pm$ 5,1***
Espessura muscular VI (mm)	14,3 $\pm$ 3,4	15,6 $\pm$ 3,5***	14,8 $\pm$ 4,1	16,4 $\pm$ 3,9***
Espessura muscular RF (mm)	18,6 $\pm$ 3,8	19,1 $\pm$ 3,8***	17,6 $\pm$ 3,6	19,0 $\pm$ 3,4***
Espessura muscular QF (mm)	72,0 $\pm$ 8,6	78,5 $\pm$ 8,7***	73,4 $\pm$ 10,5	79,8 $\pm$ 10,8***
Espessura muscular BB (mm)	25,5 $\pm$ 3,8	26,7 $\pm$ 4,2***	25,9 $\pm$ 4,2	26,7 $\pm$ 4,0***
Espessura muscular BR (mm)	9,4 $\pm$ 1,9	10,7 $\pm$ 2,2***	10,4 $\pm$ 2,6	11,3 $\pm$ 3,0***
Espessura muscular FC (mm)	34,9 $\pm$ 2,8	37,4 $\pm$ 3,0***	36,3 $\pm$ 4,6	38,1 $\pm$ 4,4***
AN máxima VL (V)	0,189 $\pm$ 0,093	0,204 $\pm$ 0,087*	0,143 $\pm$ 0,065	0,168 $\pm$ 0,077*
AN máxima RC (V)	0,120 $\pm$ 0,038	0,143 $\pm$ 0,043**	0,096 $\pm$ 0,040	0,109 $\pm$ 0,050**
Coativação antagonista BF (%)	21,4 $\pm$ 11,4	19,8 $\pm$ 10,1	24,2 $\pm$ 10,7	27,3 $\pm$ 18,3
Economia neuromuscular VL (%)	42,3 $\pm$ 8,0	34,9 $\pm$ 7,6***	44,2 $\pm$ 8,9	38,4 $\pm$ 9,3***
Economia neuromuscular RF (%)	41,9 $\pm$ 11,9	31,1 $\pm$ 11,8***†	38,3 $\pm$ 12,3	37,8 $\pm$ 11,8

VL, vasto lateral; VM, vasto medial; VI, vasto intermédio; RF, reto femoral; QF, quadríceps femoral; BF, bíceps femoral; BR, braquial; FC, flexores do cotovelo. AN, Atividade neuromuscular máxima determinada pela amplitude máxima do sinal eletromiográfico. Diferenças significativas dos valores pré treinamento: \*(P <0,05), \*\*(P <0,01), e \*\*\*(P <0,001). †Interação tempo vs. grupo significativa (P<0,05).

#### 4.3.1.1. Carga máxima de treinamento em cada mesociclo

Durante os diferentes mesociclos, houve uma forte tendência de interação tempo vs. grupo na carga máxima de treinamento relativa aos valores de 1RM pré treinamento dos extensores do joelho (P=0.056) (figura 6), com GFA tendendo a ter maior aumento relativo de carga de treino que GAF durante a periodização de treino de força [149,1  $\pm$  37,7% (de 38,7  $\pm$  5 a 95  $\pm$  10% de 1RM pré treinamento) vs. 132,9  $\pm$  32,2% (de 36,2  $\pm$  10,0 a 82,9  $\pm$  8,0% de 1RM pré treinamento), respectivamente].

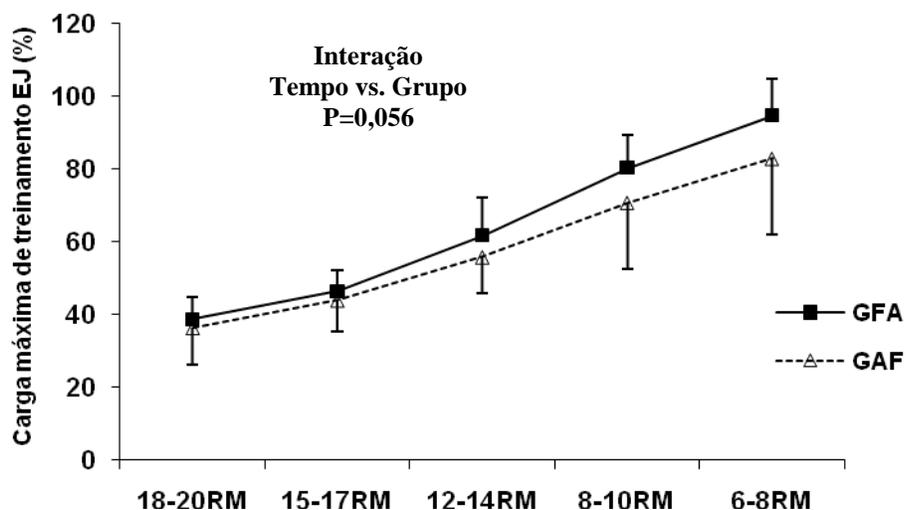


Fig. 6: Média  $\pm$  DP da carga máxima de treinamento de força dos extensores do joelhos (EJ) relative aos valores de 1RM pré treinamento (%) durante os diferentes mesociclos. Tendência de interação tempo vs. grupo ( $P=0.056$ ).

#### 4.3.1.2. Força muscular dinâmica (valores de 1RM)

Após o treinamento, houve interação tempo vs. grupo significativa ( $P<0,01$ ) nos valores de 1 RM de membros inferiores. Ambos GFA e GAF aumentaram os valores de 1RM nos extensores de joelho ( $P<0,001$ ), mas o aumento observado foi significativamente maior em GFA do que GAF ( $35,1 \pm 12,8$  vs.  $21,9 \pm 10,6\%$ , respectivamente,  $P<0,01$ ) (figura 7). No 1RM de membros superiores, houve aumento significativo em GFA e GAF ( $P<0,001$ ), sem diferenças entre os grupos ( $15,0 \pm 9,0$  vs.  $11,5 \pm 7,3\%$ , respectivamente) (tabela 2).

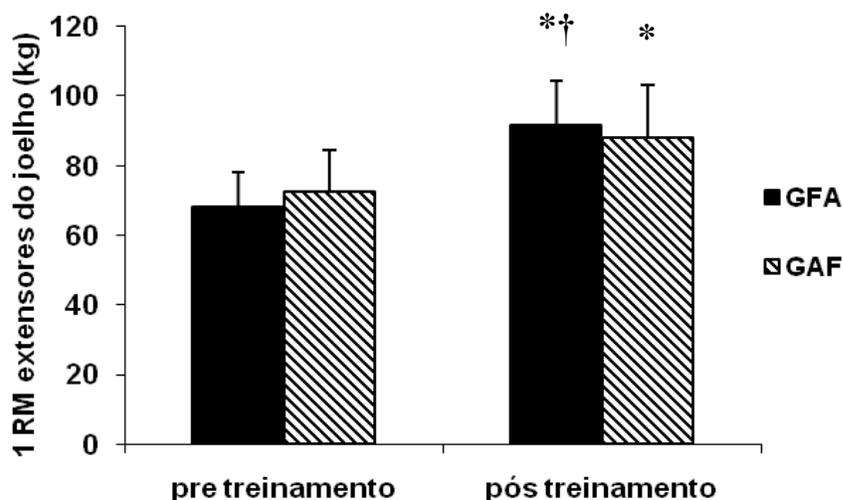


Fig. 7. Média  $\pm$  DP dos valores de 1 repetição máxima (1RM) (kg) dos extensores do joelho, pré e pós 12 semanas de treinamento concorrente. GFA, grupo força-aeróbico; GAF, grupo aeróbico-força. \*Diferença significativa dos valores pré treinamento ( $P < 0,001$ ). †Interação significativa grupo vs. tempo ( $P < 0,01$ ).

#### 4.3.1.3. Pico de torque isométrico e taxa de produção de força

Após o treinamento, houve aumento significativo em GFA e GAF no pico de torque dos extensores do joelho ( $P < 0,001$ ) ( $8,0 \pm 7,1$  vs.  $5,7 \pm 9,6\%$ , respectivamente) e no pico de torque dos flexores do joelho ( $P < 0,001$ ) ( $7,8 \pm 8,7$  vs.  $7,9 \pm 7,7\%$ , respectivamente), sem diferenças entre os grupos (tabela 2). Ainda, houve aumento na taxa máxima de produção de força ( $P < 0,05$ ) e na taxa de produção de força em 100ms ( $P < 0,001$ ), sem diferenças entre os grupos (tabela 2).

#### 4.3.1.4. Espessura muscular

Antes do treinamento, não houve diferenças entre os grupos nos valores de espessura de membros inferiores (VL, VM, RF, VI e QF) e superiores (BB, BR e FC) (Tabela 3). Após o treinamento, houve aumento significativo na espessura do VL (GFA:

7,3 ± 4,6%; e GAF: 7,5 ± 5,3%); VM (P<0,005) (GFA: 16,7 ± 14,2%; e GAF: 9,7 ± 8,3%, P<0,001); VI (GFA: 9,4 ± 8,7%; e GAF: 12,1 ± 9,3%); RF (GFA: 3,5 ± 3,2%; e GAF: 6,4 ± 3,8%); e soma do QF (GFA: 9,3 ± 6,2%; e GAF: 9,0 ± 5,0%) (efeito tempo: P<0,001), sem diferenças entre os grupos (Tabela 3 e Figura 8).

Após o treinamento, houve aumento na espessura do BB (GFA: 4,6 ± 3,7%; e GAF: 3,3 ± 1,9%, P<0,001); BR (GFA: 13,5 ± 7,5%; e GAF: 9,1 ± 10,8%, P<0,001); e soma dos FC (GFA: 7,0 ± 2,8%; e GAF: 5,0 ± 3,5%) (efeito tempo: P<0,001), sem diferenças entre os grupos (tabela 3).

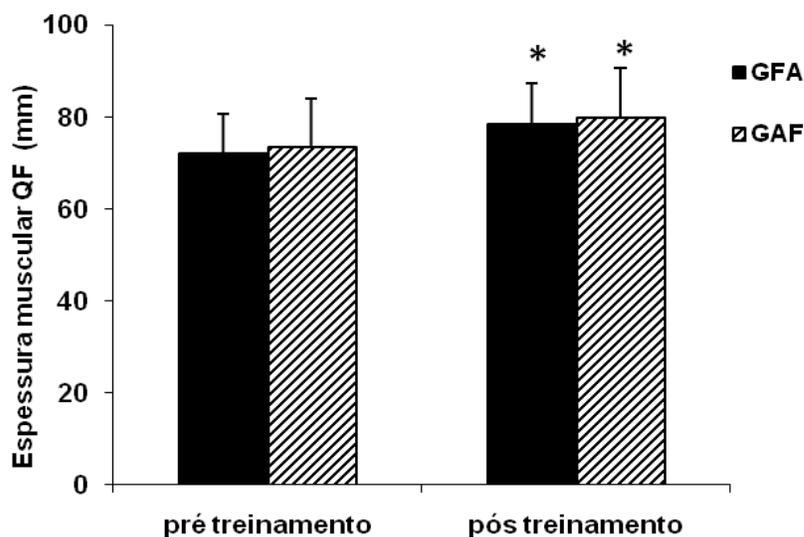


Fig. 8: Média ± DP dos valores de espessura muscular do quadriceps femoral (mm) pré e pós 12 semanas de treinamento concorrente. GFA, grupo força-aeróbico; GAF, grupo aeróbico-força. \*Diferença significativa dos valores pré treinamento (P<0,001).

#### 4.3.1.5. Tensão específica de membros inferiores

Houve uma interação tempo vs. grupo significativa ( $P < 0,02$ ) na tensão específica do QF. Ambos GFA e GAF demonstraram aumento ( $P < 0,001$ ), mas o aumento observado foi significativamente maior em GFA do que GAF ( $27,5 \pm 12,7$  e  $15,2 \pm 10,3\%$ , respectivamente,  $P < 0,02$ ) (figura 9).

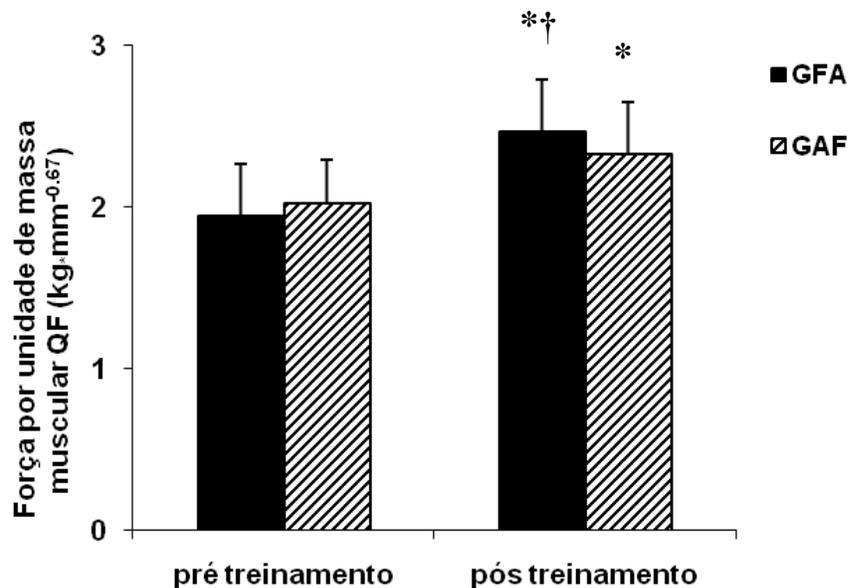


Fig. 9. Média  $\pm$  DP dos valores de tensão específica (força por unidade de massa muscular) do quadriceps femoral (QF) ( $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-0.67}$ ) pré e pós 12 semanas de treinamento concorrente. GFA, grupo força-aeróbico; GAF, grupo aeróbico-força. \*Diferença significativa dos valores pré treinamento ( $P < 0,001$ ). †Interação significativa grupo vs. tempo ( $P < 0,02$ ).

#### 4.3.1.6. Atividade neuromuscular (medidas EMG)

Não houve diferença entre os grupos antes do início do treinamento na atividade neuromuscular máxima do VL e RF, coativação antagonista (BF) e na economia neuromuscular do VL e RF (Tabela 3). Após o treinamento, houve aumento significativo na atividade neuromuscular máxima do VL em ambos os grupos ( $P < 0,05$ ) (GFA:  $16,7 \pm$

40,5% e GAF:  $18,3 \pm 21,2\%$ ) (Figura 10), e RF em ambos os grupos ( $P < 0,01$ ) (GFA:  $22,5 \pm 23,6\%$  e GAF:  $14,1 \pm 26,2\%$ ) (figura 11), sem diferenças entre os grupos.

Não houve modificações na co-ativação antagonista do BF durante a CVM dos extensores do joelhos em GFA e GAF (tabela 3). Houve interação significativa tempo vs. grupo ( $P < 0,01$ ) na economia neuromuscular do RF. Somente o grupo GFA diminuiu o sinal EMG relativo para a mesma carga, ( $-22,6 \pm 30,0\%$ ,  $P < 0,01$ ), e essa redução foi significativamente maior ( $P < 0,01$ ) que GAF ( $1,5 \pm 24,0\%$ ,  $P = 0,86$ ) (tabela 3 e figura 12), que não apresentou mudanças. Ambos os grupos melhoraram a economia neuromuscular do VL ( $P < 0,001$ ) (GFA:  $-16,9 \pm 12,7\%$  e GAF:  $-12,5 \pm 15,4\%$ ), sem diferenças entre os grupos.

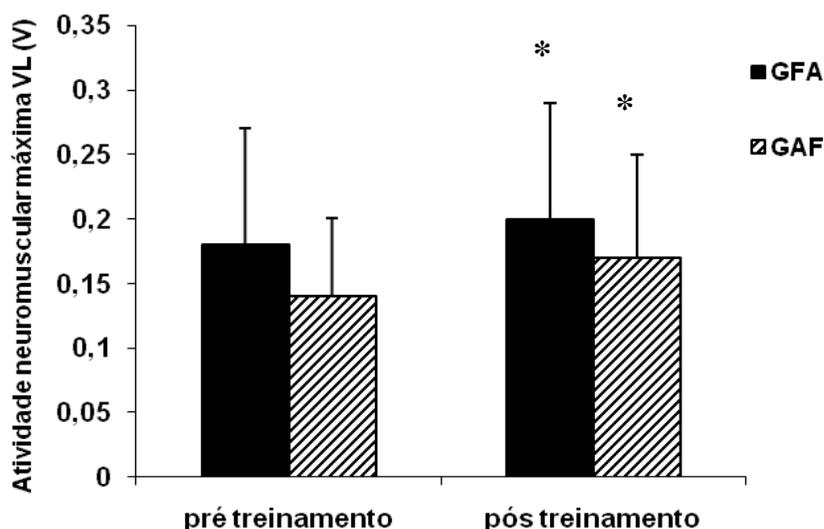


Fig. 10. Média  $\pm$  DP dos valores atividade neuromuscular máxima (máxima amplitude do sinal EMG) do músculo vasto lateral (VL) (V), pré e pós 12 semanas de treinamento concorrente. GFA, grupo força-aeróbico; GAF, grupo aeróbico-força. \*Diferença significativa dos valores pré treinamento ( $P < 0,05$ ).

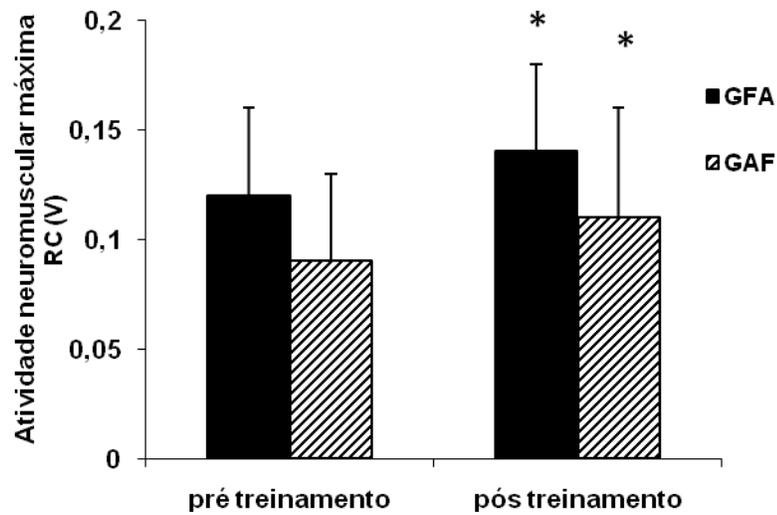


Fig. 11. Média  $\pm$  DP dos valores atividade neuromuscular máxima (máxima amplitude do sinal EMG) do músculo reto femoral (RC) (V), pré e pós 12 semanas de treinamento concorrente. GFA, grupo força-aeróbico; GAF, grupo aeróbico-força. \*Diferença significativa dos valores pré treinamento ( $P < 0,01$ ).

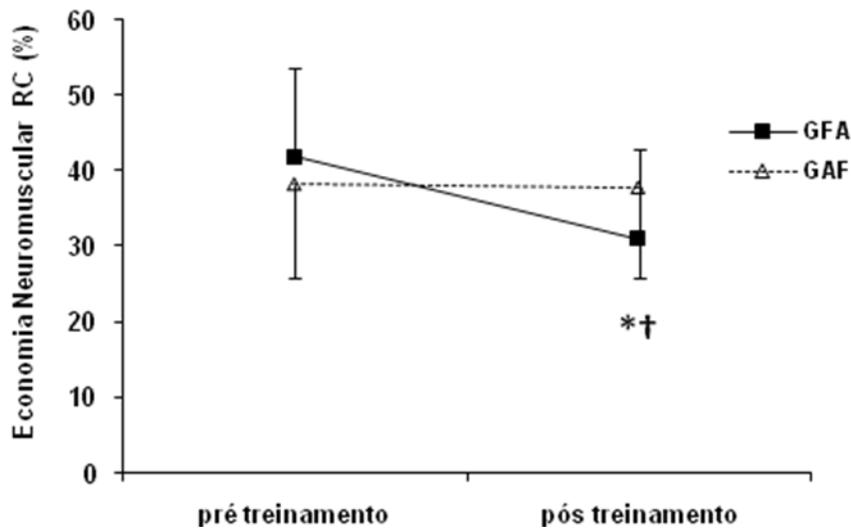


Fig. 12. Média  $\pm$  DP dos valores de economia neuromuscular do músculo reto femoral (RC) (%), pré e pós 12 semanas de treinamento concorrente. GFA, grupo força-aeróbico; GAF, grupo aeróbico-força. \*Diferença significativa dos valores pré treinamento ( $P < 0,01$ ). †Interação significativa grupo vs. tempo ( $P < 0,01$ ).

Os principais resultados do presente estudo foram os maiores ganhos de força muscular dinâmica de membros inferiores observados quando o treinamento de força foi executado antes do treinamento aeróbico (i.e., GFA), quando comparado aos ganhos observados com a ordem inversa (i.e., GAF). Além disso, os maiores ganhos de força observados em GFA pode estar relacionados com adaptações neurais, já que somente o GFA melhorou a economia neuromuscular do músculo reto femoral, bem como obteve maior aumento na tensão específica do quadríceps. Além disso, nenhuma diferença foi observada nas adaptações morfológicas entre os grupos, o que sugere que a sequência de exercícios influenciou nos ganhos de força, mas não na magnitude de hipertrofia. Esses resultados indicam que a realização do treino de força antes do treino aeróbico otimiza os ganhos de força em homens idosos.

No presente estudo, ambos GFA e GAF apresentaram ganhos de força (35 e 22%, respectivamente) em magnitude semelhante ou maior comparado a outros estudos que investigaram as adaptações ao treino concorrente vs. o treino de força em homens idosos (20-41%) (WOOD et al. 2001; IZQUIERDO et al. 2004; HOLVIALA et al. 2010, 2012; KARAVIRTA et al. 2009; 2011). Em estudo de Holviala et al. (2010), 21 semanas de TF ou TC resultaram em ganhos similares em homens idosos (20 e 21 %). Utilizando um regime de treinamento similar a Holviala et al. (2010), Karavirta et al. (2011), demonstraram a mesma magnitude de melhora na força em resposta ao TF e TC (21-22%). É interessante notar, que as mesmas adaptações na força observadas no presente estudo ocorreram em um período mais curto de tempo do que os estudos supracitados (12 vs. 21 semanas) (HOLVIALA et al. 2010; 2012; KARAVIRTA et al. 2009; 2011). Esses diferentes tempos de desenvolvimento de força poderiam ser explicados pela maior frequência semanal de treinamento utilizada no presente estudo

(3 vezes por semana), comparada a esses estudos (2 vezes por semana) (HOLVIALA et al. 2010; 2012; KARAVIRTA et al. 2009; 2011). O aumento no número de sessões por semana representa 33% a mais de volume de treinamento. Sendo assim, é possível que a maior frequência de treino semanal possa explicar a magnitude de adaptações neuromusculares observadas em apenas 12 semanas, mesmo quando o treinamento aeróbico foi executado antes do treino de força.

Um importante resultado desse estudo foi os maiores ganhos de força dinâmica máxima e tensão específica do quadríceps observados em GFA comparado a GAF. Poucos estudos investigaram os efeitos da ordem dos exercícios de força e aeróbico nas adaptações neuromusculares ao treino concorrente. Em estudo de Gravelle e Blessing (2000), utilizando amostra de mulheres jovens, nenhuma diferença foi observada nas adaptações na força entre os grupos que executaram as diferentes sequências. Em outro estudo, Chtara et al. (2008) observaram o efeito de interferência do TA nas adaptações ao TF, mas sem diferenças entre os grupos que executaram o TF antes ou depois do TA. Utilizando um regime de TC idêntico ao presente estudo, Cadore et al. (2010), investigando homens idosos saudáveis, encontraram que o grupo que executou somente o TF obteve 50% a mais nos ganhos de força dos extensores do joelho do que o grupo de TC. Nesse estudo, devido ao fato de que o TA foi realizado sempre antes do TF, foi especulado que a fadiga resultante do TA possa ter afetado negativamente os ganhos de força induzidos pelo treinamento. Sendo assim, os resultados do presente estudo vão ao encontro dos nossos resultados prévios, já que no presente estudo GFA obteve ganhos 50% superiores na força do que GAF, embora os ganhos percentuais observados em nosso estudo prévio tenham sido maiores do que no presente estudo. Uma possível explicação para os presentes resultados foi que a fadiga resultante do TA prejudicou a

performance no TF ao longo da periodização. Nesse contexto, os maiores ganhos de força em GFA podem estar relacionados com a tendência de maiores incrementos de carga obtidos nesse grupo (149,1 vs. 132,9%,  $P=0,056$ ), especialmente quando o volume por série durante o TF foi de 6 - 10 RM (Figura 6), e a intensidade do treino aeróbico foi próxima ao segundo limiar ventilatório. De fato, a fadiga residual de 30 minutos de treino aeróbico em ciclo ergômetro pode reduzir a performance na força por comprometer a função neuromuscular (LEPERS et al. 2001).

No presente estudo, ambos grupos aumentaram a espessura muscular dos flexores do cotovelo e dos extensores do joelho. Alguns estudos demonstraram que o TC com alto volume pode prejudicar a hipertrofia muscular das fibras do tipo I (KRAEMER et al. 1995; BELL et al. 1997; 2000; PUTMAN et al. 2004). Contudo, estudos avaliando a hipertrofia através de técnicas de imagem não encontraram diferenças na magnitude de aumento do músculo comparando o TF e o TC em jovens (MCCARTHY et al. 2002; HÄKKINEN et al. 2003), e idosos previamente não treinados (IZQUIERDO et al. 2004; SILLANPÄÄ et al. 2008; KARAVIRTA et al. 2011). Os resultados do presente estudo estão de acordo com os resultados dos estudos que encontraram aumento na espessura muscular induzida pelo TC ou TF (SILLANPÄÄ et al. 2008; NOGUEIRA et al. 2009; AHTIAINEN et al. 2010). Além disso, os presentes resultados sugerem que a performance do TA antes do TF na mesma sessão de treino não possui nenhuma influência negativa na magnitude de hipertrofia comparado à ordem inversa. Pode ser especulado que mesmo executando o TF com menor carga relativa ao 1RM (% de 1RM), a utilização do máximo esforço por série permitiu o GAF otimizar o estímulo à síntese de proteínas contráteis, o qual resultou no mesmo nível de adaptações morfológicas. De fato, têm sido demonstrado extensamente

na literatura que o estímulo ótimo para o desenvolvimento da força máxima não é necessariamente o mesmo estímulo ótimo para a hipertrofia muscular (SCHOENFELD 2010). É necessário salientar que não pode ser descartado que potenciais diferenças no tamanho total do músculo entre GFA e GAF poderiam ser detectadas com a utilização de técnicas de imagem com maior resolução espacial (i.e., ressonância magnética, tomografia computadorizada) e isso se constituiu em uma limitação do presente estudo. Contudo, a técnica de ultrasonografia tem sido amplamente utilizada como método para determinação da magnitude de hipertrofia muscular, apresentando grande correlação com a hipertrofia avaliada pelo método de imagem por ressonância magnética (AHTIAINEN et al. 2010).

O envelhecimento é associado com o declínio na tensão específica muscular (i.e., qualidade muscular). Este declínio pode estar relacionado a fatores neurais, bem como fatores morfológicos intrínsecos, como redistribuição de gordura para dentro do músculo e síntese de colágeno alterada, o que resulta em aumento na quantidade de tecido conjuntivo intramuscular (SEENE et al. 2011). Além disso, têm sido demonstrado que declínios na qualidade muscular são associados com uma reduzida capacidade funcional em populações idosas (MISIC et al. 2007; KORHONEN et al. 2009; GRANACHER et al. 2010). Para combater esse efeito, o TF parece ser uma intervenção efetiva para a melhora da tensão específica, como demonstrado em diversos estudos (MISIC et al. 2007; KORHONEN et al. 2009; GRANACHER et al. 2010). Os presentes resultados estão de acordo com esses estudos, sugerindo que apesar do aumento no tamanho muscular, fatores neurais, como o aumento na capacidade do recrutamento voluntário das unidades motoras e aumento na frequência de disparo são mecanismos primários para explicar os incrementos na força muscular (HÄKKINEN et

al. 1998, 2000). De fato, no presente estudo, além do aumento na tensão específica, houve aumento significativo na amplitude do sinal EMG dos músculos VL e RF em ambos os grupos, o que também sugere a ocorrência de adaptações neurais (HÄKKINEN et al. 1998, 2000). Por outro lado, os mecanismos musculares intrínsecos supracitados, tais como mudanças na deposição de gordura e tecido conjuntivo intramuscular induzidos pelo treinamento físico podem ajudar a explicar a melhora na tensão específica muscular observados em GFA e GAF (SEENE et al. 2011). Contudo, nenhum estudo parece ter investigado os efeitos da ordem dos exercícios durante o TC na tensão específica. Apesar do aumento observado no presente estudo em ambos os grupos, GFA obteve maior magnitude de aumento nessa variável (27 vs. 15%,  $P < 0.02$ ). Sob o ponto de vista prático, devido à associação entre essa variável e a capacidade funcional (MISIC et al. 2007), executar o TF antes do TA pode ser mais benéfico para melhorar o desempenho de atividades funcionais em populações idosas.

Em contraste às adaptações morfológicas, a performance do TF antes do TA resultou em maior magnitude de melhora na economia neuromuscular do músculo RF (i.e., uma redução no sinal EMG normalizado para a mesma carga absoluta) em GFA (figura 12), ao passo que ambos os grupos melhoraram a economia neuromuscular do músculo VL. Pode ser especulado que a maior magnitude de modificações na economia neuromuscular em GFA, a ausência de diferenças na hipertrofia entre os grupos e um maior aumento na tensão específica muscular em GFA sugerem que fatores neurais possam explicar a diferença de magnitude nos ganhos de força, com o TA realizado imediatamente antes do TF prejudicando essas adaptações. Prejuízos nas adaptações neurais induzidas pelo TC têm sido demonstrados por Häkkinen et al. (2003) e Cadore et al. (2010), os quais observaram que somente o TF induziu aumento significativo na

atividade neuromuscular rápida (EMG em 100ms) (HÄKKINEN et al. 2003), e na atividade neuromuscular máxima (amplitude do sinal EMG) (CADORE et al. 2010). Além disso, Cadore et al. (2010) demonstraram melhora na economia neuromuscular somente em idosos que executaram o TF isolado em comparação com aqueles que executaram o TC com o TA realizado antes do TF. Entretanto, cautela se faz necessária na interpretação dos presentes resultados, já que a economia neuromuscular foi observada isometricamente e a diferença na magnitude dos ganhos de força foi observada em um teste de força dinâmica (i.e., 1RM). Além disso, somente um parâmetro EMG obteve maior adaptação em GFA do que GAF. Sendo assim, a influência da ordem dos exercícios de força e aeróbico durante o TC nas adaptações neurais, como mecanismo para explicar os diferentes ganhos de força precisa ser mais investigada. Ainda, é possível que a maior magnitude de melhora na economia neuromuscular em GFA seja consequência e não causa do maior aumento de força dinâmica máxima. Uma melhora na economia neuromuscular sugere que para a mesma carga pré treinamento, os sujeitos necessitaram menor número de unidades motoras (UMs) e uma menor frequência de disparado dessas UMs após o treinamento, sendo mais econômicos em nível neuromuscular (CADORE et al. 2010, 2011a, 2011b). Apesar das diferenças entre os grupos, ambos GFA e GAF melhoraram a economia neuromuscular em alguma extensão.

#### **4.3.2. Variáveis cardiorespiratórias**

Os resultados das variáveis cardiorespiratórias estão apresentados na tabela 4. Antes do período de treinamento, não houve diferenças entre os grupos nas variáveis de  $VO_{2pico}$ ,  $W_{máx}$ ,  $LV_1$  e  $LV_2$ , absolutos e relativos, e potência no  $LV_1$  ( $W_{LV1}$ ) e  $LV_2$  ( $W_{LV2}$ ).

Tabela 4: Variáveis cardiorrespiratórias pré e pós treinamento. Grupo força-aeróbico (GFA) e grupo aeróbico-força (GAF). Média  $\pm$  DP.

	Força-aeróbico (GFA, n=13)		Aeróbico-força (GAF n=13)	
	Pré treinamento	Pós treinamento	Pré treinamento	Pós treinamento
VO <sub>2pico</sub> (ml*kg*min <sup>-1</sup> )	27,4 $\pm$ 6,1	29,5 $\pm$ 6,6***	26,6 $\pm$ 6,9	28,8 $\pm$ 6,5***
W <sub>máx</sub> (watts)	121,0 $\pm$ 13,4	143,9 $\pm$ 19,8***	125,2 $\pm$ 40,8	155,3 $\pm$ 44,0***
LV <sub>1</sub> (ml*kg*min <sup>-1</sup> )	14,2 $\pm$ 2,6	15,1 $\pm$ 2,9	14,4 $\pm$ 2,5	14,4 $\pm$ 2,6
LV <sub>2</sub> (ml*kg*min <sup>-1</sup> )	19,7 $\pm$ 3,9	20,5 $\pm$ 3,2	19,9 $\pm$ 4,9	20,0 $\pm$ 4,7
LV <sub>1</sub> % (%)	52,6 $\pm$ 5,9	51,5 $\pm$ 3,9	55,2 $\pm$ 6,2	50,7 $\pm$ 6,8
LV <sub>2</sub> % (%)	72,4 $\pm$ 5,5	71,0 $\pm$ 8,0	75,4 $\pm$ 3,9	70,4 $\pm$ 8,6
W <sub>LV1</sub> (watts)	64,5 $\pm$ 12,9	75,0 $\pm$ 10,2*	64,6 $\pm$ 16,7	70,8 $\pm$ 25,7
W <sub>LV2</sub> (watts)	94,2 $\pm$ 15,0	111,5 $\pm$ 16,5***	104,2 $\pm$ 27,9	122,9 $\pm$ 24,9***

VO<sub>2pico</sub>, Consumo de oxigênio de pico; W<sub>máx</sub>, potência máxima em ciclo ergômetro; LV<sub>1</sub> e LV<sub>2</sub>, primeiro e segundo limiares ventilatórios absolutos; LV<sub>1</sub>% e LV<sub>2</sub>%, primeiro e segundo limiares ventilatórios relativos ao VO<sub>2pico</sub>; W<sub>LV1</sub> e W<sub>LV2</sub>, potência no primeiro e segundo limiares ventilatórios. Diferenças significativas dos valores pré treinamento: \*(P <0,05), \*\*(P <0,01), e \*\*\*(P <0,001).

Após o treinamento, não houve modificações nos valores de LV<sub>1</sub> e LV<sub>2</sub>, LV<sub>1</sub>% e LV<sub>2</sub>% em GFA e GAF. Houve aumento significativo na W<sub>LV1</sub> somente em GFA (26,9  $\pm$  33,0 %, P<0,05), ao passo que nenhuma modificação foi observada em GAF nessa variável. Já na variável W<sub>LV2</sub>, GFA e GAF mostraram aumento (P<0,001) (GFA: 21,2  $\pm$  26,4%; GAF: 22,1  $\pm$  26,1%), sem diferenças entre os grupos (tabela 4). Além disso, houve aumento significativo em VO<sub>2pico</sub> em ambos os grupos (P<0,001) (GFA: 8,1  $\pm$  9,9%; GAF: 9,3  $\pm$  9,8%) (Figura 13), sem diferenças entre os grupos. Ainda, houve aumento significativo na W<sub>máx</sub> em ambos os grupos (P<0,001) (GFA: 19,9  $\pm$  19,3%; GAF: 24,1  $\pm$  24,0%), sem diferenças entre os grupos (Figura 14).

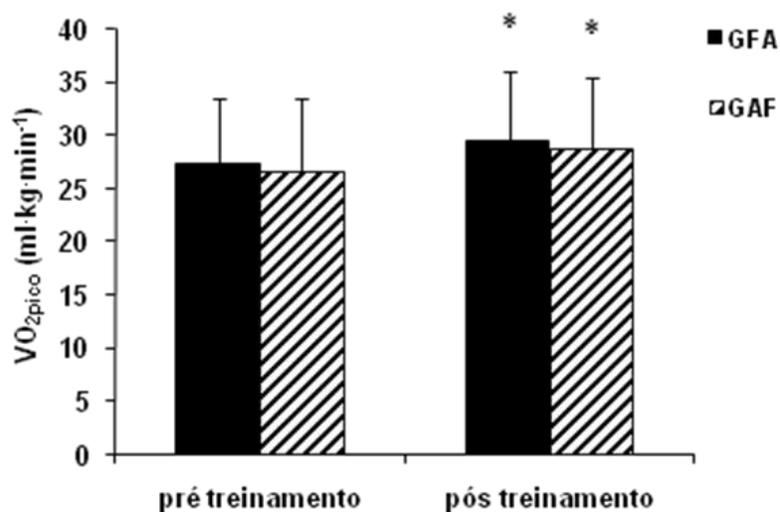


Fig. 13. Média  $\pm$  DP dos valores de consumo de oxigênio de pico ( $VO_{2pico}$ ) ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ), pré e pós 12 semanas de treinamento concorrente. GFA, grupo força-aeróbico; GAF, grupo aeróbico-força. \*Diferença significativa dos valores pré treinamento ( $P < 0,001$ ).

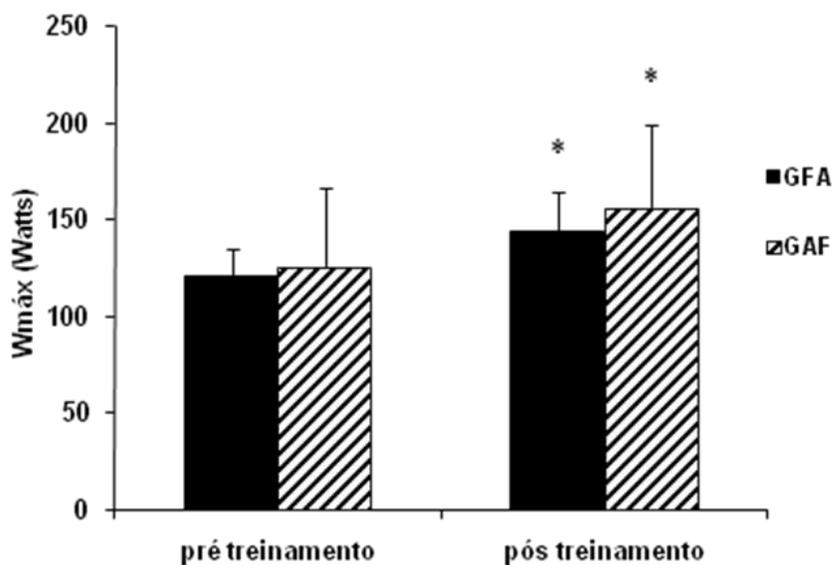


Fig. 14. Média  $\pm$  DP dos valores de potencia máxima em ciclo ergômetro ( $W_{máx}$ ) (W), pré e pós 12 semanas de treinamento concorrente. GFA, grupo força-aeróbico; GAF, grupo aeróbico-força. \*Diferença significativa dos valores pré treinamento ( $P < 0,001$ ).

Com relação aos dados cardiorrespiratórios, os principais resultados do presente estudo foram que a execução de ambas ordens dos exercícios de força e aeróbico durante o treinamento concorrente resultaram na mesma magnitude de aumento na capacidade aeróbica máxima, representada pelo consumo de oxigênio de pico e pela potência máxima em ciclo ergômetro, bem com na potência no segundo limiar ventilatório. Entretanto, apenas os indivíduos que executaram o treinamento de força antes do treino aeróbico (GFA) aumentaram a potência no primeiro limiar ventilatório, ao passo que nenhuma modificação nessa variável foi observada nos indivíduos do grupo que executou a ordem inversa (GAF).

A magnitude de aumento no  $VO_{2peak}$  (8,0 - 9,3%) e  $W_{máx}$  (20 - 27%) observada no presente estudo estão de acordo com estudos prévios que investigaram os efeitos do TC em idosos (IZQUIERDO et al. 2004; SILLAMPÄÄ et al. 2009; HOLVIALA et al. 2010, 2012; CADORE et al. 2011b; KARAVIRTA et al. 2011). Em estudos de Holviala et al. (2010, 2012), 21 semanas de treino concorrente resultaram em 8% de aumento no  $VO_{2peak}$  e 12% de aumento na  $W_{máx}$ . Esses incrementos não foram diferentes dos aumentos observados no grupo que treinou somente o TA (11 e 15%, respectivamente). Utilizando um programa de treinamento similar, Karavirta et al. (2011) observaram 10% de aumento no  $VO_{2peak}$  em homens de 40 a 65 anos. Da mesma maneira que os ganhos neuromusculares, é importante observar que no presente estudo, os ganhos cardiorrespiratórios foram observados em um período menor de tempo do que os ganhos observados nos estudos acima mencionados (HOLVIALA et al. 2010, 2012; KARAVIRTA et al. 2011). A maior frequência semanal utilizada no presente estudo em comparação aos prévios estudos pode explicar os mesmos resultados obtidos em um

menor período de tempo (3 vs. 2 vezes por semana) (HOLVIALA et al. 2010, 2012; KARAVIRTA et al. 2011).

No presente estudo, houve aumento significativo na potência no  $LV_1$  ( $W_{LV1}$ ) em GFA e na potência em  $LV_2$  ( $W_{LV2}$ ) em ambos os grupos, ao passo que os valores de  $LV_1$  e  $LV_2$  permaneceram inalterados. Sendo assim, após o treinamento, os sujeitos foram capazes de produzir maiores valores de potência para o mesmo consumo submáximo de oxigênio. Têm sido previamente reportado que o TF ou TC induz ao aumento na capacidade de produção de potência submáxima para a mesma intensidade metabólica em sujeitos idosos e de meia-idade (IZQUIERDO et al. 2003, 2004, 2005), o qual resulta em aumento na eficiência do movimento em menores potências. Além de adaptações metabólicas (i.e., maior densidade mitocondrial, atividade enzimática e capilarização) (TANAKA e SWENSEN, 1998), esta melhora na eficiência após o TC pode ser explicada em parte por ajustes neuromusculares, já que indivíduos idosos mais fortes podem executar atividades aeróbicas utilizando menor percentual de sua força muscular, recrutando menos UMs do tipo II e utilizando preferencialmente fibras musculares com metabolismo mais oxidativo (HARTMAN et al. 2007; CADORE et al. 2011a, 2011b). É possível também que o aumento observado na  $W_{LV1}$  somente em GFA possa ser consequência dos maiores ganhos na força dinâmica máxima e força por unidade de massa muscular observados nesse grupo. Estudos prévios têm mostrado uma associação positiva entre a performance neuromuscular e a capacidade aeróbica máxima (IZQUIERDO et al. 2003), bem como a economia neuromuscular durante o exercício aeróbico (CADORE et al. 2011a). Se isso for verdade, sob o ponto de vista prático a execução do treino de força antes do treino aeróbico pode ser mais benéfica para

melhorar as atividades funcionais porque muitas dessas atividades são realizadas em intensidades aeróbicas baixas (HARTMAN et al. 2007).

Poucos estudos investigaram a performance simultânea do TF e TA em idosos (IZQUIERDO et al. 2004; HOLVIALA et al. 2012; CADORE et al. 2011a; KARAVIRTA et al. 2011), e não foram encontrados estudos investigando o efeito da ordem dos exercícios de TF e TA dentro de uma sessão de TC nas adaptações cardiorrespiratórias em indivíduos idosos. Chtara et al. (2005) encontraram aumento no  $VO_{2máx}$  significativamente maiores em homens jovens que realizaram o TA antes do TF comparado com a ordem inversa (13,6 vs. 10,7%). Em outro estudo, Gravelle e Blessing (2000) mostraram aumento significativo no  $VO_{2máx}$  somente no grupo de mulheres jovens que executaram o TF antes do TA comparado com o grupo que executou o TA antes do TF. No presente estudo, foi observado que a performance do TA antes ou depois do TF resultou na mesma magnitude de aumento no  $VO_{2peak}$  após 12 semanas de TC. Além das diferentes populações investigadas, outra possível explicação para os diferentes resultados observados pode ser o tipo e a intensidade do TA. No estudo de Chtara et al. (2005), os sujeitos executaram o TA na velocidade do  $VO_{2peak}$ . Os autores justificaram seus resultados como consequência da fadiga resultante do TF, o que pode ter influenciado os efeitos fisiológicos do TA (CHTARA et al. 2005). No presente estudo, os sujeitos realizaram o TC de maneira periodizada, iniciando em intensidades baixas no TF e TA e progredindo gradualmente para intensidades mais altas, especificamente no TA próximas ao  $LV_2$ . Dessa maneira, é possível que o volume e intensidade realizado no presente estudo preveniram qualquer influência da ordem dos exercícios durante a sessão de TC na performance aeróbica.

## 5. CONCLUSÕES

Os presentes resultados expandem o conhecimento relacionado ao efeito de interferência durante o treinamento concorrente, previamente observado em homens idosos. Com relação às variáveis neuromusculares, a sequência de execução do treino de força e treino aeróbico teve influência nas adaptações na força muscular, como observado pela maior magnitude de aumento na força dinâmica máxima e tensão específica observadas no grupo que executou o treino de força antes do treino aeróbico, comparado com a ordem inversa (35 vs. 22% e 27 vs. 15%, respectivamente). Além disso, essas diferenças aparentam ter ocorrido devido a maior carga de treinamento alcançada durante a periodização no GFA, especialmente durante as últimas fases do treinamento, onde o treino aeróbico foi executado em intensidades próximas ao LV<sub>2</sub>. Ainda, diferenças na magnitude de adaptações neurais podem ser sugeridas como explicação fisiológica para as diferentes adaptações na força, já que a economia neuromuscular e a força por unidade de massa muscular foram incrementadas em maior magnitude no GFA, ao passo que nenhuma diferença na melhora da atividade neuromuscular máxima foi observada entre GFA e GAF. Por fim, a execução do treino de força antes ou depois do treino aeróbico resulta na mesma magnitude de hipertrofia em homens idosos.

Com relação às variáveis cardiorrespiratórias, a sequência de execução do treino de força e treino aeróbico não teve influência na magnitude de melhora no consumo de oxigênio de pico, na potência máxima em ciclo ergômetro e na potência no segundo limiar ventilatório. Entretanto, apenas os indivíduos que executaram o treinamento de força antes do treino aeróbico (GFA) aumentaram a potência no primeiro limiar

ventilatório, ao passo que nenhuma modificação foi observada nos indivíduos do grupo que executou a ordem inversa (GAF).

## **6. APLICAÇÕES PRÁTICAS**

Sob o ponto de vista prático, pode-se sugerir que a performance do treino de força antes do treino aeróbico durante uma sessão de treino concorrente é recomendada para a otimização dos ganhos na força muscular em homens idosos. Além disso, se o objetivo do treinamento for a hipertrofia muscular, ambas ordens de treinamento (aeróbico-força e força-aeróbico) resultam em ganhos similares. Com relação às variáveis relacionadas a performance aeróbica, a execução do treino de força antes do treino aeróbico parece promover maiores resultados, embora ambas as ordens de treinamento resultem em magnitude semelhante de incremento nos valores de potência aeróbica máxima.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AAGAARD, P.; SIMONSEN, E.B.; ANDERSEN, J.L.; MAGNUSSON, P.; DYHRE-POULSEN, P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J. Appl. Physiol.* 93:1318-1326, 2002a.
2. AAGAARD, P.; SIMONSEN, E.B.; ANDERSEN, J.L.; MAGNUSSON, P.; DYHRE-POULSEN, P. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J. Appl. Physiol.* 92:2309-2318, 2002b.
3. AAGAARD, P.; SUETTA, C.; CASEROTTI, P.; MAGNUSSON, S.P.; KJAER, M. 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, 2010.
4. ACSM, AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Quantity and quality for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 1334-1359, 2011.
5. AHTIAINEN, J.P.; HOFFREN, M.; HULMI, J.J.; PIETIKÄINEN, M.; MERO, A.A.; AVELA, J.; HÄKKINEN, K. Panoramic ultrasonography is a valid method to measure changes in skeletal muscle cross-sectional area. *Eur. J. Appl. Physiol.* 108: 273-279, 2010.
6. ASTRAND, I.; ASTRAND, P.O.; HALLBACK, I.; KILBOM, A. Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J. Appl. Physiol.* 35: 649-654, 1973.
7. BAAR, K. Training for endurance and strength: lessons from cell signaling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38: 1939-1944, 2006.

8. BASTIAANS, J.J.; VAN DIEMEN, A.B.J.P.; VENEBERG, T.; JEUKENDRUP, A.E. the effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 86: 79-84, 2001.
9. BELL, G.J.; SYROTUIK, D.; MARTIN, T.P.; BURNHAM, R.; QUINNEY, H.A. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81: 418-427, 2000.
10. BELL, G.J.; SYROTUIK, D.; SOCHA, T.; MACLEAN, I.; QUINNEY, H.A. Effect of strength and endurance training on strength, testosterone, and cortisol. *J. Strength Cond. Res.* 11: 57-64, 1997.
11. BOTTARO, M.; MACHADO, S.N.; NOGUEIRA, W.; SCALES, R.; VELOSO, J. Effects of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 99: 257-264, 2007.
12. BRENTANO, M.A. CADORE, E.L., SILVA, E.M., AMBROSINI, A.B., COERTJENS, M., PETKOWIKS, R., VIERO, I., KRUEL, L.F.M. Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women. *J. Strength Cond. Res.* 22: 1818-1825, 2008.
13. BROSS R, JAVANBAKHT M, BHASIN S. Anabolic intervention for aging-associated sarcopenia. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 84: 3420-3430, 1999.
14. CADORE, E.L.; IZQUIERDO, M.; DOS SANTOS, M.G.; MARTINS, J.B.; LHULLIER, F.L.; PINTO, R.S.; SILVA, R.F.; KRUEL, L.F.M. Hormonal

responses to concurrent strength and endurance training with different exercise orders. *J. Strength Cond. Res.* Jan 3 [Epub ahead of print], 2012.

15. CADORE, E.L.; PINTO, R.S.; ALBERTON, C.L.; PINTO, S.S.; LHULLIER, F.L.R.; TARTARUGA, M.P.; CORREA, C.S.; ALMEIDA, A.P.V.; SILVA, E.M.; LAITANO, O.; KRUEL, L.F.M. Neuromuscular economy, strength and endurance in healthy elderly men. *J. Strength Cond. Res.* 25:997-1003, 2011a.

16. CADORE, E.L.; PINTO, R.S.; LHULLIER, F.L.R.; CORREA, C.S.; ALBERTON, C.L.; PINTO, S.S.; ALMEIDA, A.P.V.; TARTARUGA, M.P.; SILVA, E.M.; KRUEL, L.F.M. Physiological effects of concurrent training in elderly men. *Int. J. Sports Med.* 31: 689-697, 2010.

17. CADORE, E.L.; PINTO, R.S.; LHULLIER, F.L.R.; CORREA, C.S.; ALBERTON, C.L.; PINTO, S.S.; ALMEIDA, A.P.V.; TARTARUGA, M.P.; SILVA, E.M.; KRUEL, L.F.M. Effects of strength, endurance and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. *J. Strength Cond. Res.* 25: 758-766, 2011b.

18. CANNON, J.; KAY, D.; TARPENNING, K.M.; MARINO, F.E. Comparative effects of resistance training on peak isometric torque, muscle hypertrophy, voluntary activation and surface EMG between young and elderly women. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 27: 91-100, 2007.

19. CHILIBECK, P.D.; STRIDE, D.; FARTHING, J.P.; BURKE, D.G. Effect of creatine ingestion after exercise on muscle thickness in males e females. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36: 1781-1788, 2004.

20. CHTARA, M.; CHAMARI, K.; CHAOUACHI, M.; CHAOUACHI, A.; KOUBAA, D.; FEKI, Y.; MILLET, G.P.; AMRI, M. Effects of intra-session

concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Br. J. Sports Med.* 39: 555-560, 2005.

21. CHTARA, M.; CHAOUACHI, A.; LEVIN, G.T.; CHAOUACHI, M.; CHAMARI, K.; AMRI, M.; LAURSEN, P.B. Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *J. Strength Cond. Res.* 22: 1037-1045, 2008.

22. CORREA, C.S.; LAROCHE, D.P.; CADORE, E.L.; REISCHAK-OLIVEIRA, A.; BOTTARO, M.; KRUEL, L.F.M.; TARTARUGA, M.P.; RADAELLI, R.; WILHELM, E.N.; LACERDA, F.C.; GAYA, A.R.; PINTO, R.S. 3 types of strength training in older women. *Int. J. Sports Med.* doi: 10.1055/s-0032-1312648, [Epub ahead of print], 2012.

23. D'ANDREA, A.; LIMONGELLI, G.; CASO, P.; SARUBBI, B.; PIETRA, A.D.; BRANCACCIO, P.; CICE, G.; SCHERILLO, M.; LIMONGELLI, F.; CALABRÒ R. Association between left ventricular structure and cardiac performance during effort in two morphological forms of athlete's heart. *Int. J. Cardiol.* 85: 177-184, 2002.

24. DE LUCA, C.J. The use of electromyography in biomechanics. *J. Appl. Biomec.* 13: 135–163, 1997.

25. DESCHENES, M.R.; KRAEMER, W.J. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 81: S3-S16, 2002.

26. DOLEZAL, B.A.; POTTEIGER, J.A. Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate in nondieting individuals. *J. Appl. Physiol.* 85: 695–700, 1998.

27. DUCHATEOU, J.; ENOKA, R.M. Neural adaptations with chronic activity patterns in able-bodied humans. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 81: S17-S27, 2002.
28. ENOKA, R.M. Neural adaptations with chronic physical activity. *J. Biomech.* 30: 447-455, 1997.
29. FERKETICH, A.K.; KIRBY, T.E.; ALWAY, S.E. Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Acta Physiol. Scand.* 164: 259-267, 1998.
30. FRONTERA, W.R.; MEREDITH, C.N.; O'REILLY, K.P; EVANS, W.J. Strength training and determinants of  $VO_{2\text{máx}}$  in older men. *J. Appl. Physiol.* 68: 329-333, 1990.
31. GETTMAN, L.R.; WARD, P.; HAGAN, R.D. A comparison of combined running and weight training with circuit weight training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14: 229-234, 1982.
32. GRANACHER, U.; GRUBER, M.; GOLLHOFER, A. Force production capacity and functional reflex activity in young and elderly men. *Aging Clin. Exp. Res.* 22: 374-382, 2010.
33. GRAVELLE, B.L.; BLESSING, D.L. Physiological adaptation in women concurrently training for strength and endurance. *J. Strength Cond. Res.* 14: 5-13, 2000
34. HÄKKINEN, K.; ALEN, M. KALLINEN, M. Muscle CSA- force production, and activation of leg extensors during isometric and dynamic actions in middle-aged and older people. *JAPA* 6: 232-247, 1998a.
35. HÄKKINEN, K.; ALEN, M.; KALLINEN, M.; NEWTON, R.U.; KRAEMER, W.J. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training,

detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83: 51–62, 2000.

36. HÄKKINEN, K.; ALEN, M.; KRAEMER, W.J.; GOROSTIAGA, E.; IZQUIERDO, M.; RUSKO, H.; MIKKOLA, J.; HÄKKINEN, A.; VALKEINEN, H.; KAARAKAINEN, E.; ROMU, S.; EROLA, V.; AHTIAINEN, J.; PAAVOLAINEN, L. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *J. Appl. Physiol.* 89: 42-52, 2003.

37. HÄKKINEN, K.; HAKKINEN, A. Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 35: 137–147, 1995.

38. HÄKKINEN, K.; KALLINEN, M.; IZQUIERDO, M.; JOKELAINEN, K.; LASSILA, H.; MÄLKIÄ, E.; KRAEMER, W.J.; NEWTON, R.U.; ALEN, M. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J. Appl. Physiol.* 84: 1341–1349, 1998b.

39. HÄKKINEN, K.; KALLINEN, M.; LINNAMO, V.; PASTINEN, U.M.; NEWTON, R.U.; KRAEMER, W.J. Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol. Scand.* 158: 77–88, 1996.

40. HÄKKINEN, K.; KRAEMER, W.J.; NEWTON, R.U.; ALEN, M. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol. Scand.* 171: 51-62, 2001a.

41. HÄKKINEN, K.; NEWTON, R.U.; GORDON, S.; McCORNICK, M.; VOLEK, J.; NINDL, B.; GOTSHALK, L.; CAMPBELL, W.; EVANS W.J.;

HÄKKINEN, A.; HUMPHRIES, B.; KRAEMER, W.J. Changes in muscle morphology, electromyographic activity and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J. Gerontol. Biol. Sci. Med. Sci.* 53: B415–B423, 1998c.

42. HÄKKINEN, K.; PARAKINEN, A.; KRAEMER, W.J.; HÄKKINEN, A.; VALKEINEN, H.; ALEN, M. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training training in older women. *J. Appl. Physiol.* 91: 569–580, 2001b.

43. HANSEN, D.; DENDALE, P.; BERGER, J.; MEEUSEN R. Low agreement of ventilatory threshold between training modes in cardiac patients. *Eur. J. Appl. Physiol.* 101: 547-554, 2007.

44. HARTMAN, M.J.; FIELDS, D.A.; BYRNE, N.M.; HUNTER, G.R. Resistance training improves metabolic economy during functional tasks in older adults. *J. Strength Cond. Res.* 21: 91–95, 2007.

45. HENNESSY, L.C.; WATSON, A.W.S. The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J. Strength Cond. Res.* 8: 12–19, 1994.

46. HEPPLER, R.T.; MACKINNON S.L.M.; THOMAS, S.G.; GOODMAN, J.M.; PLYLEY, M.J. Quantitating the capillary supply and response to resistance training in older men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 433: 238–244, 1997.

47. HEYWARD, V.H.; STOLARCZYK, L.M. *Avaliação da composição corporal aplicada*. São Paulo. Manole, 2000.

48. HOLVIALA, J.; HÄKKINEN, A.; KARAVIRTA, L.; NYMAN, K.; IZQUIERDO, M.; GOROSTIAGA, E.M.; AVELA, J.; KORHONEN, J.; KNUUTILA, V-P. KRAEMER, W.J.; HÄKKINEN, K.; Effects of combined

strength and endurance training on treadmill load carrying walking performance in aging men. *J. Strength Cond. Res.* 24: 1584–1595, 2010.

49. HOLVIALA, J.; KRAEMER, W.J.; SILLAMPÄÄ, E.; KARPPINEN, H.; AVELA, J.; KAUKANEN, A.; HÄKKINEN, A.; HÄKKINEN, K. Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112: 1335-1347, 2012.

50. HUG, F.; LAPLAUD, D.; SAVIN, B.; GRÉLOT, L. Occurrence of electromyographic and ventilatory in professional road cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 90: 643-646, 2003.

51. HUMPHRIES, B.; NEWTON, R.U.; BRONKS, R.; MARSHALL, S.; MCBRIDE, J.; MCBRIDE, T.T.; HÄKKINEN, K.; KRAEMER, W.J.; HUMPHRIES, N. Effect of exercise intensity on bone density, strength, and calcium turnover in older women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 1043-1050, 2000.

52. IZQUIERDO, M.; HÄKKINEN, K.; IBANEZ, J.; ANTÓN, A.; GARRUÉS, M.; RUESTA, M.; GOROSTIAGA, E.M. Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. *J. Strength Cond. Res.* 17: 129–139, 2003.

53. IZQUIERDO, M., HÄKKINEN, K., ANTÓN, A., GARRUES, M., IBÁÑEZ, J., RUESTA, M., & GOROSTIAGA, E. M. Maximal strength and power, endurance performance, and serum hormones in middle-aged and elderly men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33 (9): 1577-1587, 2001a.

54. IZQUIERDO, M.; HÄKKINEN, K.; IBÁÑEZ, J.; GARRUES, M.; ANTÓN, A.; ZÚNIGA, A.; LARRIÓN, J.L.; GOROSTIAGA, E.M. Effects of strength

training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. *J. Appl. Physiol.* 90: 1497-1507, 2001b.

55. IZQUIERDO, M.; IBÁÑEZ, J.; HÄKKINEN, K.; KRAEMER, W.J.; LARRIÓN, J.L.; GOROSTIAGA, E.M. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36: 435-443, 2004.

56. IZQUIERDO, M.; HÄKKINEN, K.; IBÁÑEZ, J.; KRAEMER, W.J.; GOROSTIAGA, E.M. Effects of combined strength and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 94: 70-75, 2005.

57. JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L. Generalized equations for predicting body density of men. *Brit. J. Nutr.* 40: 497-504, 1978.

58. 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.* 87: 304-307, 2002.

59. KAMEN, G.; KNIGHT, C.A. Training-related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* 59:1334-1338, 2004

60. KARAVIRTA, L.; TULPPO, M.P.; LAAKSONEN, D.E.; NYMAN, K.; LAUKKANEN, R.T.; KINNUNEN, H.; HÄKKINEN, A.; HÄKKINEN, K. Heart rate dynamics after combined endurance and strength training in older men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41: 1436-1443, 2009.

61. KARAVIRTA, L.; HÄKKINEN, A.; SILLANPÄÄ, E. GARCIA-LÓPEZ, D.; KAUKANEN, A.; HAAPASAARI, A.; ALEN, M.; PAKARINEN, A.;

KRAEMER, W.J.; IZQUIERDO, M.; GOROSTIAGA, E.; HÄKKINEN, K. Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40-67-year-old men. *Scan. J. Med. Sci. Sports* 21: 402-411, 2011.

62. KNIGHT, C.A.; KAMEN, G. Adaptations in muscle activation of the knee extensor muscle with strength training in young and older adults. *J Electromyogr Kinesiol* 11:405-412, 2001.

63. KORHONEN, M.T.; MERO, A.A.; ALÉN, M.; SIPILÄ, S.; HÄKKINEN, K.; LIIKAVAINIO, T.; VIITASALO, J.T.; HAVERINEN, M.T.; SUOMINEN, H. Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41: 844-856, 2009.

64. KRAEMER, W.J.; HÄKKINEN, K.; NEWTON, R.U.; NINDL, B.C.; VOLEK, J.S.; MCCORMICK, M.; GOTSHALK, L.A.; GORDON, S.E.; FLECK, S.J.; CAMPBELL, W.W.; PUTUKIAN, M.; EVANS, W.J. Effects of resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J. Appl. Physiol.* 87: 982-992, 1999.

65. KRAEMER, W.J.; PATTON, J.F.; GORDON, S.E.; HARMAN, E.A.; DESCHENES, M.R.; REYNOLDS, K.; NEWTON, R.U.; TRIPPLET, N.T.; DZIADOS, J.E. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol.* 78: 976-989, 1995.

66. KUMAGAI, K.; ABE, T.; BRECHUE, W.F.; RYUSHI, T.; TAKANO, S.; MIZUNO, M. Sprint performance is related with muscle fascicle length in male 100m-sprinters. *J. Appl. Physiol.* 88: 811-816, 2000.

67. LARSSON, L.; SJODIN, B.; KARLSSON, J. Histochemical and biochemical changes in human skeletal muscle with age in sedentary males, age 22-65 years. *Acta Physiol. Scand.* 103: 31-39, 1978.
68. LEIS, A.A.; TRAPANI, V.C. *Atlas of electromiography.* Oxford, NY, Oxford University Press, 2000.
69. LEPERS, R.; MILLET, G.Y.; MAFFIULETTI, N.A. Effect of cycling cadence on contractile and neural properties of knee extensors. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33: 1882–1888, 2001.
70. LEVERITT, M.; ABERNETHY, P.J. BARRY, B.; LOGAN P.A. Concurrent strength and endurance training: the influence of dependent variable selection. *J. Strength and Cond. Res.* 17: 503–508, 2003.
71. LEVY, W.C.; CERQUEIRA, M.D.; HARP, G.D.; JOHANNESSEN, K-A.; ABRASS, I.B.; SCHWARTZ, R.S.; STRATTON, J.R. Effect of endurance training on heart rate variability at rest in healthy young men and older men. *Am J. Cardiol.* 82: 1236-1241, 1998.
72. LEXELL, J.; TAYLOR, C.; SJOSTROM, M. What is the cause of the aging atrophy? Total number, size and proportions of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year old men. *J. Neurol. Sci.* 84: 275–294, 1988.
73. LOMBARDI, V.P. *Beginning weight training: the safe and effective way.* Dubuque, 1989.
74. MARCINICK E.; POTTS, J.; SCHLABACH, G. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci. Sports Exer.c* 23: 739–743, 1991.

75. MCCARTHY, J.P.; POZNIAK, M.A.; AGRE, J.C. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34: 511–519, 2002.
76. MEIJER, E.P.; WESTERTERP, K.R.; VERSTAPPEN, F.T.J. Effect of exercise training on physical activity and substrate utilization in the elderly. *Int. J. Sports Med.* 21: 499-504, 2000.
77. MIKKOLA, J.S.; RUSKO, H.K.; NUMMELA, A.T.; PAAVOLAINEN, L.M.; HÄKKINEN, K. Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *J. Strength and Cond. Res.* 21: 613–620, 2007.
78. MINAHAN C., e WOOD, C. Strength training improves supramaximal cycling but no anaerobic capacity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 102: 659–666, 2008.
79. MISIC, M.M.; EVANS, E.M. Muscle quality, aerobic fitness and fat mass predict lower-extremity physical function in community-dwelling older adults. *Gerontol.* 53: 260-266, 2007.
80. MIYATANI, M.; KANEHISA, H.; KUNO, S.; NISHIJIMA, T.; FUKUNAGA, T. Validity of ultrasonograph muscle thickness measurements for estimating muscle volume of knee extensors in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 86: 203-208, 2002.
81. MORITANI, M.A.; DE VRIES, H.A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med.* 58: 115–130, 1979.
82. NADER, G.A. Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38: 1965-1970, 2006.

83. NARICI, M.V.; ROI, G.S.; LANDONI, L.; MINETTI, A.E.; CERRETELLI, P. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59: 310–319, 1989.
84. NARICI, M.V.; HOPPELER, H.; KAYSER, B.; LANDONI, L.; CLAASSEN, H.; GAVARDI, C.; CONTI, M.; CRRETELI, P. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol. Scand.* 157: 175-186, 1996.
85. NOGUEIRA, W.; GENTIL, P.; MELLO, S.N.M.; OLIVEIRA, R.J.; BEZERRA, A.J.C.; BOTTARO, M. Effects of power training on muscle thickness of older men. *Int. J. Sports Med.* 30: 200-204, 2009.
86. NUMMELA, A.T.; PAAVOLAINEN, L.M.; SHARWOOD, K.A., LAMBERT, M.I.; NOAKES, T.D.; RUSKO, H.K. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 97:1-8, 2006.
87. OKAZAKI, K.; KAMIJO, Y-I.; TAKENO, Y.; OKUMOTO, T.; MASUKI, S.; NOSE, H. Effect of exercise training on thermoregulatory responses and blood volume in older men. *J. Appl. Physiol.* 96: 1630-1637, 2002.
88. PAAVOLAINEN, L.; HÄKKINEN, K.; HÄMÄLÄINEN, I.; NUMMELA, A.; RUSKO, H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.* 86: 1527-1533, 1999.
89. PEREIRA, A.; IZQUIERDO, M.; SILVA, A.J.; COSTA, A.M.; BASTOS, E.; GONZÁLEZ-BADILLO, J.J.; MARQUES, M.C. Effects of high-speed power

training on functional capacity and muscle performance in older women. *Exp. Gerontol.* 47: 250-255, 2012.

90. PINTO, R.S. Adaptações metabólicas, cardio-respiratórias, neuromusculares e na composição corporal de mulheres pré-menopáusicas e com excesso de peso em resposta ao treino físico sistemático. Tese de doutorado. Faculdade Técnica de Lisboa, Faculdade de Motricidade Humana, julho, 2007.

91. PUTMAN, C.T.; XU, X.; GILLIES, E.; MACLEAN, I.M.; BELL, G.J. Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 92: 376–384, 2004.

92. RAJ, I.S.; BIRD, S.R.; WESTFOLD, B.A.; SHIELD, A.J. Effects of eccentrically biased versus conventional weight training in older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 44: 1167-1176, 2012.

93. RYAN, A.S.; IVEY, F.M.; HURLUBUT, D.E.; MARTEL, G.F.; LEMMER, J.T.; SORKIN, J.D.; METTER, E.J.; FLEG, J.T.; HURLEY, B.F. Regional bone mineral density after resistive training in young and older men and women. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 14: 16-23, 2004.

94. SALE, D.G.; JACOBS, I.; MACDOUGALL, J.D.; GARNER S. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22: 348–356, 1990.

95. SCHOENFELD, B.J. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J. Strength Cond. Res.* 24: 2857-2872, 2010.

96. SEENE, T.; KAASIK, P.; RISO, E-M. Review on aging, unloading and reloading: Changes in skeletal muscle quantity and quality. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 54:374-380, 2012.
97. SILLAMPÄÄ, E.; HÄKKINEN, A.; NYMAN, K.; CHENG, S.; KARAVIRTA, L.; LAAKSONEN, D.E.; HUUHKA, N.; KRAEMER, W.J.; HÄKKINEN, K. Body composition and fitness during strength and/or endurance training in older men. *Med Sci Sports Exerc* 40:950-958, 2008.
98. SILLAMPÄÄ, E.; HÄKKINEN, A.; PUNNONEN, K.; HÄKKINEN, K.; LAAKSONEN, D.E. Effects of strength and endurance training on metabolic risk factors in healthy 40-65-year-old men. *Scand J Med Sci Sports* 19: 885-895, 2009.
99. SILVA, R.F.; CADORE, E.L.; KOTHE, G.; GUEDES, M.; ALBERTON, C.L.; PINTO, S.S.; PINTO, R.S.; TRINDADE, G.; KRUEL, L.F. Concurrent training with different aerobic exercises. *Int J Sports Med* 2012 May 4. [Epub ahead of print], 2012.
100. SIRI, W.E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *Nutrition*, 9: 480-491, 1993.
101. SLIVKA, D.; RAUE, U.; HOLLON, C.; MINCHEV, K.; TRAPPE, S. Single muscle fiber adaptations to resistance training in old (>80 yr) men: evidence for limited skeletal muscle plasticity. *Am. J. Physiol. Regul. Inter. Comp. Physiol.* 295: R273-280, 2008.
102. SUETTA, C.; AAGAARD, P.; ROSTED, A.; JAKOBSEN, A.K.; DUUS, B.; KJAER, M.; MAGNUSSON, S.P. Training-induced changes in muscle CSA, muscle strength, EMG, and rate of force development in elderly subjects after long-term unilateral disuse. *J. Appl. Physiol.* 97: 1954-1961, 2004.

103. TANAKA, H.; SWENSEN, T. Impact of resistance training on endurance performance. *Sports Med.* 25: 191-200, 1998.
104. VAN ZANT, R.S.; BOUILLON, L.E. Strength cycle training: effects on muscular strength and aerobic conditioning. *J. Strength Cond. Res.* 21: 178–182, 2007.
105. VINCENT, K.R.; BRAITH, R.W. Resistance and bone turnover in elderly men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34: 17- 22, 2002.
106. VINCENT, K.R.; BRAITH, R.W.; FELDMAN, R.A.; KALLAS, H.E.; LOWENTHAL, D.T. Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women. *Arch. Intern. Med.* 162: 673–678, 2002.
107. WASSERMAN, K. The anaerobic threshold: definition, physiological significance and identification. *Adv. Cardiol.* 35: 1-23, 1986.
108. WILMORE, J.H. PARR, R.B.; GIRANDOLA, R.N.; WARD, P.; VODAK, P.; BARSTOW, T.J.; PIPES, T.; ROMERO, G.T.; LESLIE, P. Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 10: 79–84, 1978.
109. WISLOFF, U.; HELGERUD, J.; KEMI, O.J.; ELLINGSEN, O. Intensity-controlled treadmill running in rats:  $VO_2\acute{a}x$  and cardiac hypertrophy. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 280: H1301-H1310, 2001.
110. WOOD, R.H.; REYES, R.; WELSCH, M.A.; FAVAROLO-SABATIER, J.; SABATIER, M., LEE, C.M.; JOHNSON, L.G.; HOOPER, P.F. Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33: 1751–1758, 2001.



## **ANEXO I: ARTIGOS ORIGINADOS PELA PRESENTE TESE**

### **1 . Artigos originais:**

Cadore, E.L., Izquierdo, M., Alberton, C.L., Pinto, R.S., Conceição, M., Cunha, G., Radaelli, R., Bottaro, M., Trindade, G.T., Kruel, L.F. Strength prior to endurance intrasession exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. *Exp. Gerontol.* 47, 164-169, 2012.

Cadore, E.L., Izquierdo, M., Pinto, S.S., Alberton, C.L., Pinto, R.S., Baroni, B.M., Vaz, M.A., Lanferdini, F.J., Radaelli, R., González-Izal, M., Bottaro, M., Kruel, L.F. 2012. Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: effects of intrasession exercise sequence. *Age (Dordr)* 2012. doi 10.1007/s11357-012-9405-y.

### **2 . Artigo de revisão:**

Cadore, E.L., Pinto, R.S., Kruel, L.F. Adaptações neuromusculares ao treinamento de força e concorrente em homens idosos. *Rev. Bras. Cineant. Des. Hum.* 14, 487-499, 2012.

# Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: effects of intrasession exercise sequence

Eduardo Lusa Cadore · Mikel Izquierdo ·  
Stephanie Santana Pinto · Cristine Lima Alberton ·  
Ronei Silveira Pinto · Bruno Manfredini Baroni ·  
Marco Aurélio Vaz · Fábio Juner Lanferdini · Régis Radaelli ·  
Miriam González-Izal · Martim Bottaro ·  
Luiz Fernando Martins Krueel

Received: 21 December 2011 / Accepted: 16 March 2012  
© American Aging Association 2012

**Abstract** The aim of this study was investigate the effects of different intrasession exercise orders in the neuromuscular adaptations induced by concurrent training in elderly. Twenty-six healthy elderly men ( $64.7 \pm 4.1$  years), were placed into two concurrent training groups: strength prior to (SE,  $n=13$ ) or after (ES,  $n=13$ ) endurance training. Subjects trained strength and endurance training during 12 weeks,

three times per week performing both exercise types in the same training session. Upper and lower body one maximum repetition test (1RM) and lower-body isometric peak torque (PTiso) and rate of force development were evaluated as strength parameters. Upper and lower body muscle thickness (MT) was determined by ultrasonography. Lower-body maximal surface electromyographic activity of vastus lateralis and rectus femoris muscles (maximal electromyographic (EMG) amplitude) and neuromuscular economy (normalized EMG at 50 % of pretraining PTiso) were determined. Both SE and ES groups increased the upper- and lower-body 1RM, but the lower-body 1RM increases observed in the SE was higher than ES ( $35.1 \pm 12.8$  vs.  $21.9 \pm 10.6$  %, respectively;  $P < 0.01$ ). Both SE and ES showed MT increases in all muscles evaluated, with no differences between groups. In addition, there were increases in the maximal EMG and neuromuscular economy of vastus lateralis in both SE and ES, but the neuromuscular economy of rectus femoris was improved only in SE ( $P < 0.001$ ). Performing strength prior to endurance exercise during concurrent training resulted in greater lower-body strength gains as well as greater changes in the neuromuscular economy (*rectus femoris*) in elderly.

---

E. L. Cadore · S. S. Pinto · C. L. Alberton · R. S. Pinto ·  
B. M. Baroni · M. A. Vaz · F. J. Lanferdini · R. Radaelli ·  
L. F. M. Krueel  
Exercise Research Laboratory, Physical Education School,  
Federal University of Rio Grande do Sul,  
Porto Alegre, RS, Brazil

M. Izquierdo · M. González-Izal  
Department of Health Sciences,  
Public University of Navarre,  
Navarre, Spain

M. Bottaro  
College of Physical Education, University of Brasília,  
Brasília, DF, Brazil

C. L. Alberton  
Sogipa Physical Education and Sports College,  
Porto Alegre, RS, Brazil

E. L. Cadore (✉)  
LAPEX, Escola de Educação Física, UFRGS,  
Rua: Felizardo, 750, Bairro: Jardim Botânico,  
90690-200 Porto Alegre, RS, Brazil  
e-mail: edcadore@yahoo.com.br

**Keywords** Combined training · Electromyography ·  
Muscle thickness · Aerobic exercise · Resistance  
exercise

## Introduction

Biological aging is associated with declines in the muscle mass, strength performance, and cardiorespiratory fitness resulting in an impaired capacity of elderly performing daily activities (Izquierdo et al. 2001, 2003; Aagaard et al. 2010). To counteract this effect, a combination of strength and endurance training in elderly populations is the most effective strategy to improve both neuromuscular and cardiorespiratory functions and consequently to maintain the functional capacity during aging (Wood et al. 2001; Izquierdo et al. 2004; Cadore et al. 2011b). However, strength and endurance training have specific cardiovascular and neuromuscular adaptations that are opposite in nature. The primary adaptations to strength training include enhanced strength performance (García-Pallarés and Izquierdo 2011), muscle cell hypertrophy (Kraemer et al. 1995), and neural adaptations such as the increase in the maximal motor unit recruitment (Knight and Kamen 2001), maximal motor unit firing rate (Kamen and Knight 2004), as well as elevated spinal motoneuronal excitability and increased efferent motor drive (Aagaard et al. 2002a, b), with no changes in  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . In contrast, endurance training induces central and peripheral adaptations that enhance  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and the ability of skeletal muscle to generate energy via oxidative metabolism with no increase in muscle strength or hypertrophy (Izquierdo et al. 2004).

Previous studies suggest that the simultaneous performance of both types of training (i.e., concurrent training) might reduce the strength development magnitude when compared with that observed due to strength training alone, and this phenomenon has been called the “interference effect” (Sale et al. 1990; Kraemer et al. 1995; Bell et al. 1997; Cadore et al. 2010; García-Pallarés and Izquierdo 2011).

A limited number of studies, however, have explored the neuromuscular adaptations related to concurrent strength and cardiovascular intervention in elderly populations (Wood et al. 2001; Izquierdo et al. 2004; Cadore et al. 2010; Holviala et al. 2010; Karavirta et al. 2011). Wood et al. (2001) demonstrated in elderly men that 12 weeks of concurrent training resulted in similar strength gains to those observed with strength training alone. However, the authors of that study used 50 % lower volume of strength training in the concurrent training group. Similarly, Izquierdo et al. (2004) observed no differences in strength gain

between strength (twice weekly) and concurrent training (strength exercises on one day, cycle ergometer on the other). Studies that have used similar volumes of training between strength and concurrent groups in elderly men have shown no interference effect after 21 week or concurrent training (Holviala et al. 2010; Karavirta et al. 2009) whereas greater strength gains were reported after strength training alone (67 %) compared with the concurrent group (41 %) after 12-week concurrent intervention (Cadore et al. 2010). This controversial result may be related with the fact of performing endurance exercises immediately prior to strength exercises, which might have resulted in a peripheral fatigue that consequently reduced performance during strength training. In fact, it has been shown that aerobic exercise might acutely reduce strength performance (Lepers et al. 2001). If this were the case, the interference effect could be avoided by manipulating the intrasession exercise sequence.

Along with the scarce results regarding the influence of intrasession exercise sequence manipulation on concurrent strength and endurance adaptations, to the authors’ best knowledge, there are no data regarding the effect of exercise order manipulation during concurrent training on the neural and muscle morphology adaptations in elderly subjects. Such data would give insight into possible mechanisms underlying the chronic negative influence of endurance training in strength training adaptation. Therefore, the purpose of the present study was to investigate the effects of different intrasession exercise orders during concurrent strength and endurance training on neuromuscular adaptations in the elderly. Our hypothesis was that performing strength exercise before endurance exercise would result in greater strength increases than in the opposite sequence (endurance strength).

## Methods

### Experimental design and approach to the problem

The physiological effects of different intrasession exercise sequences during concurrent training in the elderly were assessed with a strength and endurance training protocol that, in previous studies by our research group, have induced marked strength and cardiovascular gains in this population (Cadore et al. 2010, 2011b). Because the performance of the

concurrent training caused an interference effect on strength adaptations, it was speculated that this effect was a consequence of the fatigue resulting from endurance exercise, which was always performed immediately before the strength exercise (Cadore et al. 2010). Thus, in the present study, we compared different intrasession exercise sequences during concurrent training in the same population (i.e., healthy elderly subjects). The subjects were evaluated using variables related to maximal strength, neuromuscular activity, and muscle thickness. The concurrent training programs lasted 12 weeks. However, to test the stability and reliability of the performance variables, some of the subjects were evaluated twice before the start of training (weeks -4 and 0), which served as a control period. We have previously tested the stability and reliability of these variables in elderly men using a larger number of subjects during a control period (Cadore et al. 2010, 2011a, b). Each specific test at pre- and post-intervention was overseen by the same investigator, who was blinded to the training group of the subjects, and was conducted on the same equipment with identical subject/equipment positioning. Each subject performed the tests at the same time of day throughout the study, and different tests were conducted on different days to avoid fatigue.

### Subjects

Twenty-six healthy elderly men (mean $\pm$ SD: 64.7 $\pm$ 4.1 years), who were not engaged in any regular and systematic training program in the previous 12 months, volunteered for the study after completing an ethical consent form. Some of the participants had little previous experience with resistance or aerobic exercise. The subjects volunteered for the present investigation following announcements in a widely read local newspaper. Subjects were carefully informed about the design of the study with special information given regarding the possible risks and discomfort related to the procedures. Subsequently, subjects were randomly selected and placed into two groups: strength training prior to endurance training (SE,  $n=13$ ); and, endurance training prior to strength training (ES,  $n=13$ ). Eight subjects (66.0 $\pm$ 2.7 years) were evaluated twice before the start of training (weeks -4 and 0) and it served as control period. The study was conducted according to Declaration of Helsinki and was approved by Ethics Committee of Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil.

Exclusion criteria included any history of neuromuscular, metabolic, hormonal, and cardiovascular diseases. Subjects were not taking any medication with influence on hormonal and neuromuscular metabolism and were advised to maintain their normal dietary intake throughout the study. Medical evaluations were performed using clinical anamnesis and effort electrocardiograph test, to ensure subject suitability for the testing procedure. The physical characteristics of subjects are shown in Table 1. Body mass and height were measured using an Asimed analog scale (resolution of 0.1 kg) and an Asimed stadiometer (resolution of 1 mm), respectively. Body composition was assessed using the skinfold technique. A seven-site skinfold equation was used to estimate body density (Jackson and Pollock 1978) and body fat was subsequently calculated using the Siri equation (Siri 1993).

### Maximal dynamic strength

Maximal strength was assessed using the one-repetition maximum test (1RM) on the bilateral elbow flexion and bilateral knee extension. The bilateral elbow flexion 1RM was performed with free weights and using a bar and the bilateral knee extension in an exercise machine (World-Esculptor, Porto Alegre, Brazil). One week prior to the test day, subjects were familiarized with all procedures in two sessions. On the test day, the subjects warmed up for 5 min on a cycle ergometer, stretched all major muscle groups, and performed specific movements for the exercise test. Each subject's maximal load was determined with no more than five attempts with a 4-min recovery between attempts. Performance time for each contraction (concentric and eccentric) was 2 s, controlled by an electronic metronome (Quartz, CA, USA). The test-retest reliability coefficient (intraclass correlation coefficient, ICC) was 0.99 for the knee extension and 0.95 for the elbow flexion.

### Isometric peak torque and rate of force development

Maximal isometric peak torque was obtained using and isokinetic dynamometer (Biodex, New York, USA). Subjects were positioned seated with their hips and thighs firmly strapped to the seat of the dynamometer, with the hip angle at 85°. After that, subjects warmed up for 10 knee extension/flexion repetitions

**Table 1** Physical characteristics before and after training; mean±SD

	Strength–endurance group SE, <i>n</i> =13		Endurance–strength group ES, <i>n</i> =13	
	Pre	Post	Pre	Post
Age (years)	64.7±3.7	64.9±3.9	64.7±4.8	64.8±4.8
Body mass (kg)	79.7±10.5	79.5±9.5	83.3±13.4	82.6±13.3
Height (cm)	170.0±5.9	170.0±5.9	173.5±5.1	173.5±5.1
% Fat mass	27.3±3.7	25.6±3.3 <sup>a</sup>	28.1±3.0	26.8±3.4 <sup>a</sup>
VT <sub>2</sub> (ml kg min <sup>-1</sup> )	19.7±3.9	20.5±3.2	19.9±4.9	20.0±4.7
VO <sub>2peak</sub> (ml kg min <sup>-1</sup> )	27.4±6.1	29.5±6.6 <sup>a</sup>	26.6±6.9	28.8±6.5 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Significant difference from pretraining values ( $P<0.001$ )

at angular velocity of  $90^{\circ}\text{s}^{-1}$ , performing a submaximal effort. The dynamometer was connected to an A/D converter (Dataq Instruments Inc., Akron, OH, USA), which made it possible to quantify the torque exerted when each subject executed the knee extension at the determined angle. After having their right leg positioned by the evaluators at an angle of  $120^{\circ}$  in the knee extension ( $180^{\circ}$  represented the full extension), the subjects were instructed to exert maximum strength possible as fast as was possible when extending or flexing the right knee. The subjects had three attempts at obtaining the maximum voluntary contraction (MVC) of the knee extensors and more three of the knee flexors, each lasting 5 s. After the MVCs, in order to evaluate the isometric neuromuscular economy, subjects had three 5-s attempts to exert 50 % of the pretraining isometric peak torque and maintain it for, at least, 3 s receiving a visual feedback in the computer that showed, in real-time, the force values. If the subjects had success in the first trial, the last two was not performed. The rest of the interval between each attempt of the protocol was 2 min. During all the maximum tests, the researchers provided verbal encouragement so that the subjects would feel motivated to produce their maximum force. The force–time curve was obtained using Biodex software with an acquisition rate of 2,000 Hz. Signal processing included filtering with a Butterworth low-pass filter of fourth order at a cutoff frequency of nine Hertz. Maximal peak torque was defined as the highest value of the torque (Newton meter) recorded during the unilateral knee extension and flexion. The isometric force–time analysis on the absolute scale included the maximal rate of force development (RFD; Newton per second), defined as the greatest increase in the force; and, the

RFD at 100 ms, defined as the greatest increase in the force in the first period of 100 ms. The RFD variables were calculated from the force onset, which was considered the point that the force exceeded 2.5 times the standard deviations of the mean of the force signal at rest, and were determined using the MATLAB software. The test–retest reliability coefficients (ICC) were over 0.94 for all the variables in the isometric protocol.

#### EMG measurements

During the isometric strength test, the maximal neuromuscular activity of agonist muscles was evaluated using surface electromyography (RMS values) in the vastus lateralis and rectus femoris, and the antagonist co-activation in the biceps femoris long head. Electrodes were positioned on the muscular belly in a bipolar configuration (20 mm interelectrode distance) in parallel with the orientation of the muscle fibers, according to Leis and Trapani (2000). Shaving and abrasion with alcohol were carried out on the muscular belly, as previously described by Häkkinen et al. (2003), in order to maintain the interelectrodes resistance above of 2,000  $\Omega$ . To ensure the same electrode position in subsequent tests, the right thigh of each subject was mapped for the position of the electrodes moles and small angiomas by marking on transparent paper (Narici et al. 1989). The ground electrode was fixed on the anterior crest of the tibia. The raw EMG signal was acquired simultaneously with the MVC using an eight-channel electromyograph (AMT-8, Bortec Biomedical Ltd., Canadá). The raw EMG was converted by an A/D converter DI-720 with 16-bits resolution (Dataq Instruments Inc. Akron, OH, USA), with a

sampling frequency of 2,000 Hz per channel, connected to a PC. Following acquisition of the signal, the data were exported to the SAD32 software, where they were filtered using the Butterworth band-pass filter of fourth order, with a cutoff frequency between 20 and 500 Hz. After that, the EMG records were sliced exactly in 1 s when maximal value of stable force (1 second) was determined between the second and fourth second of the force–time curve, and the RMS values were calculated. The RMS values of the antagonist biceps femoris muscle were normalized by the maximum RMS values of this muscle, obtained during the highest MVC of isometric knee flexion at 100°.

After determination of maximal neuromuscular activity, submaximal neuromuscular activity was evaluated in order to determine the isometric neuromuscular economy. Thus, subjects performed the force trials corresponding to 50 % of pretraining MVC (described above). The apparatus and the collection and analysis procedures were the same used to determine the maximal EMG signal. After the training period, the submaximal neuromuscular activity was determined for the same absolute loads used in the pretraining evaluation. The submaximal RMS values were normalized using the maximum RMS values obtained during the MVC in each muscle. The test–retest reliability coefficient (ICC values) of the EMG measurements was over 0.85.

### Muscle thickness

The muscle thickness (MT) was measured using B-mode ultrasound (Philips, VMI, MG, Brazil). A 7.5-MHz scanning head was placed on the skin perpendicular to the tissue interface, the scanning head was coated with a water-soluble transmission gel to provide acoustic contact without depressing the dermal surface. The images were digitalized and after analyzed in software Image-J (National Institutes of Health, USA, version 1.37). The subcutaneous adipose tissue–muscle interface and the muscle–bone interface were identified, and the distance from the adipose tissue–muscle interface was defined as MT. The MT images were determined in the lower body muscles vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), vastus intermedius (VI), and rectus femoris (RF). The measurement for the VL was taken at midway between the lateral condyle of the femur and greater trochanter (Kumagai et al. 2000; Miyatani et al.

2002), whereas the measurement VM was taken at 30 % of the distance between the lateral condyle of the femur and the greater trochanter (Korhonen et al. 2009), yet the measurement for the VI and RF were measured as 60 % the distance from the greater trochanter to the lateral epicondyle and 3 cm lateral to the midline of the anterior thigh (Chilibeck et al. 2004). The sum of the four lower body muscles MT was considered as representative of quadriceps femoris (QF) muscle mass. In the upper body limbs, MT were obtained in the biceps brachii (BB) and brachialis (BR) and the sum of the MT of these muscles was considered as representative of elbow flexors (EF) muscle mass. The site to EF measurement was at 40 % of the distance from the lateral epicondyle to the acromion process of the scapula, starting at the lateral epicondyle (Miyatani et al. 2002; Fukunaga et al. 2001). To ensure the same electrode position in subsequent tests, the right thigh of each subject was mapped for the position of the electrodes moles and small angiomas by marking on transparent paper (Narici et al. 1989). Subjects were evaluated in supine position, after 15-min resting and after 72 h without any vigorous physical activity. The MT test–retest reliability coefficients (ICC) were 0.92 for BB, 0.93 for BR, 0.94 for VL, 0.91 for VM, 0.92 for VI, and 0.95 for RF.

### Peak oxygen consumption and ventilatory threshold

Subjects performed an incremental test on a cycle ergometer (Cybex, USA) in order to determine the peak oxygen consumption ( $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ) heart rate ( $\text{HR}_{\text{VT}}$ ) at ventilatory threshold ( $\text{VT}_2$ ). They initially cycled with a 25 W load, which was progressively increased by 25 W every 2 min, while maintaining a cadence of 70–75 rpm, until exhaustion (Izquierdo et al. 2004). The test was halted when subjects were no longer able to maintain a cadence of over 70 rpm. All the incremental tests were conducted in the presence of a physician. The expired gas was analyzed using a metabolic cart (CPX/D, Medical Graphics Corporation, St. Paul, MN, USA) breath by breath. The  $\text{VT}_2$  was determined using the ventilation curve corresponding to the point of exponential increase in the ventilation in relation to the load. In addition, to confirm the data,  $\text{VT}_2$  was determined using the  $\text{CO}_2$  ventilatory equivalent (Wasserman 1986). The maximum  $\text{VO}_2$  value (milligram per kilogram per minute) obtained close

to exhaustion was considered the  $VO_{2peak}$ . The maximum test was considered valid if at least two of the three listed criteria were met: (1) the maximum heart rate predicted by age was reached (220, age); (2) the impossibility of continuing to pedal at a minimum velocity of 70 rpm; and (3) an RER greater than 1.1 was obtained (Bell et al. 1997, 2000). Three experienced, independent physiologists determined the corresponding points. For the data analysis, the curves of the exhaled and inhaled gases were smoothed by visual analysis using the software Cardiorespiratory Diagnostic Software Breeze Ex version 3.06. The heart rate (HR) was measured using a Polar monitor (model FS1, Shanghai, China). The test–retest reliability coefficients (ICC) were 0.88 for  $VO_{2peak}$  and 0.85 for  $VT_2$ .

### Concurrent training programs

Participants of the study trained both strength and endurance training in the same session, three times a week, on nonconsecutive days. Training groups were differentiated by their intrasession concurrent strength and endurance training sequence. One group trained the strength training prior to SE, and another trained endurance prior to ES. Strength training was designed to improve muscular endurance in the first 4 weeks and subsequently to stimulate muscular hypertrophy and maximal strength gains. Before the start of the strength training, subjects completed two familiarization sessions to practice the exercises they would further perform during the training period. The strength and endurance training programs have been previously described (Cadore et al. 2010, 2011a). The individuals performed nine exercises (bench press, inclined leg-press, seated row, knee extension, inverse fly, leg curl, triceps curl, biceps curl, and abdominal exercises). In each session, subjects performed specific muscle stretching and a specific warm up, with one set of 25 repetitions with very light loads for the upper and lower body. During weeks 1 and 2, subjects performed two sets of 18–20 repetitions maximum (RM) in week 1 (i.e., the heaviest possible weight was used for the designated number of repetitions; mean $\pm$ DP of relative load, 39.8 $\pm$ 7.4 % of pretraining 1RM), progressing to 15–17 RM (week 3; 48.3 $\pm$ 5.7 % of pretraining 1RM). In weeks 5–7, subjects performed two sets of 12–14 RM (64.1 $\pm$ 8.7 % of pretraining 1RM), progressing to three sets of 8–10 RM (weeks 8–10

(81.3 $\pm$ 12.3 % of pretraining 1RM), advancing to 6–8 RM (weeks 11–12; 93.1 $\pm$ 14 % of pretraining 1RM). During the training program, the maximal training load of the knee extensors exercises in each mesocycle (i.e., 18–20, 15–17, 12–14, 8–10, and 6–8 RM) was recorded to allow future comparisons between groups. However, relative to 1RM loads were not controlled during the training program. In each set, the workload was adjusted when the repetitions performed were either above or below the repetitions established. All the sets were performed until failure. The recovery time between sets was 90–120 s. The strength training sessions lasted approximately 40 min.

The endurance training program was performed, using a cycle ergometer, at the intensity relative to the  $HR_{VT}$  corresponding to the second  $VT_2$ . During the first 2 weeks, subjects cycled for 20 min at 80 % of  $HR_{VT}$ , progressing to 25 min at 85–90 % of  $HR_{VT}$  in weeks 5–6. In the weeks 7–10, subjects cycled for 30 min at 95 % of  $HR_{VT}$  and in the last 2 weeks of training, subjects performed six 4-min bouts at 100 % of  $HR_{VT}$  (weeks 11–12), with 1 min of active recovery between bouts. The  $VT_2$ , used as a parameter to prescribe the intensity of endurance training, corresponded to 73.8 $\pm$ 4.9 % of the  $VO_{2peak}$ . All the training sessions were carefully supervised by at least three experienced personal trainers.

### Statistical analysis

The SPSS statistical software package was used to analyze all data. Normal distribution and homogeneity parameters were checked with Shapiro–Wilk and Levene tests, respectively. Results are reported as mean $\pm$ SD. Statistical comparisons in the control period (from weeks –4 to 0) were performed by using Student's paired *t* tests. The training-related effects were assessed using a two-way analysis of variance (ANOVA) with repeated measures (group $\times$ time). To verify changes in the training load peak, Bonferroni post hoc test was used after two-way ANOVA. Selected relative changes between groups were compared via one-way ANOVA. The sample size was calculated using the G POWER software (version 3.0.1) that determined that a sample of  $n=13$  subjects, would provided a statistical power of over 0.85 in all variables. The retrospective statistical power provided by SPSS after analysis was 1.00 in all strength performance variables which a significant time–effect was

observed and 0.8 for the significant time vs. group interaction results. Exceptions were observed in the RFD at 100 ms and maximal RFD, which the retrospective statistical power was 0.71 and 0.78, respectively. Furthermore, the retrospective statistical power in the EMG variables were 0.8 and 0.92 for the maximal EMG amplitude of VL and RF, respectively; and 1.0 and 0.85 for VL and RF neuromuscular economy, respectively. Significance was accepted when  $p < 0.05$ .

## Results

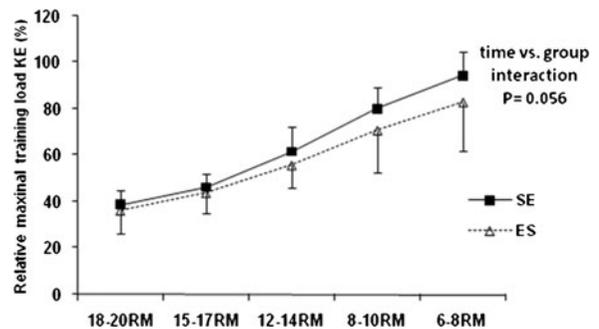
During the period control (i.e., between weeks -4 and 0), no changes were observed in the lower-body 1RM ( $63.9 \pm 10.3$  vs.  $64.1 \pm 10.2$  kg), maximal neuromuscular activity of VL ( $0.180 \pm 0.075$  vs.  $0.197 \pm 0.094$  V) and RF ( $0.121 \pm 0.081$  vs.  $0.161 \pm 0.010$  V), as well as in the  $VO_{2peak}$  ( $28.7 \pm 3.8$  vs.  $27.6 \pm 3.6$  ml kg  $min^{-1}$ ). There were no differences between groups before training in the body mass (kilogram), height (centimeter), age (years), and percent fat (percentage). After training, there was a significant decrease in the percent of body fat in both SE and ES ( $27.3 \pm 3.7$  vs.  $24.8 \pm 4.3$  % and  $28.1 \pm 2.9$  vs.  $26.8 \pm 3.4$  %, respectively,  $P < 0.001$ ) with no differences between groups (Table 1). No changes were observed in the body mass after training.

Training compliance and maximal training load of a specific training period (mesocycle)

There was no difference in the training compliance between SE and ES ( $94.8 \pm 4.3$  vs.  $97.2 \pm 2.9$  %). During the different mesocycles, there was strong trend toward time vs. group interaction in the maximal training load relative to pretraining 1RM values in the knee extension exercise ( $P = 0.056$ ; Fig. 1) with the SE showing higher relative increases in this variable than ES during the strength training periodization [ $149.1 \pm 37.7$  % (from  $38.7 \pm 5$  to  $95 \pm 10$  % of pretraining 1RM) vs.  $132.9 \pm 32.2$  % (from  $36.2 \pm 10$  to  $82.9 \pm 8$  % of pretraining 1RM), respectively].

## Dynamic strength

At baseline, there were no differences between groups in the lower- and upper-body 1RM. After training, there was significant time vs. group interaction ( $P <$

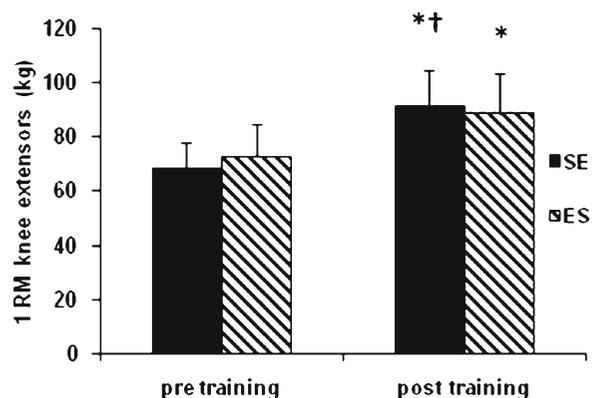


**Fig. 1** Mean  $\pm$  SD of maximal training load (percentage) relative to pretraining one maximum repetition maximum (1RM) values during different mesocycles. Tendency toward significant time vs. group interaction ( $P = 0.056$ )

0.02) in the lower-body 1RM. Both SE and ES increased the knee extensors 1RM values, but the increase observed in the SE was significantly higher than ES ( $35.1 \pm 12.8$  vs.  $21.9 \pm 10.6$  %, respectively,  $P < 0.01$ ). In the upper-body 1RM, there were significant increases in both SE and ES ( $15.0 \pm 9.0$  vs.  $11.5 \pm 7.3$  %, respectively,  $P < 0.001$ ), with no difference between groups (Fig. 2).

## Isometric peak torque and rate of force development

At baseline, there were no differences between groups in the isometric peak torque of knee extensors and flexors, knee extensors maximal RFD, or RFD at 100 ms. After training, there were increases in the knee extensors isometric peak torque in both SE and



**Fig. 2** Mean  $\pm$  SD of lower-body one maximum repetition (1RM) values (kilogram), pre- and post-12 weeks of concurrent training. SE strength prior to endurance training, ES endurance prior to strength training. \* $P < 0.001$ , significant difference from pretraining values. † $P < 0.001$ , significant time vs. group interaction

ES ( $8.0\pm 7.1$  vs.  $5.7\pm 9.6$  %, respectively,  $P<0.001$ ), with no difference between groups. In addition, knee flexors isometric peak torque increased in both SE and ES ( $7.8\pm 8.7$  vs.  $7.9\pm 7.7$  %, respectively,  $P<0.001$ ), with no difference between groups. There were increases in the knee extensors RFD at 100 ms in both SE and ES ( $P<0.05$ ), as well as in the knee extensors maximal RFD in SE and ES groups ( $P<0.001$ ), with no differences between groups (Table 2).

### Muscle thickness

At baseline, there were no differences between groups in the lower- (VL, RF, VM, VI, and QF sum) and upper-body muscle thickness (BB, BR, and EF sum; Table 3). After training, there was increases in the VL (SE,  $7.3\pm 4.6$  %; ES,  $7.5\pm 5.3$  %;  $P<0.001$ ), VM (SE,  $16.7\pm 14.2$  %; ES,  $9.7\pm 8.3$  %;  $P<0.001$ ), VI (SE,  $9.4\pm 8.7$  %; ES,  $12.1\pm 9.3$  %;  $P<0.001$ ), and RF muscle thickness (SE,  $3.5\pm 3.2$  %; ES,  $6.4\pm 3.8$  %;  $P<0.001$ ), with no differences between groups. In addition, there was increases in the QF sum (SE,  $9.3\pm 6.2$  %; ES,  $9.0\pm 5.0$  %;  $P<0.001$ ), with no differences between groups (Fig. 3). In the upper-body muscle thickness, there was increases in the BB (SE,  $4.6\pm 3.7$  %; ES,  $3.3\pm 1.9$  %;  $P<0.001$ ), BR (SE,  $13.5\pm 7.5$  %; ES,  $9.1\pm 10.8$  %;  $P<0.001$ ), and EF sum (SE,  $7.0\pm 2.8$  %; ES,  $5.0\pm 3.5$  %;  $P<0.001$ ). No differences between groups were observed in the upper-body muscle thickness variables.

### EMG measurements

At baseline, there were no differences between groups in the maximal neuromuscular activity (maximal

EMG amplitude) of VL, RF, maximal coactivation of BF, as well neuromuscular economy of VL and RF. After training, there were significant increases in the maximal neuromuscular activity of VL (SE,  $16.7\pm 40.5$  %; ES,  $18.3\pm 21.2$  %;  $P<0.05$ ; Fig. 4), as well as RF (SE,  $22.5\pm 23.6$  %; ES,  $14.1\pm 26.2$  %,  $P<0.01$ ; Fig. 5), with no differences between groups. There were no changes in the coactivation of BF during the knee extensors MVC after training in any group (Table 3). After training, there was significant time vs. group interaction ( $P<0.01$ ) in the RF neuromuscular economy. Changes were observed only in SE ( $-22.6\pm 30.0$  %,  $P<0.01$ ), and this change was greater ( $P<0.01$ ) than the observed in ES ( $1.5\pm 24.0$  %,  $P=0.86$ ; Fig. 6). There were changes in the VL neuromuscular economy (SE,  $-16.9\pm 12.7$  %; ES,  $-12.5\pm 15.4$  %;  $P<0.001$ ), with no differences between groups.

### Discussion

The primary finding of the present study was the greater lower-body strength gains observed when strength training was performed prior to endurance training (i.e., SE) compared with those observed when the endurance training was performed prior to strength training. Secondly, the greater strength gains in the SE sequence may be related with neural adaptations because only SE improved the rectus femoris neuromuscular economy. Furthermore, no differences were observed in the morphological adaptations between groups, which suggested that the intrasession exercise sequence influenced strength performance but not the magnitude of hypertrophy. These results suggest that

**Table 2** Strength performance before and after training: strength–endurance (SE) and endurance–strength (ES); mean $\pm$ SD

	Strength–endurance (SE, $n=13$ )		Endurance–strength (ES, $n=13$ )	
	Pre-training	Post-training	Pre-training	Post-training
Upper-body 1RM (kg)	$27.0\pm 2.2$	$31.3\pm 3.7^{***}$	$26.2\pm 4.2$	$29.1\pm 4.4^{***}$
Lower-body 1RM (kg)	$68.1\pm 9.8$	$91.5\pm 12.7^{***, ****}$	$72.7\pm 11.8$	$88.3\pm 14.9^{***}$
KE isometric PT (Nm)	$229.8\pm 27.8$	$247.3\pm 26.9^{***}$	$238.6\pm 38.6$	$250.2\pm 34.3^{***}$
KF isometric PT (Nm)	$116.6\pm 15.0$	$125.0\pm 15.6^{***}$	$115.1\pm 25.7$	$131.9\pm 40.0^{***}$
KE RFD at 100 ms ( $\text{Nm s}^{-1}$ )	$490.6\pm 354.0$	$620.0\pm 366.8^*$	$428.7\pm 320.0$	$652.5\pm 459.5^*$
KE maximal RFD ( $\text{Nm s}^{-1}$ )	$773.7\pm 354.4$	$879.7\pm 434.9^{**}$	$757.7\pm 324.5$	$1,007.2\pm 515.9^{**}$

1RM one maximum repetition, KE knee extensors, KF knee flexors, PT peak torque, RFD rate of force development

\* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$ , \*\*\* $P<0.001$ , significant difference from pretraining values; \*\*\*\* $P<0.05$ , significant time vs. group interaction

**Table 3** Muscle thickness, maximal neuromuscular activity and neuromuscular economy before and after training: strength–endurance (SE) and endurance–strength (ES); mean±SD

	Strength–endurance (SE, <i>n</i> =13)		Endurance–strength (ES, <i>n</i> =13)	
	Pretraining	Post-training	Pretraining	Post-training
VL muscle thickness (mm)	19.8±2.7	21.3±3.2 <sup>***</sup>	21.6±2.3	23.2±2.3 <sup>***</sup>
VM muscle thickness (mm)	19.3±2.9	22.5±3.9 <sup>***</sup>	19.4±4.7	21.2±5.1 <sup>***</sup>
VI muscle thickness (mm)	14.3±3.4	15.6±3.5 <sup>***</sup>	14.8±4.1	16.4±3.9 <sup>***</sup>
RF muscle thickness (mm)	18.6±3.8	19.1±3.8 <sup>***</sup>	17.6±3.6	19.0±3.4 <sup>***</sup>
QF muscle thickness (mm)	72.0±8.6	78.5±8.7 <sup>***</sup>	73.4±10.5	79.8±10.8 <sup>***</sup>
BB muscle thickness (mm)	25.5±3.8	26.7±4.2 <sup>***</sup>	25.9±4.2	26.7±4.0 <sup>***</sup>
BR muscle thickness (mm)	9.4±1.9	10.7±2.2 <sup>***</sup>	10.4±2.6	11.3±3.0 <sup>***</sup>
EF muscle thickness (mm)	34.9±2.8	37.4±3.0 <sup>***</sup>	36.3±4.6	38.1±4.4 <sup>***</sup>
Maximal NA VL (V)	0.189±0.093	0.204±0.087 <sup>*</sup>	0.143±0.065	0.168±0.077 <sup>*</sup>
Maximal NA RF (V)	0.120±0.038	0.143±0.043 <sup>**</sup>	0.096±0.040	0.109±0.050 <sup>**</sup>
Antagonist coactivation BF (%)	21.4±11.4	19.8±10.1	24.2±10.7	27.3±18.3
Neuromuscular economy VL (%)	42.3±8.0	34.9±7.6 <sup>***</sup>	44.2±8.9	38.4±9.3 <sup>***</sup>
Neuromuscular economy RF (%)	41.9±11.9	31.1±11.8 <sup>**</sup> , <sup>****</sup>	38.3±12.3	37.8±11.8

Maximal neuromuscular activity (NA) determined by maximal electromiographic signal amplitude

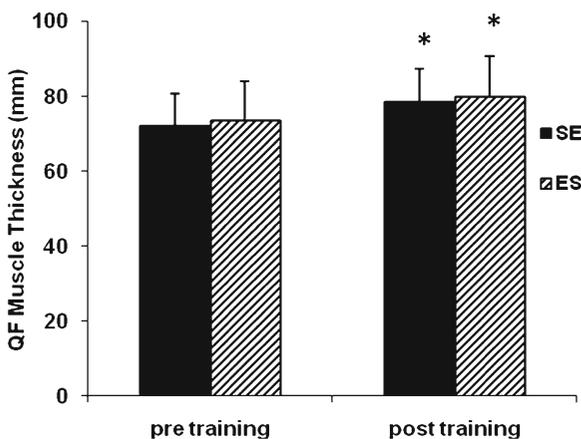
VL vastus lateralis, VM vastus medialis, VI vastus intermedius, RF rectus femoris, BF biceps femoris

\* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$ , and \*\*\* $P<0.001$ , significant difference from pretraining values; \*\*\*\* $P<0.05$ , significant time vs. group interaction

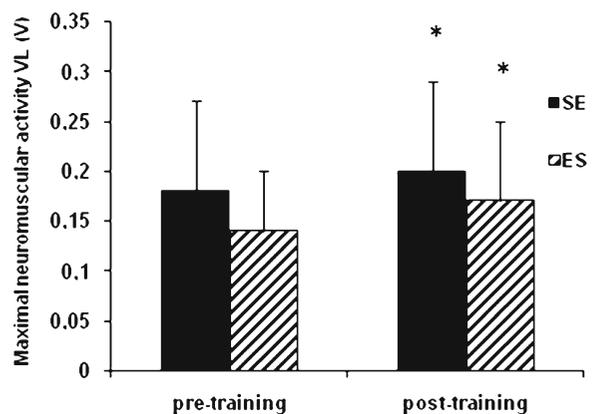
performing strength training prior to endurance training optimizes strength gains in the elderly.

In the present study, both the ES and SE intervention groups showed strength gains (22 and 35 %, respectively) at a similar or greater magnitude compared with those observed in other studies that have

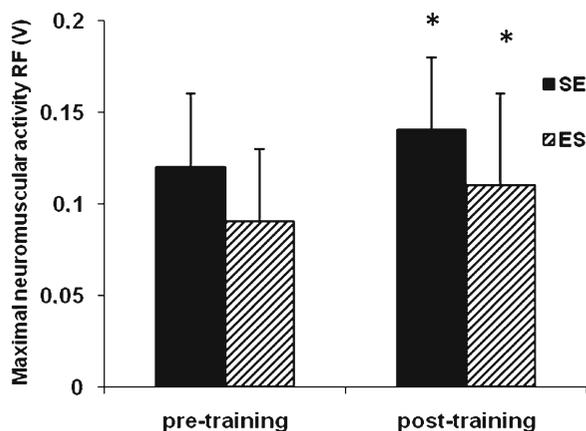
investigated strength versus concurrent training adaptations in the elderly (20–41 %) (Wood et al. 2001; Izquierdo et al. 2004; Holviala et al. 2010, 2011; Karavirta et al. 2009, 2011). In Holviala et al. (2010), 21 weeks of strength or concurrent training resulted in similar strength gains in elderly men (20



**Fig. 3** Mean±SD of the quadriceps femoris muscle thickness (millimeter) pre- and post-12 weeks of concurrent training. SE strength prior to endurance training, ES endurance prior to strength training. \* $P<0.001$ , significant difference from pretraining values

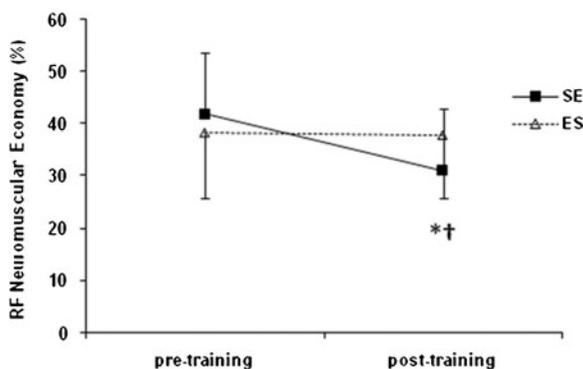


**Fig. 4** Mean±SD of maximal neuromuscular activity (maximal electromiographic amplitude) of vastus lateralis (RMS values) pre- and post-12 weeks of concurrent training. SE strength prior to endurance training, ES endurance prior to strength training. \* $P<0.05$ , significant difference from pretraining values



**Fig. 5** Mean±SD of maximal neuromuscular activity (maximal EMG amplitude) of rectus femoris (RMS values) pre- and post-12 weeks of concurrent training. *SE* strength prior to endurance training, *ES* endurance prior to strength training. \* $P < 0.05$ , significant difference from pretraining values

and 21 %). In another study, Karavirta et al. (2011), using a similar strength training regime, demonstrated strength enhancements of similar magnitudes after 21 weeks of strength training alone or concurrent training (21–22 %). It is interesting to note that the same strength adaptations observed in the present study occurred in a shorter period of time than in the abovementioned studies (12 vs. 21 weeks; Holviala et al. 2010, 2011; Karavirta et al. 2009, 2011). These different time courses in strength development could be explained by the different weekly frequency of training performed. The subjects of the present study performed three training sessions per week, which is in contrast with the previous studies, which utilized



**Fig. 6** Mean±SD of neuromuscular economy (normalized EMG at 50 % of pretraining MVC) of rectus femoris before and after training in strength group (SG). \* $P < 0.01$ , significant difference from pretraining values; † $P < 0.01$ , significant time vs. group interaction

two training sessions per week (Holviala et al. 2010, 2011; Karavirta et al. 2011). The increased number of training sessions in our study represents a 50 % higher volume of training. Thus, it is possible that the higher weekly volume performed in the present study might explain such neuromuscular adaptations as were observed here after only 12 weeks, even when performing endurance training immediately prior to strength training.

A unique finding was that greater strength increases were observed in the group that performed strength training prior to endurance training. Few studies have investigated the effects of intrasession exercise sequence on the neuromuscular adaptations to concurrent training. In the study of Gravelle and Blessing (2000), which investigated young women, no significant differences were observed in the strength adaptations between groups that performed different exercise sequences. In another study, Chtara et al. (2008) observed an interference effect on the strength gains in young men after 12 weeks of concurrent training but no effect of different intrasession sequences (i.e., strength–endurance vs. endurance–strength). Using a concurrent training regime identical to the present study, Cadore et al. (2010) found that strength training alone resulted in a 50 % greater increase in knee extensor strength than concurrent training in a similar population (i.e., healthy untrained elderly people). In that study, because the endurance training was always performed immediately before strength training, it was hypothesized that the fatigue resulting from endurance exercise may have negatively affected the training-induced muscle strength gains. Therefore, the extent to which different intrasession exercise sequences (i.e., strength–endurance or endurance–strength) would result in different neuromuscular adaptations in the elderly was hypothesized. The results of the present study are in line with the results of Cadore et al. (2010) because in the present study, SE increased the maximal dynamic strength 50 % more than that observed after an ES order. A plausible explanation was that performing endurance training immediately prior to strength training might negatively influence the subsequent strength training performance. In this context, one may also suggest that the lower strength gains obtained after the ES training approach could be related in part to the fact that the ES group also achieved lower workloads in the training periodization (Fig. 1). It should also be noted that differences in the

relative intensity of workloads between groups were more evident in the last two training cycles, when the volume per exercise during the strength training was between 10 and 6 RM, and the endurance intensity was close to  $VT_2$ .

In the present study, both groups increased the muscle thickness of the elbow flexor and knee extensor muscles. Some studies have shown that a high volume of concurrent training might impair the hypertrophy of type I fibers (Kraemer et al. 1995; Bell et al. 1997, 2000; Putman et al. 2004). Nevertheless, studies using imaging techniques to evaluate muscle hypertrophy have shown no differences in the magnitude of increase in muscle size between strength and concurrent groups in young (McCarthy et al. 2002; Häkkinen et al. 2003; Izquierdo et al. 2005), as well in elderly untrained subjects (Izquierdo et al. 2004; Sillampää et al. 2008; Karavirta et al. 2011). The present results are in agreement with those from previous studies that have found increases in the muscle thickness induced by strength training or concurrent training (Sillampää et al. 2008; Nogueira et al. 2009; Ahtiainen et al. 2010). Furthermore, it seems that performing endurance training before or after strength training in the same concurrent training session has no influence on the magnitude of the muscle hypertrophy induced by strength training. One might speculate that even performing strength training with a lower relative loading intensity (percent of 1RM), the use of maximal effort per set allows the ES group to stimulate its optimal contractile protein synthesis, which results in the same level of morphological adaptation. Indeed, it has been extensively shown in the literature that the optimal strength development stimulus is not necessarily the same as the optimal muscle hypertrophy stimulus (Schoenfeld 2010). It should be stated that potential differences in overall muscle size between ES and SE could be detected using imaging techniques with better spatial resolution (i.e., magnetic resonance image and computerized tomography).

Increases in the maximal EMG amplitude of the VL and RF muscles were observed in SE and ES, suggesting that both groups may be an optimal stimulus to enhance the neuromuscular activity (Häkkinen et al. 2003; Brentano et al. 2008). In contrast, performing strength training prior to endurance training resulted in a greater magnitude of neuromuscular economy (i.e., a reduction in the normalized EMG signal at the same absolute load) of the rectus femoris muscle in the SE group, whereas both groups improved the neuromuscular economy of

vastus lateralis muscle. It could be speculated that the greater improvements in the neuromuscular economy in SE, together with the absence of differences in the morphological adaptations (i.e., muscle thickness) between groups, suggest that neural factors may help explain the different magnitude of strength gains, with the endurance training session performed immediately before strength exercises negatively influencing such adaptations. Impairments in the neural adaptations induced by concurrent training have been demonstrated by Häkkinen et al. (2003) and Cadore et al. (2010), who show that only strength training alone results in increases in rapid neural activation (Häkkinen et al. 2003) and maximal neuromuscular activity (Cadore et al. 2010) when compared with concurrent training. In addition, Cadore et al. (2010) have shown improvements in neuromuscular economy only in the elderly that performed strength training alone. However, caution is necessary in the interpretation of the present results because neuromuscular activity was evaluated isometrically and the different magnitude of strength gains was detected in a dynamic strength test (i.e., 1RM). Moreover, only one EMG parameter was more improved in SE than ES group. Thus, the interference of the intrasession exercise order in the neural adaptations as a mechanism to explain the different strength gains in the present study needs to be further investigated. Furthermore, it is also possible that the greater magnitude of the neuromuscular economy enhancements observed in SE could be a consequence of the greater strength gains rather than a cause of those gains. An improved neuromuscular economy suggests that for the same pretraining load, subjects needed fewer motor units after training, being more economical at the neuromuscular level (Cadore et al. 2010, 2011a, b). Despite differences between groups, both SE and ES have improved the neuromuscular economy to some extent.

To conclude, the present data expand the knowledge of previous findings related to the interference effect observed during concurrent training in an elderly population. The intrasession exercise sequence had an influence on strength adaptations as observed in the greater strength increases when strength training was performed prior to endurance training (35 vs. 22 %). These differences might be related to the different training load peak achieved between groups, especially during the later phase of training, which the endurance training was performed close to the anaerobic ventilatory threshold. Furthermore, a different magnitude of neural adjustment

might be suggested as a possible physiological explanation for these different strength adaptations because the neuromuscular economy was improved to a greater extent in the group that performed strength training prior to endurance training, whereas no differences between groups were observed in the maximal neuromuscular activity gains. Nevertheless, in the elderly, it is important to point out that the intrasession concurrent exercise sequence had no influence on muscle thickness gains. From a practical point of view, to optimize the strength gains in the elderly, the concurrent training prescription should include an intrasession exercise order of strength training prior to endurance training.

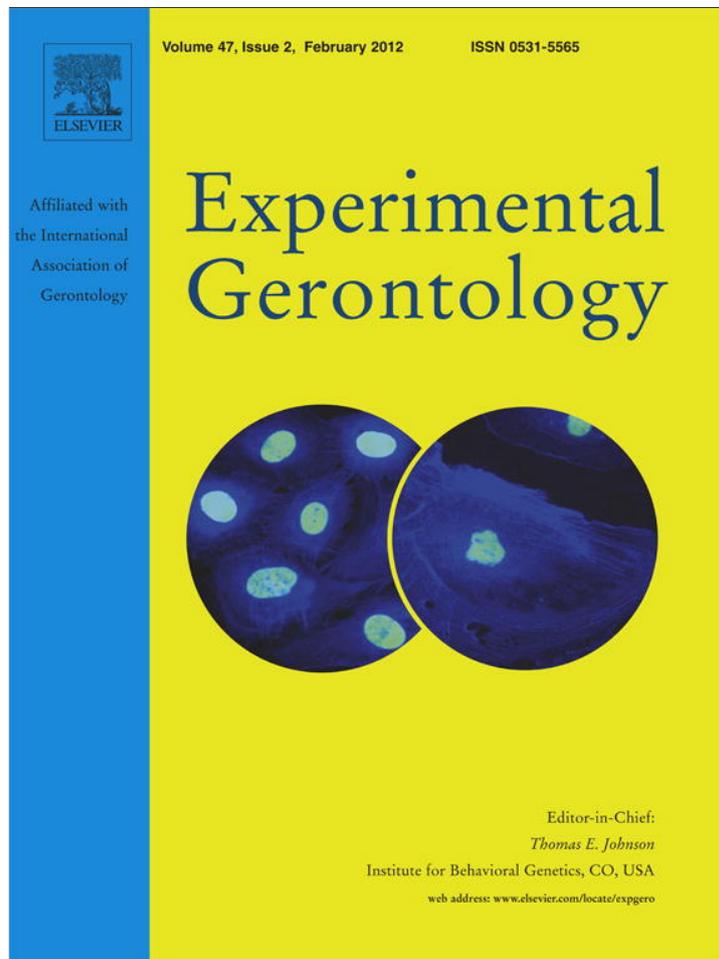
**Acknowledgments** The authors specially thank FAPERGS, CAPES, CNPq, and FINEP Brazilian Government Associations for support to this project. The authors are also indebted to the Spanish Ministry of Health, Institute Carlos III, Department of Health of the Government of Navarra and the Government of Spain, and the Spanish Ministry of Science and Innovation for financing this research with grants RD06/013/1003 and 87/2010 and DEP2011-24105, respectively. We also acknowledge Mr. Matheus Conceição, Dr. Giovani Cunha, and Prof. Guilherme Trindade for their help in data collection and analysis. Furthermore, we also gratefully acknowledge all subjects who participated in this research and made this project possible.

## References

- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P (2002a) Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 93:1318–1326
- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P (2002b) Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol* 92:2309–2318
- Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, 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
- Ahtiainen JP, Hoffren M, Hulmi JJ, Pietikäinen M, Mero AA, Avela J, Häkkinen K (2010) Panoramic ultrasonography is a valid method to measure changes in skeletal muscle cross-sectional area. *Eur J Appl Physiol* 108:273–279
- Bell GJ, Syrotuik D, Socha T, Maclean I, Quinney HÁ (1997) Effect of strength and endurance training on strength, testosterone, and cortisol. *J Strength Cond Res* 11:57–64
- Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HÁ (2000) Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol* 81:418–427
- Brentano MA, Cadore EL, Silva EM, Ambrosini AB, Coertjens M, Petkowsics R, Viero I, Kruel LFM (2008) Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women with bone loss. *J Strength Cond Res* 22:1816–1825
- Cadore EL, Pinto RS, Lhullier FLR, Correa CS, Alberton CL, Pinto SS, Almeida APV, Tartaruga MP, Silva EM, Kruel LFM (2010) Physiological effects of concurrent training in elderly men. *Int J Sports Med* 31:689–697
- Cadore EL, Pinto RS, Alberton CL, Pinto SS, Lhullier FLR, Tartaruga MP, Correa CS, Almeida APV, Silva EM, Laitano O, Kruel LFM (2011a) Neuromuscular economy, strength and endurance in healthy elderly men. *J Strength Cond Res* 25:997–1003
- Cadore EL, Pinto RS, Lhullier FLR, Correa CS, Alberton CL, Pinto SS, Almeida APV, Tartaruga MP, Silva EM, Kruel LFM (2011b) Effects of strength, endurance and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. *J Strength Cond Res* 25:758–766
- Chilibeck PD, Stride D, Farthing JP, Burke DG (2004) Effect of creatine ingestion after exercise on muscle thickness in males and females. *Med Sci Sports Exerc* 36:1781–1788
- Chtara M, Chaouachi A, Levin GT, Chaouachi M, Chamari K, Amri M, Laursen PB (2008) Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *J Strength Cond Res* 22:1037–1045
- Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, Kanehisa H (2001) Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiol Scand* 172:249–255
- García-Pallares J, Izquierdo M (2011) Strategies to optimize concurrent training of strength and aerobic fitness for rowing and canoeing. *Sports Med* 41:329–343
- Gravelle BL, Blessing DL (2000) Physiological adaptation in women concurrently training for strength and endurance. *J Strength Cond Res* 14:5–13
- Häkkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga EM, Izquierdo M, Rusko H, Mikkola J, Häkkinen A, Valkeinen H, Kaarakainen E, Romu S, Erola V, Ahtiainen J, Paavolainen L (2003) Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *J Appl Physiol* 89:42–52
- Holviola J, Häkkinen A, Karavirta L, Nyman K, Izquierdo M, Gorostiaga EM, Avela J, Korhonen J, Knuutila V-P, Kraemer WJ, Häkkinen K (2010) Effects of combined strength and endurance training on treadmill load carrying walking performance in aging men. *J Strength Cond Res* 24:1584–1595
- Holviola J, Kraemer WJ, Sillampää E, Karpinen H, Avela J, Kauhanen A, Häkkinen A, Häkkinen K (2011) Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *Eur J Appl Physiol*. doi:10.1007/s00421-011-2089-7
- Izquierdo M, Häkkinen K, Antón A, Garrues M, Ibañez J, Ruesta M, Gorostiaga EM (2001) Maximal strength and power, endurance performance, and serum hormones in middle-aged and elderly men. *Med Sci Sports Exerc* 33:1577–1587
- Izquierdo M, Häkkinen K, Ibañez J, Antón A, Garrues M, Ruesta M, Gorostiaga EM (2003) Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. *J Strength Cond Res* 17:129–139

- Izquierdo M, Ibañez J, Häkkinen K, Kraemer WJ, Larrión JL, Gorostiaga EM (2004) Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc* 36:435–443
- Izquierdo M, Häkkinen K, Ibañez J, Kraemer WJ, Gorostiaga EM (2005) Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *Eur J Appl Physiol* 94:70–75
- Jackson AS, Pollock ML (1978) Generalized equations for predicting body density of men. *Brit J Nutr* 40:497–504
- Kamen G, Knight CA (2004) Training-related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 59:1334–1338
- Karavirta L, Tulppo MP, Laaksonen DE, Nyman K, Laukkanen RT, Kinnunen H, Häkkinen A, Häkkinen K (2009) Heart rate dynamics after combined endurance and strength training in older men. *Med Sci Sports Exerc* 41:1436–1443
- Karavirta L, Häkkinen A, Sillanpää E, Garcia-Lopez D, Kauhanen A, Haapasaaari A, Alen M, Pakarinen A, Kraemer WJ, Izquierdo M, Gorostiaga EM, Häkkinen K (2011) Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40–67-year-old men. *Scand J Med Sci Sports* 21:402–411
- Knight CA, Kamen G (2001) Adaptations in muscle activation of the knee extensor muscle with strength training in young and older adults. *J Electromyogr Kinesiol* 11:405–412
- Korhonen MT, Mero AA, Alen M, Sipilä S, Häkkinen K, Liikavainio T, Viitasalo JT, Haverinen MT, Suominen H (2009) Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging. *Med Sci Sports Exerc* 41:844–856
- Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, Harman EA, Deschenes MR, Reynolds K, Newton RU, Tripplet NT, Dziados JE (1995) Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* 78:976–989
- Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S, Mizuno M (2000) Sprint performance is related with muscle fascicle length in male 100 m-sprinters. *J Appl Physiol* 88:811–816
- Leis AA, Trapani VC (2000) *Atlas of electromiography*. Oxford University Press, Oxford
- Lepers R, Millet GY, Maffiuletti NA (2001) Effect of cycling cadence on contractile and neural properties of knee extensors. *Med Sci Sports Exerc* 33:1882–1888
- McCarthy JP, Pozniak MA, Agre JC (2002) Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 34:511–519
- Miyatani M, Kanehisa H, Kuno S, Nishijima T, Fukunaga T (2002) Validity of ultrasonograph muscle thickness measurements for estimating muscle volume of knee extensors in humans. *Eur J Appl Physiol* 86:203–208
- Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P (1989) Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol* 59:310–319
- Nogueira W, Gentil P, Mello SN, Oliveira RJ, Bezerra AJ, Bottaro M (2009) Effects of power training on muscle thickness of older men. *Int J Sports Med* 30:200–204
- Putman CT, Xu X, Gillies E, Maclean IM, Bell GJ (2004) Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fiber-type distribution in humans. *Eur J Appl Physiol* 92:376–384
- Sale DG, Jacobs I, Macdougall JD, Garner S (1990) Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 22:348–356
- Schoenfeld BJ (2010) The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 24:2857–2872
- Sillanpää E, Häkkinen A, Nyman K, Cheng S, Karavirta L, Laaksonen DE, Huuhka N, Kraemer WJ, Häkkinen K (2008) Body composition and fitness during strength and/or endurance training in older men. *Med Sci Sports Exerc* 40:950–958
- Siri WE (1993) Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *Nutrition* 9:480–491
- Wasserman K (1986) The anaerobic threshold: definition, physiological significance and identification. *Adv Cardiol* 35:1–23
- Wood RH, Reyes R, Welsch MA, Favaro-Sabatier J, Sabatier M, Lee CM, Johnson LG, Hooper PF (2001) Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. *Med Sci Sports Exerc* 33:1751–1758

Provided for non-commercial research and education use.  
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

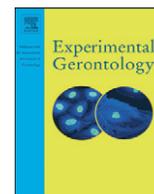
Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

## Experimental Gerontology

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

## Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men

Eduardo Lusa Cadore <sup>a,\*</sup>, Mikel Izquierdo <sup>b</sup>, Cristine Lima Alberton <sup>a,d</sup>, Ronei Silveira Pinto <sup>a</sup>, Matheus Conceição <sup>a</sup>, Giovani Cunha <sup>a,d</sup>, Régis Radaelli <sup>a</sup>, Martim Bottaro <sup>c</sup>, Guilherme Treis Trindade <sup>a</sup>, Luiz Fernando Martins Kruegel <sup>a</sup>

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

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

<sup>c</sup> College of Physical Education, University of Brasília, DF, Brazil

<sup>d</sup> Sogipa Physical Education and Sports College, Porto Alegre, RS, Brazil

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 31 October 2011

Received in revised form 21 November 2011

Accepted 30 November 2011

Available online 9 December 2011

Section Editor: Christiaan Leeuwenburgh

## Keywords:

Concurrent training  
Cardiorespiratory fitness  
Muscle strength  
Aerobic exercise  
Resistance exercise

## ABSTRACT

This study investigated the effects of different intra-session exercise sequences in the cardiovascular and neuromuscular adaptations induced by concurrent training in elderly. Twenty-six healthy elderly men ( $64.7 \pm 4.1$  years), were randomly placed into two concurrent training groups: strength training prior to (SE,  $n = 13$ ) or after (ES,  $n = 13$ ) endurance training. Subjects trained strength and endurance training 3 times per week performing both exercise types in the same training session. The peak oxygen uptake ( $VO_{2peak}$ ), maximum aerobic workload ( $W_{max}$ ), absolute ( $VT_1$  and  $VT_2$ ) and relative ( $VT_1\%$  and  $VT_2\%$ ) ventilatory thresholds, as well as workloads at  $VT_1$  and  $VT_2$  ( $W_{VT1}$  and  $W_{VT2}$ ) were evaluated during a maximal incremental test on a cycle ergometer before and after the training. In addition, muscle quality (MQ) was evaluated by the quotient between maximal dynamic strength (one repetition maximum test) of the knee extensors and the quadriceps femoris muscle thickness determined by ultrasonography. There were no modifications after training in the  $VT_1$ ,  $VT_2$ ,  $VT_1\%$ , and  $VT_2\%$ . There was significant increase in the  $W_{VT1}$  only in SE ( $P < 0.05$ ), as well as significant increase in the  $W_{VT2}$  in both groups ( $P < 0.001$ ). There was significant increase in the  $VO_{2peak}$ , with both groups showing increases ( $P < 0.001$ ), with no difference between groups; as well significant increase in the  $W_{max}$  ( $P < 0.001$ ) with no difference between SE and ES. The force per unit of muscle mass of knee extensors increased in both groups ( $P < 0.001$ ), but the increase was significantly higher in SE than in ES ( $27.5 \pm 12.7$  vs.  $15.2 \pm 10.3\%$ ,  $P < 0.02$ ). Hence, the intra-session exercise sequence had no influence in the maximal endurance power adaptations to concurrent training, but had influence in the magnitude of the muscle quality enhancements.

© 2011 Elsevier Inc. All rights reserved.

### 1. Introduction

A combination of strength and endurance training in elderly populations (i.e., concurrent training) has been postulated as the most effective strategy to improve both neuromuscular and cardiorespiratory functions, to maintain functional capacity and to promote health during aging (Wood et al., 2001; Izquierdo et al., 2004; Holviala et al., 2010; Cadore et al., 2011a). However, several studies have shown that concurrent training may result in lower strength adaptations than those often induced by strength training alone (i.e. interference effect) (Kraemer et al., 1995; Bell et al., 2000; Häkkinen et al., 2003), including when elderly populations are investigated (Cadore et al., 2010). Notwithstanding,

\* Corresponding author at: LAPEX, Escola de Educação Física, UFRGS, Rua: Felizardo, 750, Bairro: Jardim Botânico, CEP: 90690-200, Porto Alegre, RS, Brazil. Tel.: +55 51 3308 5820; fax: +55 51 3308 5842.

E-mail address: [edcadore@yahoo.com.br](mailto:edcadore@yahoo.com.br) (E.L. Cadore).

this effect is not often observed for cardiorespiratory performance in elderly populations, since similar cardiovascular adaptations have been observed in both concurrent-training and endurance-only groups (Izquierdo et al., 2004; Karavirta et al., 2009; Cadore et al., 2011a).

Along with the aerobic training volume and intensity, the intra-session exercise sequence might be an important variable in the concurrent training prescription (Chtara et al., 2005; García-Pallares and Izquierdo, 2011), since strength performance immediately prior to endurance training may compromise the endurance gains (Chtara et al., 2005). Chtara et al. (2005) found that significantly greater increases were observed in the endurance markers of young men performing endurance training prior to strength training when compared with the inverse intra-session order. Opposite results were observed in the study of Gravelle and Blessing (2000), investigating young women, who showed greater  $VO_{2max}$  increases in the subjects performing strength prior to endurance training. Hence, besides the scarce and controversial results regarding the effects of

intra-session exercise sequence in the cardiorespiratory adaptations induced by concurrent training, no studies were found investigating these effects in elderly populations.

In addition to cardiorespiratory fitness, the force production per unit of active muscle mass (i.e., muscle quality) has been associated with functional capacity in elderly populations (Misic and Evans, 2007). Muscle quality provides an estimation of the contribution of neuromuscular factors associated with changes in strength development, because enhanced strength with the same muscle mass suggests neural adaptations to training (Tracy et al., 1999; Frontera et al., 2000; Reeves et al., 2004; Narici et al., 2005). A decline in muscle quality has been associated with decreased functional capacity in elderly populations (Misic and Evans, 2007). To counteract this process, some studies have shown that strength training increases muscle quality in elderly people (Tracy et al., 1999; Reeves et al., 2004). However, to the author's knowledge, a limited number of studies have examined the effect of concurrent training on the training-induced force per unit of muscle mass changes. Thus, given the importance of concurrent training in improving both cardiorespiratory and neuromuscular function in elderly people (Izquierdo et al., 2004), more information on the neuromuscular effects of concurrent training should be provided.

Given this lack of information, the present study investigates the effects of different intra-session exercise sequences on the cardiovascular and neuromuscular adaptations induced by concurrent training in elderly populations. We hypothesized that different intra-session exercise sequences would result in similar cardiorespiratory adaptations. Our second hypothesis was that performing strength training prior to endurance training would provide a greater increase in the force per unit of muscle mass.

## 2. Methods

### 2.1. Experimental design and approach to the problem

To investigate the effects of the intra-session concurrent exercise sequence on endurance markers, maximal strength and muscle thickness in elderly subjects, two training groups performed a concurrent training regime that has previously resulted in marked improvements in both endurance and strength performance (Cadore et al., 2010, 2011a). In addition to maximal aerobic power and maximal workload, our goal was to evaluate the workloads at the ventilatory thresholds as well as the force per unit of muscle mass of knee extensors. Previously, we have shown that the same concurrent training regime results in an interference effect on strength gains when compared with strength training alone (Cadore et al., 2010). Because the aim of the present study was to expand our previous results by comparing the cardiovascular and neuromuscular adaptations to two different ways of prescribing concurrent training (i.e., different intra-session exercise orders), a control group was not tested. However, to test the stability and reliability of the performance variables, some of the subjects were evaluated twice before the start of training (weeks –4 and 0), which served as a control period. We have previously tested the stability and reliability of these variables in elderly men using a larger number of subjects during a control period (Cadore et al., 2010, 2011a,b). Testing at pre- and post-intervention was overseen by the same investigator, who was blinded to the training group of the subjects, and was conducted on the same equipment with identical subject/equipment positioning and at the same time of day. The ambient conditions were kept constant during all tests (temperature: 22–24 °C).

### 2.2. Subjects

Twenty six healthy elderly men (mean ± SD: 64.7 ± 4.1 year), who were not engaged in any regular and systematic training program in the previous 12 months, volunteered for the study after completing an ethical consent form. The subjects volunteered for the present investigation

following announcements in a widely read local newspaper. Subjects were carefully informed about the design of the study with special information given regarding the possible risks and discomfort related to the procedures. Subsequently, subjects were randomly selected and placed into two groups: strength training prior to endurance training (SE, n = 13); or, endurance training prior to strength training (ES, n = 13). Eight subjects (66.0 ± 2.7 year) were evaluated twice before the start of training (weeks –4 and 0) and it served as control period. The study was conducted according to Declaration of Helsinki and was approved by Ethics Committee of Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil.

Exclusion criteria included any history of neuromuscular, metabolic, hormonal and cardiovascular diseases. Subjects were not taking any medication with influence on hormonal and neuromuscular metabolism and were advised to maintain their normal dietary intake throughout the study. Medical evaluations were performed using clinical anamnesis and effort electrocardiograph test (ECG), to ensure subject suitability for the testing procedure. The physical characteristics of subjects are shown in Table 1. Body mass and height were measured using an Asimed analog scale (resolution of 0.1 kg) and an Asimed stadiometer (resolution of 1 mm), respectively. Body composition was assessed using the skinfold technique. A seven-site skinfold equation was used to estimate body density (Jackson and Pollock, 1978) and body fat was subsequently calculated using the Siri equation (Heyward and Stolarczyk, 2001).

### 2.3. Peak oxygen uptake, ventilatory thresholds and maximal workload

Subjects performed an incremental test on a cycle ergometer (Cybex, USA) in order to determine the peak oxygen uptake ( $VO_{2peak}$ ), the first ( $VT_1$ ) and second ( $VT_2$ ) ventilatory thresholds,  $VT_1$  and  $VT_2$  relative to  $VO_{2peak}$  ( $VT_1\%$  and  $VT_2\%$ , respectively), maximal workload ( $W_{max}$ ) and the workloads at  $VT_1$  ( $W_{VT1}$ ) and  $VT_2$  ( $W_{VT2}$ ) (García-Pallarés et al., 2010a, 2010b). They initially cycled with a 25 W load, which was progressively increased by 25 W every 2 min, while maintaining a cadence of 70–75 rpm, until exhaustion. The test was halted when subjects were no longer able to maintain a cadence of over 70 rpm. All the incremental tests were conducted in the presence of a physician. The expired gas was analyzed using a metabolic cart (CPX/D, Medical Graphics Corporation, St. Paul, MN) breath by breath. The  $VT_1$  and  $VT_2$  were determined using the ventilation curve corresponding to the points of exponential increase in the ventilation in relation to the load (Cadore et al., 2011b). In addition, to confirm the data,  $VT_2$  was determined using the  $CO_2$  ventilatory equivalent ( $VE/VCO_2$ ). The maximum  $VO_2$  value ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) obtained close to exhaustion was considered the  $VO_{2peak}$ . The  $W_{max}$  (W) was calculated using the formula:  $W_{max} = W_{com} + (t/180)\Delta W$ , where  $W_{com}$  is the load at the last stage completed,  $t$  is the time at the last incomplete stage and  $\Delta W$  is the load increment in the last stage (25 W) (Izquierdo et al., 2001). The maximum test was considered valid if at least 2 of the 3 listed criteria were met: 1) the maximum heart rate predicted by age was reached ( $220 - age$ ); 2) the impossibility of continuing to pedal at a minimum velocity of 70 rpm; and 3) an RER greater than 1.1 was obtained. Three experienced, independent physiologists determined the corresponding points. For the data analysis, the curves of the exhaled and inhaled gases were smoothed by visual analysis using the

**Table 1**  
Physical characteristics before and after training. Mean ± SD.

	Strength–endurance group		Endurance–strength group	
	SE, n = 13		ES, n = 13	
	Pre	Post	Pre	Post
Age (years)	64.7 ± 3.7	64.9 ± 3.9	64.7 ± 4.8	64.8 ± 4.8
Body mass (kg)	79.7 ± 10.5	79.5 ± 9.5	83.3 ± 13.4	82.6 ± 13.3
Height (cm)	170.0 ± 5.9	170.0 ± 5.9	173.5 ± 5.1	173.5 ± 5.1
% Fat mass	27.3 ± 3.7	25.6 ± 3.3*	28.1 ± 3.0	26.8 ± 3.4*

\* Significant difference from pre training values ( $P < 0.001$ ).

software Cardiorespiratory Diagnostic Software Breeze Ex version 3.06. The heart rate (HR) was measured using a Polar monitor (model FS1, Shanghai, China). The test–retest reliability coefficients (ICC) were 0.88 to  $VO_{2peak}$  and  $W_{max}$ , as well 0.85 to  $VT_1$  and  $VT_2$ .

#### 2.4. Muscle thickness and maximal strength (1RM)

The muscle thickness (MT) was measured using B-mode ultrasound (Philips, VMI, MG, Brazil). A 7.5-MHz scanning head was placed on the skin perpendicular to the tissue interface, the scanning head was coated with a water-soluble transmission gel to provide acoustic contact without depressing the dermal surface. The images were digitalized and after analyzed in software Image-J (National institute of health, USA, version 1.37). The subcutaneous adipose tissue–muscle interface and the muscle–bone interface were identified, and the distance from the adipose tissue–muscle interface was defined as MT. The MT images were determined in the muscles vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF), vastus medialis (VM), and vastus intermedius (VI). Subjects were evaluated in supine position, after 15 min resting and after 72 h without any vigorous physical activity. The same investigator made all measurements. The local of the measures has been previously described (Korhonen et al., 2009). The MT test–retest reliability coefficients (ICC) were 0.94 for VL, 0.91 for VM, 0.92 for VI and 0.95 for RF. The coefficient of variation for all knee extensors MT was between 0.8 and 2.7%.

The 1RM test was performed using a knee extension exercise machine (World-Esculptor, Porto Alegre, RS, Brazil), with 1-kg of resolution. One week prior to the test day, subjects were familiarized with all procedures in two sessions. On the test day, the subjects warmed up for 5 min on a cycle ergometer, stretched all major muscle groups, and performed specific movements for the exercise test. To avoid the influence of fatigue in the 1RM values, each subject's maximal load was determined with no more than five attempts with a four-minute recovery between attempts. Performance time for each contraction (concentric and eccentric) was 2 s, controlled by an electronic metronome (Quartz, CA, USA). The test–retest reliability coefficient (ICC) was 0.99 for the knee extension strength test.

Force per unit of active muscle mass [i.e. muscle quality (MQ)] was calculated from the quotient between the maximal dynamic strength (1RM) of the right leg and the sum of the muscle thickness (MT) of the muscles of quadriceps femoris (QF) adjusted by allometric scaling (i.e.  $F \propto m^{2/3}$ ) (Jaric et al., 2002). The QF MT was composed by the VL, RF, VM, and VI MT. Thus, muscle quality (MQ) was calculated following the formula:  $MQ = 1RM \text{ (kg) of the right leg} / MT_{QF \text{ sum}} \text{ of (VL + VM + VI + RF) (mm)}^{0.67}$ .

#### 2.5. Concurrent training programs

Participants of the study trained both strength and endurance training in the same session, three times a week, on non-consecutive days. Training groups were differentiated by their intra-session concurrent strength and endurance training sequence. One group trained the strength training prior to endurance training (SE), and another trained endurance prior to strength training (ES). Before the start of the strength training, subjects completed two familiarization sessions to practice the exercises they would further perform during the training period. The strength and endurance training programs have been previously described in detail (Cadore et al., 2010, 2011a). The individuals performed nine exercises (bench press, inclined leg-press, seated row, knee extension, inverse fly, leg curl, triceps curl, biceps curl and abdominal exercises). These exercise were choose to emphasize both major and minor muscle groups, using single as well multi-joint exercises, based in the recommendation of ACSM (2011). During the weeks one and two, subjects performed two sets of 18–20 repetitions maximum (RM) (i.e. the heaviest possible weight was used for the designated number of repetitions) (mean  $\pm$  SD of relative load:  $39.8 \pm 7.4\%$  of pre training 1RM), progressing to 15–17 RM (weeks 3–4) ( $48.3 \pm 5.7\%$  of

pre training 1RM). In the weeks five to seven, subjects performed two sets of 12–14 RM ( $64.1 \pm 8.7\%$  of pre training 1RM), progressing to three sets of 8–10 RM (weeks 8–10) ( $81.3 \pm 12.3\%$  of pre training 1RM), advancing to 6–8 RM (weeks 11–12) ( $93.1 \pm 14\%$  of pre training 1 RM). In each set the workload was adjusted when the repetitions performed were either above or below the repetitions established all the sets were performed until failure (Izquierdo-Gabarren et al., 2010). The recovery time between sets was 90 to 120 s. The strength training sessions lasted approximately 40 min. The strength training periodization is shown in Table 2.

The endurance training program was performed, using a cycle ergometer, at the intensity relative to the heart rate ( $HR_{VT}$ ) corresponding to the second ventilatory threshold ( $VT_2$ ). During the first two weeks, subjects cycled for 20 min at 80% of  $HR_{VT}$ , progressing to 25 min at 85–90% of  $HR_{VT}$  in weeks five to six. In weeks seven to ten, subjects cycled for 30 min at 95% of  $HR_{VT}$  and in the last two weeks of training, subjects performed six four-minute bouts at 100% of  $HR_{VT}$  (weeks 11–12), with 1 min of active recovery between bouts. The  $VT_2$ , used as a parameter to prescribe the intensity of endurance training, corresponded to  $73.8 \pm 4.9\%$  of the  $VO_{2peak}$ . All the training sessions were carefully supervised by at least three experienced personal trainers.

#### 2.6. Statistical analysis

The SPSS statistical software package was used to analyze all data. Normal distribution and homogeneity parameters were checked with Shapiro–Wilk and Levene test's respectively. Results are reported as mean  $\pm$  SD. Statistical comparisons in the control period (from week –4 to week 0) were performed by using Student's paired t-tests. The training-related effects were assessed using a two-way Analysis of Variance (ANOVA) with repeated measures (group  $\times$  time). Selected relative changes between groups were compared via one-way ANOVA. The sample size was calculated using the G POWER software (version 3.0.1) that determined that a sample of  $n = 13$  subjects would provided a statistical power of over 0.85 in all variables. The retrospective statistical power provided by SPSS after analysis was 1.00 in all variables in which a significant time-effect was observed and 0.8 in the significant time vs. group interaction. Significance was accepted when  $P < 0.05$ .

### 3. Results

During the control period (i.e., between week –4 and week 0), no significant differences were observed in  $VO_{2peak}$  ( $28.7 \pm 3.8$  vs.  $27.6 \pm 3.6 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $W_{max}$  ( $129.0 \pm 20.0$  vs.  $130.7 \pm 21.3 \text{ W}$ ) and lower-body 1RM ( $63.9 \pm 10.3$  vs.  $64.1 \pm 10.2 \text{ kg}$ ). There were no differences between the groups in body mass (kg), height (cm), age (years) and body fat percentage (%) prior to training.

No significant differences were observed in training compliance between SE and ES ( $94.8 \pm 4.3$  vs.  $97.2 \pm 2.9\%$ , respectively). After

**Table 2**  
Strength training periodization.

Strength training			
Week	Sessions	Sets	Repetitions
1	3	2	18–20 RM
2	2	2	18–20 RM
3	3	2	15–17 RM
4	3	2	15–17 RM
5	3	2	12–14 RM
6	3	2	12–14 RM
7	3	2	12–14 RM
8	3	3	8–10 RM
9	3	3	8–10 RM
10	3	3	8–10 RM
11	3	3	6–8 RM
12	3	3	6–8 RM

RM: maximum repetitions.

training, there was a significant time effect in the percentage of body fat (SE: 27.3 ± 3.7 vs. 25.3 ± 3.6%; ES: 28.1 ± 2.9 vs. 26.8 ± 3.4%,  $P < 0.001$ ) (Table 1), with no differences between groups. In addition, no significant changes were observed in the body mass of any group.

At baseline, there were no differences between groups in the absolute and relative  $VT_1$  and  $VT_2$ , the workload at  $VT_1$  ( $W_{VT1}$ ) and  $VT_2$  ( $W_{VT2}$ ), or the peak oxygen uptake ( $VO_{2peak}$ ) and maximal workload ( $W_{max}$ ). After training, no significant differences in  $VT_1$ ,  $VT_2$ ,  $VT_1\%$  or  $VT_2\%$  were observed in any group. Significant increases were observed in  $W_{VT1}$  in SE only (26.9 ± 33.0%,  $P < 0.05$ ) and in  $W_{VT2}$  in both groups (SE: 21.2 ± 26.4%; ES: 22.1 ± 26.1%, both  $P < 0.001$ ) (Table 3). A significant time effect was observed in the  $VO_{2peak}$  in both groups (SE: 8.1 ± 9.9%; ES: 9.3 ± 9.8%,  $P < 0.001$ ), with no difference between groups (Fig. 1). In addition, significant increases were observed in  $W_{max}$  in both groups (SE: 19.9 ± 19.3%; ES: 24.1 ± 24.0%,  $P < 0.001$ ), with no difference between groups (Fig. 2).

At baseline, there were no differences between groups in the lower-body 1RM, quadriceps femoris muscle thickness or force per unit of muscle mass. There was a significant increase in the muscle thickness of the quadriceps femoris in both groups (SE: 9.3 ± 6.1% and ES: 8.9 ± 4.9%,  $P < 0.001$ ), with no difference between groups. There was a significant time effect ( $P < 0.001$ ) and time vs. group interaction ( $P < 0.01$ ) in the lower-body 1RM (Table 3). Both groups increased the 1RM values, but the increase was significantly higher in SE compared to ES (35.1 ± 12.8 vs. 22 ± 10.6%, respectively). In addition, there was a significant time effect ( $P < 0.001$ ) and time vs. group interaction ( $P < 0.02$ ) in the force per unit of muscle mass. Both groups showed significant ( $P < 0.001$ ) increases in the force per unit of muscle mass (27.5 ± 12.7 and 15.2 ± 10.3% in SE and ES, respectively), but the increase was significantly higher in SE compared to ES ( $P < 0.02$ ) (Fig. 3).

#### 4. Discussion

The primary finding of the present study was that different intra-session exercise orders during concurrent training (i.e., endurance–strength or strength–endurance) resulted in the same magnitude of maximal endurance performance increases. Furthermore, both concurrent training regimes resulted in enhanced lower-body dynamic strength and quadriceps femoris muscle quality, but greater improvement occurred when strength training was performed prior to endurance

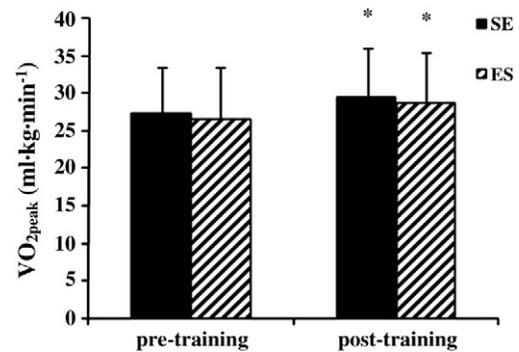


Fig. 1. Mean  $\pm$  SD of the peak oxygen uptake ( $VO_{2peak}$ ) (ml kg mm<sup>-1</sup>) pre and post 12 weeks of concurrent training. SE, strength prior to endurance training; ES, endurance prior to strength training. \*Significant difference from pre training values ( $P < 0.001$ ).

training. The present findings are important because they expand the information available for prescribing concurrent training to optimize cardiovascular and neuromuscular adaptations in elderly populations.

The magnitude of increase in  $VO_{2peak}$  (8.0–9.3%,  $P < 0.001$ ) and  $W_{max}$  (20–27%,  $P < 0.001$ ) observed in the present study are in line with previous studies that investigated the effects of concurrent training in elderly (Izquierdo et al., 2004; Sillampää et al., 2009; Holviala et al., 2010, 2011; Cadore et al., 2011a; Karavirta et al., 2011). In a study by Holviala et al. (2010), 21 weeks of concurrent training resulted in an 8% increase in  $VO_{2peak}$  ( $P = 0.007$ ) and a 12% increase in  $W_{max}$  ( $P = 0.001$ ). These increases were not significantly different from those achieved by the endurance-only group (11% and 15%, respectively,  $P = 0.002$ – $0.011$ ). Using similar concurrent training, Karavirta et al. (2011) observed a 10% ( $P < 0.001$ ) increase in  $VO_{2peak}$  after 21 weeks in elderly people. However, it is important to highlight that the similar endurance performance gains observed in the present study were achieved during a shorter period of training than the above-mentioned studies (Holviala et al., 2010; Karavirta et al., 2011). The greater weekly training frequency used in the present study compared with previous studies (3 vs. 2 times per week) may explain the same results obtained in a shorter period of time.

In the present study, there were significant increases in the workload at  $VT_1$  ( $W_{VT1}$ ) in SE and in the workload at  $VT_2$  ( $W_{VT2}$ ) in both groups, whereas  $VT_1$  and  $VT_2$  remained unchanged. Hence, after training, subjects were capable of sustaining higher workloads at the same submaximal oxygen uptake. It has been previously reported that strength training or concurrent training induces improvements in the submaximal workload capacity at the same metabolic intensity in middle-aged and elderly subjects (Izquierdo et al., 2003, 2004, 2005), which results in increased efficiency of movement at lower workloads. This enhancement of the efficiency pattern after a concurrent training period may be explained, in part, by neuromuscular adjustments; stronger elderly

Table 3  
Cardiovascular and neuromuscular parameters before and after training: strength–endurance (SE) and endurance–strength (ES). Mean  $\pm$  SD.

	Strength–endurance (SE, n = 13)		Endurance–strength (ES, n = 13)	
	Pre-training	Post-training	Pre-training	Post-training
$VO_{2peak}$ (ml·kg·min <sup>-1</sup> )	27.4 ± 6.1	29.5 ± 6.6*	26.6 ± 6.9	28.8 ± 6.5*
$W_{max}$ (W)	121.0 ± 13.4	143.9 ± 19.8*	125.2 ± 40.8	155.3 ± 44.0*
$VT_1$ (ml·kg·min <sup>-1</sup> )	14.2 ± 2.6	15.1 ± 2.9	14.4 ± 2.5	14.4 ± 2.6
$VT_2$ (ml·kg·min <sup>-1</sup> )	19.7 ± 3.9	20.5 ± 3.2	19.9 ± 4.9	20.0 ± 4.7
$VT_1\%$ (%)	52.6 ± 5.9	51.5 ± 3.9	55.2 ± 6.2	50.7 ± 6.8
$VT_2\%$ (%)	72.4 ± 5.5	71.0 ± 8.0	75.4 ± 3.9	70.4 ± 8.6
$W_{VT1}$ (W)	64.5 ± 12.9	75.0 ± 10.2*	64.6 ± 16.7	70.8 ± 25.7
$W_{VT2}$ (W)	94.2 ± 15.0	111.5 ± 16.5*	104.2 ± 27.9	122.9 ± 24.9*
Lower-body 1RM (kg)	68.1 ± 9.8	91.5 ± 12.7*†	72.7 ± 11.8	88.3 ± 14.9*
QF MT (mm)	72.0 ± 8.6	78.5 ± 8.7*	73.4 ± 10.5	79.8 ± 10.8*
QF force per unit of muscle mass (kg·mm <sup>-0.67</sup> )	1.95 ± 0.32	2.47 ± 0.32*†	2.03 ± 0.26	2.33 ± 0.32*

$VO_{2peak}$  Peak oxygen uptake;  $W_{max}$  maximal workload;  $VT_1$  and  $VT_2$ , absolute ventilatory thresholds;  $VT_1\%$  and  $VT_2\%$ , relative ventilatory thresholds;  $W_{VT1}$  and  $W_{VT2}$  workloads at the ventilatory thresholds; QF quadriceps femoris; MT, muscle thickness. \*Significant difference from pre training values ( $P < 0.001$ ). †Significant time vs. group interaction ( $P < 0.02$ ).

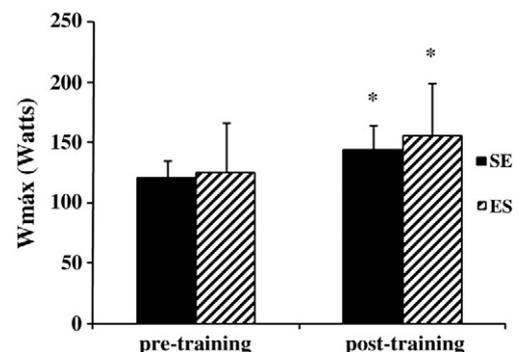
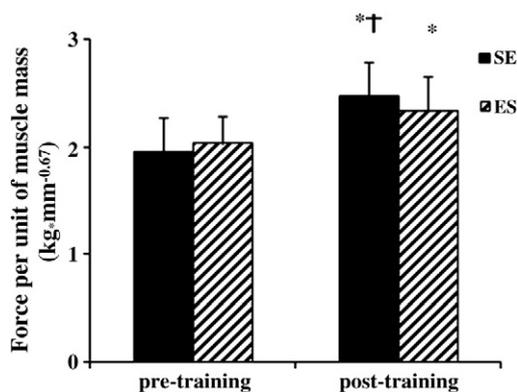


Fig. 2. Mean  $\pm$  SD of the maximal workload ( $W_{max}$ ) (W) pre and post 12 weeks of concurrent training. SE, strength prior to endurance training; ES, endurance prior to strength training. \*Significant difference from pre training values ( $P < 0.001$ ).



**Fig. 3.** Mean  $\pm$ SD of the quadriceps femoris force per unit of muscle mass ( $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-0.67}$ ) pre and post 12 weeks of concurrent training. SE, strength prior to endurance training; ES, endurance prior to strength training. \*Significant difference from pre training values ( $P<0.001$ ). †Significant time vs. group interaction ( $P<0.02$ ).

people can perform aerobic activity using a lower percentage of their strength, recruiting fewer type II muscle fibers and preferentially using fibers with more oxidative metabolism (Hartman et al., 2007; Cadore et al., 2011b). It may also be that the increase in  $W_{VT1}$  observed only in SE might be a consequence of the greater increases in the force per unit of muscle mass achieved by the SE group. Previous studies have shown a positive association between neuromuscular performance and maximal endurance capacity (Izquierdo et al., 2003) as well as neuromuscular economy during aerobic exercise (Cadore et al., 2011b). If this is true, from a practical point of view, performing strength training prior to endurance exercise may be more beneficial for improving functional activities because several functional activities are performed at lower aerobic intensities (Hartman et al., 2007).

Few studies have investigated simultaneous strength and endurance training in elderly populations (Izquierdo et al., 2004; Holviala et al., 2011; Cadore et al., 2011a; Karavirta et al., 2011). To the best of our knowledge, no studies have investigated the effects of the intra-session concurrent exercise sequence on endurance performance in elderly subjects. Chtara et al. (2005) found significantly greater increases in the  $VO_{2\text{peak}}$  in a group of young men that performed endurance training prior to strength training when compared with a group that performed strength training prior to endurance training (13.6 vs. 10.7%,  $P<0.001$ ). In another study, Gravelle and Blessing (2000) showed significant increases in  $VO_{2\text{max}}$  only in groups of young women that performed strength training prior to endurance training compared with a group that performed endurance training prior to strength training. In the present study, we found that the performance of endurance training prior to or after strength training resulted in the same magnitude of  $VO_{2\text{peak}}$  improvements after 12 weeks of concurrent training. Along with the different populations studied, another possible explanation for the different results observed might be the type and intensity of endurance training. In study of Chtara et al. (2005), subjects performed endurance training at  $vVO_{2\text{peak}}$ . The authors justified their results as a consequence of fatigue resulting from the strength training, which may have influenced the physiological effects of the endurance training (Chtara et al., 2005). In the present study, subjects performed periodized strength and endurance training for the purpose of promoting health, starting at lower intensities of both types of training and gradually achieving intensities close to the anaerobic threshold. Hence, it is possible that the volume and intensity performed in the present study prevented interference of the intra-session sequence in the endurance performance.

Aging is associated with declines in the force per unit of muscle mass (i.e., muscle quality). This may be related to neural factors as well as intrinsic factors, such as the redistribution of fat from the depot to muscle and altered collagen synthesis, which results in an increased amount of intramuscular connective tissue (Seene et al., 2011). In addition, it has

been demonstrated that declines in muscle quality are associated with reduced functional capacity in elderly populations (Mistic and Evans, 2007; Korhonen et al., 2009; Granacher et al., 2010). To counteract this effect, some studies have shown that strength training improves the force per unit of muscle mass (Tracy et al., 1999; Ivey et al., 2000; Reeves et al., 2004). In study of Tracy et al. (1999), 9 weeks of strength training three times a week resulted in an increase of 14% ( $P<0.05$ ) in the force per unit of the quadriceps femoris mass of the trained leg in elderly men. Our results are in line with results that show increases in muscle quality after strength training (Tracy et al., 1999; Ivey et al., 2000; Reeves et al., 2004), suggesting that, despite the increases in muscle size, neural factors, such as increases in motor unit recruitment or firing rate capacity, are the primary mechanisms that explain strength increases in elderly people (Häkkinen et al., 1998, 2000). Moreover, the above-mentioned intrinsic muscle factors, such as changes in intramuscular fat deposition and connective tissue induced by physical training, might be responsible for the enhancements in the force by unit of active muscle mass (Seene et al., 2011).

Although some studies have shown that strength training increases the force per unit of muscle mass in elderly people (Tracy et al., 1999; Reeves et al., 2004), no studies have investigated the effects of performing endurance training prior to or after strength training for this neuromuscular parameter. In the present study, both concurrent training protocols with different intra-session exercise sequences resulted in enhanced muscle quality. However, the increase was significantly higher in the SE group than in the ES group (27 vs. 15%,  $P<0.02$ ). Since muscle quality provides an estimate of the contribution of neural factors associated with changes in strength (Tracy et al., 1999), the superior changes observed in the SE group over the ES group may be related to a greater magnitude of neural adaptations. To reinforce this speculation, no difference was observed between the groups in the magnitude of increases in the quadriceps femoris muscle thickness (Table 3). These results are in agreement with those of Cadore et al. (2010), who observed that lower strength gains induced by concurrent training (i.e., the interference effect) occurred in parallel with lower adaptations in the maximal muscle activation (i.e., electromyographic amplitude) when compared with strength training alone. It should be highlighted that in the study of Cadore et al. (2010), subjects performed the same concurrent training regime as in the present study, but with endurance training always performed prior to strength training. In fact, it has been shown that aerobic exercise performed on a cycle ergometer at the  $VT_2$  intensity might acutely impair isometric and concentric force production (Lepers et al., 2001). The residual fatigue from a previous aerobic session might cause a reduction in subsequent strength performance by compromising neuromuscular function (García-Pallares and Izquierdo, 2011). With both types of concurrent training performed at the same volume and the same physiological intensity (i.e., repetitions to failure in each set), the SE sequence produced more enhancements in the force per unit of muscle mass.

A possible limitation of the present study was the absence of comparisons between the two concurrent training regimes with groups that performed strength or endurance training alone. However, we have previously shown that the same concurrent training regime resulted in an interference effect in strength adaptations (Cadore et al., 2010). Thus, in the present study, we aimed to compare two ways of prescribing strength and endurance exercises in the same concurrent training session (i.e., SE and ES).

In summary, the intra-session exercise sequence had little influence on endurance marker adaptations to concurrent training in elderly subjects, as shown by the similar magnitude observed in the maximal aerobic power, maximal workload, and workload at the anaerobic threshold. In contrast, the intra-session exercise order influenced neuromuscular performance since a significantly greater improvement in the force per unit of muscle mass was observed in the group that performed strength training prior to endurance training. In view of the present finding, we

suggest that the volume, intensity and frequency of concurrent training performed in the present study produce no significant differences in the maximal endurance adaptations between SE and ES sequences. However, with the concurrent training approach, lower muscle quality gains may be obtained in the group that performed endurance training prior to resistance training. In the elderly, an optimal concurrent training prescription should include an intra-session exercise sequence of strength training prior to endurance training. From a practical point of view, given the relationship identified between functional capacity and force per unit of muscle mass, performing strength training prior to endurance training may be more beneficial to improve functional activities in elderly populations.

## Acknowledgments

The authors thank specially to FAPERGS, CAPES and CNPq Brazilian Government Associations for its support to this project. The authors also are indebted to the Spanish Ministry of Health, Institute Carlos III, Department of Health of the Government of Navarra and Government of Spain, Consejo Superior de Deportes, for financing this research with grants RD06/013/1003 and 87/2010 and 008/EPB10/11, respectively. We also gratefully acknowledge all the subjects who participated in this research and made this project possible.

## References

- ACSM. American College of Sports Medicine, 2011. 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.* 26, 1334–1359.
- Bell, G.J., Syrotuik, D., Martin, T.P., Burnham, R., Quinney, H.Á., 2000. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81, 418–427.
- Cadore, E.L., Pinto, R.S., Lhullier, F.L.R., Correa, C.S., Alberton, C.L., Pinto, S.S., Almeida, A.P.V., Tartaruga, M.P., Silva, E.M., Krueel, L.F.M., 2010. Physiological effects of concurrent training in elderly men. *Int. J. Sports Med.* 31, 689–697.
- Cadore, E.L., Pinto, R.S., Lhullier, F.L.R., Correa, C.S., Alberton, C.L., Pinto, S.S., Almeida, A.P.V., Tartaruga, M.P., Silva, E.M., Krueel, L.F.M., 2011a. Effects of strength, endurance and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. *J. Strength Cond. Res.* 25, 758–766.
- Cadore, E.L., Pinto, R.S., Alberton, C.L., Pinto, S.S., Lhullier, F.L.R., Tartaruga, M.P., Correa, C.S., Almeida, A.P.V., Silva, E.M., Laitano, O., Krueel, L.F.M., 2011b. Neuromuscular economy, strength and endurance in healthy elderly men. *J. Strength Cond. Res.* 25, 997–1003.
- Chitara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., Millet, G.P., Amri, M., 2005. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Br. J. Sports Med.* 39, 555–560.
- Frontera, W.R., Suh, D., Krivickas, L.S., Hughes, V.A., Goldstein, R., Roubenoff, R., 2000. Skeletal muscle fiber quality in older men and women. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 279, C611–C618.
- García-Pallares, J., Izquierdo, M., 2011. Strategies to optimize concurrent training of strength and aerobic fitness for rowing and canoeing. *Sports Med.* 41, 329–343.
- García-Pallares, J., García-Fernández, M., Sánchez-Medina, L., Izquierdo, M., 2010. Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *Eur. J. Appl. Physiol.* 11, 99–107.
- García-Pallares, J., Sánchez-Medina, L., Pérez, C.E., Izquierdo-Gabarrén, M., Izquierdo, M., 2010. Physiological effects of tapering and detraining in world-class kayakers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42, 1209–1214.
- Granacher, U., Gruber, M., Gollhofer, A., 2010. Force production capacity and functional reflex activity in young and elderly men. *Aging Clin. Exp. Res.* 22, 374–382.
- Gravelle, B.L., Blessing, D.L., 2000. Physiological adaptation in women concurrently training for strength and endurance. *J. Strength Cond. Res.* 14, 5–13.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., 1998. Muscle CSA-force production, and activation of leg extensors during isometric and dynamic actions in middle-aged and older people. *JAPA* 6, 232–247.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., Newton, R.U., Kraemer, W.J., 2000. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83, 51–62.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W.J., Gorostiaga, E.M., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J., Paavolainen, L., 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *J. Appl. Physiol.* 89, 42–52.
- Hartman, M.J., Fields, D.A., Byrne, N.M., Hunter, G.R., 2007. Resistance training improves metabolic economy during functional tasks in older adults. *J. Strength Cond. Res.* 21, 91–95.
- Heyward, V.H., Stolarczyk, L.M., 2001. Avaliação da composição corporal aplicada. Manole, São Paulo. pp. 99–105.
- Holviala, J., Häkkinen, A., Karavirta, L., Nyman, K., Izquierdo, M., Gorostiaga, E.M., Avela, J., Korhonen, J., Knuutila, V.-P., Kraemer, W.J., Häkkinen, K., 2010. Effects of combined strength and endurance training on treadmill load carrying walking performance in aging men. *J. Strength Cond. Res.* 24, 1584–1595.
- Holviala, J., Kraemer, W.J., Sillanpää, E., Karpinen, H., Avela, J., Kauhanen, A., Häkkinen, A., Häkkinen, K., 2011. Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *Eur. J. Appl. Physiol.* doi:10.1007/s00421-011-2089-7 ahead of print.
- Ivey, F.M., Tracy, B.L., Lemmer, J.T., NessAiver, M., Metter, E.J., Fozard, J.L., Hurley, B.F., 2000. 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–B159.
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Antón, A., Garrues, M., Ibañez, J., Ruesta, M., Gorostiaga, E.M., 2001. Maximal strength and power, endurance performance, and serum hormones in middle-aged and elderly men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33, 1577–1587.
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Ibañez, J., Antón, A., Garrués, M., Ruesta, M., Gorostiaga, E.M., 2003. Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. *J. Strength Cond. Res.* 17, 129–139.
- Izquierdo, M., Ibañez, J., Häkkinen, K., Kraemer, W.J., Larrión, J.L., Gorostiaga, E.M., 2004. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36, 435–443.
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Ibañez, J., Kraemer, W.J., Gorostiaga, E.M., 2005. Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 94, 70–75.
- Izquierdo-Gabarrén, M., Expósito, R.G.T., García-Pallares, J., Sanches-Medina, L., Villarreal, E.S.S., Izquierdo, M., 2010. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42, 1191–1199.
- Jackson, A.S., Pollock, M.L., 1978. Generalized equations for predicting body density of men. *Br. J. Nutr.* 40, 497–504.
- 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.
- Karavirta, L., Tulppo, M.P., Laaksonen, D.E., Nyman, K., Laukkanen, R.T., Kinnunen, H., Häkkinen, A., Häkkinen, K., 2009. Heart rate dynamics after combined endurance and strength training in older men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41, 1436–1443.
- Karavirta, L., Häkkinen, A., Sillanpää, E., Garcia-Lopez, D., Kauhanen, A., Haapasari, A., Alen, M., Pakarinen, A., Kraemer, W.J., Izquierdo, M., Gorostiaga, E.M., Häkkinen, K., 2011. Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40–67-year-old men. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 21, 402–411.
- 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.
- Kraemer, W.J., Patton, J.F., Gordon, S.E., Harman, E.A., Deschenes, M.R., Reynolds, K., Newton, R.U., Tripplet, N.T., Dziados, J.E., 1995. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol.* 78, 976–989.
- Lepers, R., Millet, G.Y., Maffuletti, N.A., 2001. Effect of cycling cadence on contractile and neural properties of knee extensors. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33, 1882–1888.
- Misic, M.M., Evans, E.M., 2007. Muscle quality, aerobic fitness and fat mass predict lower-extremity physical function in community-dwelling older adults. *Gerontol.* 53, 260–266.
- Narici, M.V., Maganaris, C., Reeves, N., 2005. Myotendinous alterations and effects of resistive loading in old age. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 15, 392–401.
- Reeves, N.D., Narici, M.V., Maganaris, C.N., 2004. Effect of resistance training on skeletal muscle-specific force in elderly humans. *J. Appl. Physiol.* 96, 885–892.
- Seene, T., Kaasik, P., Riso, E.-M., 2011. Review on aging, unloading and reloading: Changes in skeletal muscle quantity and quality. *Arch. Gerontol. Geriatr.* doi:10.1016/j.archger.2011.05.002 ahead of print.
- Sillanpää, E., Häkkinen, A., Punnonen, K., Häkkinen, K., Laaksonen, D.E., 2009. Effects of strength and endurance training on metabolic risk factors in healthy 40–65-year-old men. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 19, 885–895.
- 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-year-old men and women. *J. Appl. Physiol.* 86, 195–201.
- Wood, R.H., Reyes, R., Welsch, M.A., Favarolo-Sabatier, J., Sabatier, M., Lee, C.M., Johnson, L.G., Hooper, P.F., 2001. Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33, 1751–1758.

# Adaptações neuromusculares ao treinamento de força e concorrente em homens idosos

## *Neuromuscular adaptations to strength and concurrent training in elderly men*

Eduardo Lusa Cadore<sup>1</sup>  
Ronei Silveira Pinto<sup>1</sup>  
Luiz Fernando Martins Kruehl<sup>1</sup>

**Resumo** – O objetivo desse estudo foi revisar os resultados acerca das adaptações neuromusculares ao treinamento de força (TF) e concorrente (TC) em homens idosos. Foram consultadas as bases de dados da Pubmed, Scopus e Scielo de 1980 a 2012. A partir dessa busca, 3390 artigos tiveram seus títulos avaliados e 127 foram selecionados para uma segunda análise para leitura dos abstracts. Destes, 92 artigos foram lidos completamente e 25 artigos foram selecionados e tiveram seus resultados descritos. Diversos estudos demonstraram que idosos submetidos ao TF apresentam aumento na força, potência, ativação e massa muscular. A melhora na força decorrente do TF pode ser explicada através de adaptações neurais e morfológicas. As principais adaptações neurais ao TF consistem no aumento no recrutamento das unidades motoras (UMs), bem como no aumento na frequência de disparo das UMs. Já as adaptações morfológicas incluem o aumento da área de secção transversa (AST) fisiológica muscular, bem como no aumento na espessura muscular, ângulo de penação das fibras e modificações nas isoformas de cadeia pesada de miosina e conversão de fibras do subtipo IIX para IIa. Recomenda-se a inclusão do TF de intensidade moderada a alta (65-85% da força máxima) na rotina dessa população para a melhora da função neuromuscular. Embora o TC promova adaptações neuromusculares significativas, a magnitude dessas adaptações pode ser inferior quando comparada ao TF. Apesar de o TC resultar em interferência nas adaptações neuromusculares, o TC também promove melhora na função cardiovascular, sendo essa intervenção mais recomendada para promoção da saúde em idosos.

**Palavras-chave:** Adaptações neurais; Envelhecimento; Massa muscular; Treinamento físico.

**Abstract** – *This paper aimed to review the results of studies on neuromuscular adaptations to strength training (ST) and concurrent training (CT) in elderly men. A literature search was conducted using PubMed, Scopus, and SciELO. The search was limited to studies published from 1980 to 2012. A total of 3,390 articles were retrieved. After reading their titles, 127 studies were further evaluated by reading their abstracts. This resulted in 92 papers that were read in full; 25 of these were selected and their results were described in the present review. Several studies showed that, in elderly subjects, ST can produce increases in muscle strength, power, activation and mass. ST-induced strength gain may be explained by neural and morphological adaptations. The main neural adaptations to ST included increased recruitment of motor units and increased motor unit firing rate. Morphological adaptations included increases in the physiological cross-sectional area (CSA) of the muscle, in muscle thickness, in muscle fiber pennation angle, and changes in muscle myosin heavy-chain isoforms, resulting in the conversion of muscle fiber from subtype IIX to IIa. The inclusion of moderate-to-high intensity (60-85% of maximum strength) ST in the routine of this population is recommended to improve neuromuscular function. CT can promote significant neuromuscular adaptations, but these gains may be of a lower magnitude than those obtained with ST. Although CT has an interference effect on neuromuscular adaptations, it also promotes improvement in cardiovascular function and is therefore the most frequently recommended intervention for health promotion in the elderly.*

**Key words:** Aging; Muscle mass; Neural adaptations; Physical training

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Educação Física. Laboratório de Pesquisa do Exercício. Porto Alegre, RS, Brasil

Recebido em 12/09/11  
Revisado em 05/01/12  
Aprovado em 11/03/12



Licença  
Creative Commons

## INTRODUÇÃO

Indivíduos idosos submetidos ao treinamento de força (TF) apresentam aumento significativo na força muscular<sup>1-4</sup>, potência muscular<sup>5,6</sup>, ativação muscular<sup>7-11</sup> e massa muscular<sup>12,13</sup>. A melhora na força muscular decorrente do treinamento de força nessa população aparenta ser semelhante<sup>14-16</sup> do que à observada em indivíduos jovens, o que lhe confere grande treinabilidade, apesar do prejuízo na função neuromuscular decorrente do envelhecimento<sup>9</sup>.

Já o treino concorrente, que consiste na execução do treinamento de força simultaneamente ao treinamento aeróbio<sup>17-20</sup>, pode resultar em adaptações neuromusculares de magnitude inferior à obtida pelo treino de força isolado. Isso tem sido demonstrado por estudos que encontraram menor aumento na força muscular quando o treino aeróbio foi executado simultaneamente ao treino de força<sup>15,17</sup>. Além disso, estudos comparando os treinos de força e concorrente têm demonstrado diferentes adaptações na ativação<sup>15</sup> e massa muscular<sup>17</sup>. No entanto, um reduzido número de estudos comparou as adaptações neuromusculares decorrentes dos treinamentos de força e concorrente em idosos e os seus resultados são controversos e inconclusivos<sup>15,19-20</sup>, com alguns estudos observando adaptações semelhantes entre os tipos de treinamento<sup>19-20</sup>, enquanto outros observaram maior magnitude de adaptação ao treino de força<sup>15,18</sup> em idosos. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi revisar os resultados dos estudos que investigaram as adaptações neuromusculares aos treinamentos de força e concorrente em homens idosos.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para elaboração da presente revisão, foram consultadas as bases de dados da Pubmed, Scopus e Scielo no período de 1980 a 2012, com as seguintes palavras chave: strength training in elderly, resistance training in elderly, concurrent training, neuromuscular adaptations, hypertrophy, bem como as palavras correspondentes em português. A partir dessa busca, 3390 artigos tiveram seus títulos avaliados. Foram selecionados para uma segunda análise 127 artigos, que tiveram seus abstracts lidos. Destes, 92 artigos foram lidos na íntegra e 25 artigos foram selecionados e tiveram seus resultados descritos nessa revisão. Os critérios gerais de inclusão foram baseados nas recomendações de Campbell e Stanley<sup>21</sup>, que incluíram: (a) estudos randomizados; (b) estudos utilizando instrumentos com alta reprodutibilidade e validade; (c) estudos com mínima perda amostral; (d) estudos com a metodologia de treinamento de força, concorrente ou ambos detalhada; e, (e) estudos nos quais os testes de força, bem como os mecanismos de aumento de força (i.e., neurais e/ou morfológicos) foram avaliados antes e depois do período de treinamento. Especificamente com relação ao treino de força, foram selecionados os artigos sobre treinamento de força em idosos que submeteram homens saudáveis de 60 anos ou mais a diferentes períodos do treinamento de força, avaliaram modificações

decorrentes do treinamento na força muscular dinâmica ou isométrica, na ativação muscular através do sinal eletromiográfico e na massa muscular através de métodos de imagem como ressonância magnética, ultrasonografia, tomografia computadorizada ou biópsia muscular. Especificamente em relação ao treinamento concorrente, foram selecionados os artigos que investigaram esse tipo de intervenção em idosos saudáveis de 60 anos ou mais a diferentes períodos do treinamento, estabelecendo uma comparação entre as adaptações ao treinamento de força e concorrente.

## TREINAMENTO DE FORÇA EM IDOSOS

O treinamento de força (TF) é uma intervenção efetiva para o aumento na força<sup>1-3,6</sup>, potência<sup>6,13,21</sup>, ativação<sup>7,8,10,13,15</sup> e massa muscular<sup>2,6,8,11,16</sup>. Adaptações na função neuromuscular decorrente do treinamento de força nessa população aparenta ser semelhante do que em indivíduos jovens<sup>16</sup>, e essas adaptações resultam em melhora significativa na capacidade funcional dessa população<sup>22</sup>.

### Efeitos na produção de força e potência muscular

No Quadro 1 são apresentados as características do programa de treinamento e os resultados de alguns estudos que investigaram os efeitos do treino de força na função neuromuscular em homens idosos.

Os resultados sugerem que estudos utilizando 2 - 6 séries (aumento de volume progressivo durante a periodização), com intensidades variando de 40 a 80% da força máxima (i.e., 1 repetição máxima - 1RM), com 2 sessões semanais em períodos de 12 a 24 semanas, observaram incrementos médios na força muscular dinâmica de 30%<sup>10-13,23</sup>, bem como na força muscular isométrica de 10-60%<sup>7,10-13</sup>. Maiores incrementos na força muscular dinâmica podem ser observados com o aumento do número de sessões semanais<sup>15</sup>. Em estudo de Cadore et al.<sup>15</sup>, foi observado aumento de 67% na força dinâmica máxima em homens idosos que treinaram 3 vezes por semana durante 12 semanas, o qual o volume/intensidade inicial foi de 20 repetições máximas (RM), sendo de 6 - 8 RM na fase final do período de treino.

Um aspecto que influencia as adaptações neuromusculares ao TF em homens idosos é a especificidade das ações musculares. Em estudo de Häkkinen et al.<sup>8</sup>, homens idosos foram divididos em grupos de treino unilateral e bilateral, sendo ambos avaliados na força máxima bilateral e unilateral. Foram observados aumentos na força bilateral do quadríceps de todos os indivíduos, com maior aumento relativo para o grupo que treinou bilateralmente (19 vs. 13%), bem como na força unilateral, sendo maior aumento relativo para o grupo que treinou unilateralmente (17 vs. 10%).

Cabe salientar, relativamente ao método de treino utilizado, a importância da execução de parte das séries com ações musculares explosivas durante o treinamento, visando modificações relacionadas à produção de força rápida em indivíduos idosos, já que variáveis relacionadas à potência muscular ou à taxa de produção de força possuem estreita relação com a

capacidade funcional em idosos<sup>2,22</sup>. Em estudos de Bottaro et al.<sup>22</sup> e Nogueira et al.<sup>6</sup>, foram observados incrementos significativos na produção de força rápida nos idosos que treinaram em alta velocidade de execução e nenhum incremento nessa capacidade nos idosos que treinaram somente com ações musculares lentas.

Os resultados dos estudos supracitados demonstram claramente a capacidade de aumento na força muscular em indivíduos idosos<sup>6,12-15</sup>. Diferenças na magnitude de aumento na força nos diferentes estudos podem ter ocorrido devido a fatores como condicionamento físico inicial da amostra, tempo de treinamento e intensidade fisiológica das séries (repetições máximas vs. repetições submáximas). A importância do treinamento de força e a consistência de seus efeitos nessa população podem ser observadas, já que mesmo após períodos de destreino, a força muscular ainda permanece maior do que a registrada anteriormente ao período de treinamento<sup>12</sup>.

### Mecanismos fisiológicos responsáveis pelo aumento na força muscular

A melhora na força muscular decorrente do TF pode ser explicada a partir de adaptações neurais e morfológicas. As principais adaptações neurais ao TF consistem no aumento na capacidade de recrutamento nas unidades motoras, bem como no aumento na frequência de disparo dessas unidades motoras<sup>5,7</sup>. Entre os métodos de avaliação das adaptações neurais ao treino de força, o mais comum é a quantificação da amplitude do sinal eletromiográfico (EMG)<sup>5,7,17</sup>, já que um aumento nas unidades motoras recrutadas, bem como na sua frequência de disparo resultam em aumento na amplitude desse sinal<sup>9-15</sup>. Outras adaptações neurais sugeridas para explicar o aumento da força máxima são a redução da coativação dos músculos antagonistas<sup>11</sup>, além da inibição da ativação do órgão tendinoso de Golgi durante a produção de tensão máxima do músculo. Ainda, um maior sincronismo de fibras musculares, embora não seja sugerido como fator importante para a melhora da força máxima, resulta em um menor tempo de obtenção da força máxima, sendo, portanto, um mecanismo responsável pelo aumento na taxa de produção de força<sup>9-11</sup>.

Já as adaptações morfológicas ao TF incluem o aumento da área de secção transversa fisiológica (AST) da fibra muscular<sup>17,24</sup>, o que resulta no aumento na AST do músculo<sup>13</sup>, bem como no aumento na espessura muscular<sup>6</sup> e uma modificação entre as isoformas de cadeia pesada de miosina, o que ocorre a partir de uma conversão de fibras do subtipo IIX para o subtipo IIa<sup>17,24</sup>. Modificações na AST da fibra são comumente avaliadas a partir de técnicas histoquímicas realizadas após biópsia muscular<sup>17</sup>, enquanto modificações na AST total do músculo e na espessura muscular são avaliadas a partir de técnicas de imagem como ressonância magnética<sup>23</sup>, tomografia computadorizada<sup>9</sup> ou ultrasonografia<sup>6,13</sup>.

### Efeitos na ativação muscular

Diversos estudos têm demonstrado aumento da amplitude do sinal EMG paralelamente ao aumento de força observado<sup>7,8,12,15</sup>, geralmente investi-

gando a amplitude do sinal eletromiográfico (EMG) dos músculos vasto lateral, vasto medial e reto da coxa, como indicador da ativação muscular do quadríceps em homens idosos.

Os incrementos no sinal EMG são mais proeminentes nas primeiras 4 a 8 semanas, fase de treinamento em que ocorrem preferencialmente adaptações neurais<sup>7,8,10</sup>. Da mesma forma que o aumento na força muscular, adaptações no sinal EMG seguem um padrão de especificidade, com maior aumento no sinal EMG em contrações bilaterais observados como adaptação ao treino bilateral (19 vs. 10%), bem como maior aumento em contrações unilaterais observados como adaptação ao treino unilateral (9 vs. 7%)<sup>8</sup>. Ainda, uma estreita relação pode ser observada entre os incrementos na força muscular e na magnitude do sinal EMG, evidenciando a importância das adaptações neurais nas primeiras semanas de treinamento ( $r = 0,59 - 0,65$ ;  $P < 0,05$ )<sup>8,12</sup>.

Uma variável relacionada ao sinal EMG, importante na avaliação das adaptações neurais ao TF, é a taxa de aumento do sinal EMG em determinados intervalos (i.e., 100ms, 500ms), o que evidencia uma melhora na capacidade de recrutamento rápido de um grupo muscular. Contudo, a exemplo da taxa de produção de força, essas variáveis aparentam ser incrementadas somente quando ações musculares explosivas são agregadas ao treino<sup>10</sup>.

Outro adaptação neural decorrente do TF é a melhora na economia neuromuscular<sup>15,18,25</sup>. Em estudo prévio do nosso laboratório, Cadore et al.<sup>15</sup> observaram uma redução no sinal EMG normalizado a 40, 60 e 80% da força máxima isométrica (CIVM) pré treinamento no vasto lateral e 60 e 80% no reto da coxa, após o TF em indivíduos idosos. Esses resultados sugerem que para a mesma carga absoluta, os indivíduos necessitaram de um menor número de unidades motoras após o treinamento.

Com base nos resultados dos estudos supracitados pode-se inferir que o treinamento de força resulta em um aumento na amplitude do sinal EMG máximo em homens idosos<sup>7,8,13,15,23</sup>, bem como numa redução no sinal EMG normalizado para a mesma carga submáxima (Quadro 1). Esse aumento está relacionado com adaptações neurais ao treinamento de força, já que esse aumento ocorre paralelamente ao aumento na força máxima<sup>7-15</sup>.

## Efeitos na massa muscular

Diversos estudos têm demonstrado incrementos importantes na massa muscular em indivíduos idosos. Embora a capacidade de aumento na massa muscular nessa população possa ser menor quando comparada a de indivíduos jovens<sup>16</sup>, estudos têm demonstrado aumentos entre 5 e 14% da AST e espessura muscular do quadríceps femoral nessa população em períodos de treinamento que variam de 10 a 24 semanas<sup>6-8,23</sup>.

Os resultados dos estudos revisados sugerem que existe uma preservação do potencial de hipertrofia muscular em indivíduos idosos, embora esse potencial seja inferior ao observado em indivíduos jovens<sup>16</sup>, diferentemente do que ocorre com potencial de aumento na força muscular (semelhante

entre jovens e idosos). Essa hipertrofia pode ser observada mesmo em estudos com TF de curta duração (i.e., 10 semanas)<sup>16,23</sup>, com periodização linear<sup>7</sup> ou ondulatória<sup>16</sup>, frequência semanal de duas<sup>6</sup> a três sessões por semana<sup>23</sup>, cargas moderadas a altas (60 a 90% de 1 RM) e múltiplas séries<sup>12,16,23</sup>(Quadro 1).

**Quadro 1.** Adaptações neuromusculares ao treinamento de força.

Autor	Período e Frequência	Volume e intensidade	Resultados
Häkkinen e Häkkinen <sup>7</sup>	12 sem; 2x/sem	2-5 séries de 3 - 15 repetições (30-90% de 1RM) 30 - 80% de 1RM. Contrações lentas e explosivas.	↑PT (20%)*; ↑EMG VL, VM e RC (~20%)*; ↑AST QF (9%)*.
Häkkinen et al. <sup>8</sup>	12 sem; 2x/sem	2-6 séries de 8-15 repetições (40-90% de 1RM) unilateral (UNI) e bilateral (BIL). Contrações lentas e explosivas.	maior* ↑1RM grupo BIL (19 vs. 13%)*; maior* ↑1RM unilateral grupo UNI (17 vs. 10%)*; ↑EMG bilateral grupo BIL (19 vs. 13%)*; ↑EMG unilateral grupo UNI (9 vs. 7%)*; ↑AST QF em ambos grupos (11-14%)*.
Häkkinen et al. <sup>10</sup>	24 sem; 2x/sem	3-5 séries de 3-15 repetições (50-90% de 1RM). Contrações lentas e explosivas (20%).	↑1RM (21%)*; ↑PT (36%)*; ↑TPF (40%)*; ↑SJ (24%)*; ↑EMG* VL e VM Sem ↑AST QF (2%, NS).
Kraemer et al. <sup>16</sup>	10 sem; 3x/sem	periodização ondulatória: 2-5 séries de 3-5RM; 8-10RM e 12-15RM.	↑1RM (10%)*; ↑AST QF (6%)*.
Häkkinen et al. <sup>11</sup>	10 sem; 2x/sem	3-5 séries de 3-15 repetições (50-90% de 1RM). Contrações lentas e explosivas (20%).	↑PT (16%)*; ↑EMG* VL e VM; ↑AST QF (8,5%)*; ↑AST* fibras I e II.
Häkkinen et al. <sup>12</sup>	24 sem; 2x/sem	3-6 séries de 6-15 repetições (50-80% de 1RM). Contrações lentas e explosivas.	↑1RM (29%)*; ↑EMG* VL e VM; ↑SJ (22%)*; ↑AST QF (7%)*.
Häkkinen et al. <sup>13</sup>	24 sem; 2x/sem	3-5 séries de 6-15 repetições (50-80% de 1RM). Contrações lentas e explosivas.	↑PT (36%)*; ↑EMG* VL e VM; ↑TPF (40%)*; ↑1RM (21%)*; Sem modificações na AST fibras I e II.
Izquierdo et al. <sup>2</sup>	16 sem; 2x/sem	3-5 séries de 6-15 repetições (50-80% de 1RM). Contrações lentas e explosivas.	↑1RM (25-41%)*; ↑PT (26%)*; ↑potência de 20 a 80% de 1RM (15-60%)*; ↑AST QF (11%)*.
Häkkinen et al. <sup>1</sup>	24 sem; 2x/sem	3-5 séries de 6-15 repetições (50-80% de 1RM). Contrações lentas e explosivas (20%).	↑1RM (21%)*; ↑AST* fibras I, IIa e IIX.
Bottaro et al. <sup>22</sup>	10 sem; 2x/sem	3 séries de 8 a 10 repetições (40 a 60% de 1RM); contrações lentas (CL) vs. explosivas (CE)	↑1RM (25%)* nos 2 grupos; ↑potência a 60% d 1RM, maior em CE (31 vs. 8%)*. Maior aumento em CE também observados nos testes 8 ft-up-and-go (15 vs. 0.8%)* e 30s chair stand (43 vs. 6%)*
Cannon et al. <sup>23</sup>	10 sem; 2x/sem	3 séries de 10 repetições (50-75% de 1RM).	↑PT (18%)*; ↑EMG* VL e VM (21%)*; ↑AST QF (11%)*.
Slivka et al. <sup>3</sup>	12 sem; 3x/sem	3 séries de 10 repetições (~70% de 1RM).	↑1RM (41%)*; ↑AST QF (2%)*.
Nogueira et al. <sup>6</sup>	10 sem; 2x/sem	3 séries de 8 a 10 repetições (40 a 60% de 1RM); contrações lentas (CL) vs. explosivas (CE)	↑1RM (25%)* nos 2 grupos; ↑ espessura do RC somente em CE (11%)* e do BIC em CE (14%)* e CL (6,7%)*.
Raj et al. <sup>4</sup>	16 sem; 2x/sem	TF 2 séries de 10 repetições (75% 1RM) vs. 3 séries de 10 repetições (50% 1RM) com a fase excêntrica realizada UNI.	↑1RM (23%)* nos 2 grupos; ↑ espessura do VL somente no grupo com ênfase excêntrica UNI (5%)*.

↑, aumento; min, minutos; 1RM, 1 repetição máxima; PT, pico de torque isométrico; SJ, squat jump; AST, área de secção transversal; QF, quadríceps femoral; VL, vasto lateral; VM, vasto medial; RC, reto da coxa; BIC, bíceps braquial; sem, semanas; x/sem, número de treinos por semana; TF, treinamento de força; EMG, sinal eletromiográfico; TPF, taxa máxima de produção de força; \*P<0,05; \*\*P<0,01; \*\*\*P<0,001; NS, não significativo.

## TREINAMENTO CONCORRENTE EM IDOSOS

A literatura nos mostra resultados controversos a respeito dos efeitos do treino aeróbio (TA) realizado simultaneamente ao TF nos ganhos de força e potência muscular em diversas populações (homens ou mulheres, jovens ou idosos, atletas ou sedentários). Alguns estudos demonstraram que o TA pode reduzir o ganho de força e potência decorrentes do TF quando ambos os tipos de treino são executados simultaneamente (i.e., treinamento concorrente) e esse efeito têm sido denominado de “efeito de interferência”<sup>17,26-28</sup>. Por outro lado, diversos outros estudos observaram ganhos semelhantes na força muscular comparando o TF com o treino concorrente (TC)<sup>19,20,29-31</sup>. Apesar de diversos estudos terem sido realizados investigando indivíduos jovens, poucos investigaram o desempenho da força e capacidade aeróbica do treino concorrente em indivíduos idosos<sup>19,20,29,32,33</sup>. A vantagem da prescrição do treinamento concorrente, é que mesmo que ocorra interferência nos ganhos de força ou potência, esse tipo de treinamento apresenta os mesmos ganhos de capacidade aeróbica que o treino aeróbico isolado<sup>17,18,27,29</sup>.

### Efeitos na força muscular

Na Quadro 2 são apresentados as características do programa de treinamento e os resultados de alguns estudos que compararam os efeitos do treino de força e concorrente na função neuromuscular em homens idosos.

Em estudo realizado por Wood et al.<sup>29</sup>, indivíduos idosos foram submetidos ao TF e TC durante 12 semanas, com o grupo de TF executando 2 séries e o grupo de TC executando apenas 1 série. Esses autores observaram aumento semelhante na força muscular em ambos os grupos (38-44%). Em outro estudo, Izquierdo et al.<sup>19</sup> investigaram homens idosos após 16 semanas de treinamento, com o grupo de TF executando 2 sessões por semana e o grupo de TC executando uma sessão por semana de TF e outra de TA em cicloergômetro. Não foram observadas diferenças nas adaptações na força muscular entre o TF e o TC, sugerindo um efeito sinérgico do TA no ciclo ergômetro com o TF (grupo TC), o que resultou nos mesmos ganhos comparados ao TF. Contudo, nos estudos de Wood et al.<sup>29</sup> e Izquierdo et al.<sup>19</sup>, os grupos de TC treinaram menos séries por exercício do que os grupos de TF, o que dificulta comparações dos ganhos entre TF e TC.

Utilizando o mesmo volume de treinamento para os grupos de TF e TC durante 21 semanas com frequência semanal de 2 vezes por semana, volume variando de 2 - 4 séries e cargas de 40 a 80% de 1RM, Karavirta et al.<sup>20</sup> observaram ganhos similares de força dinâmica e isométrica entre os grupos. Em outros estudos utilizando periodizações de treinamento e frequência semanal similares<sup>34-37</sup> ganhos semelhantes de força foram observados entre o TF e TC.

Já em estudos no nosso Laboratório, Cadore et al.<sup>15</sup>, observaram um ganho de força dinâmica superiores no grupo de força (67%) compa-

rado ao grupo concorrente (41%) após 12 semanas de treinamento, o que não foi observado em exercício para membros superiores (31 vs. 33%, respectivamente), sugerindo que o TA interferiu negativamente somente quando o mesmo grupo muscular foi envolvido em ambos tipos de treinamento. Cabe salientar, não obstante, que mesmo encontrando interferência do TA nos ganhos do TF, ainda assim os incrementos na força muscular observados no grupo de TC nesse estudo foram semelhantes ou superiores aos ganhos de força observados nos estudos investigando idosos supracitados: 21 – 44%<sup>20,29,35-37</sup>, o que pode ser justificado pela maior frequência semanal (3 vezes por semana). Nesse estudo foi especulado que a fadiga resultante do TA tenha sido o fator responsável pelo efeito de interferência observado, já que o TA foi sempre executado antes do TF<sup>15</sup>. Sendo assim, em outro estudo Cadore et al.<sup>32</sup> investigaram o efeito da ordem do treinamento nas adaptações neuromusculares ao TC em idosos e observaram um ganho de força 50% superior no grupo que executava o TF antes do TA (35 vs. 22%;  $P < 0,01$ ). Esses resultados sugerem que com uma maior frequência semanal, os ganhos neuromusculares podem ser otimizados quando o TF é executado antes do TA.

Baseados nos resultados observados com relação ao treinamento concorrente em idosos, pode-se inferir que: (I) realizando o mínimo de frequência semanal de treinamento (1 vez por semana TF + 1 vez por semana TA), o TA executado em ciclo ergômetro pode ter um efeito sinérgico com o TF<sup>19</sup>; (II) frequência semanal de 2 vezes por semana não resulta em efeito de interferência<sup>33-37</sup>; (III) frequência semanal de 3 vezes por semana otimiza os ganhos de força mas resulta em interferência<sup>15</sup>; e, (IV) a interferência observada com a frequência semanal de 3 vezes por semana é relacionada a fadiga resultante do TA quando esse é realizado imediatamente antes do TF e a manipulação da ordem dos exercícios pode prevenir o efeito de interferência quando o TF antecede o TA<sup>32</sup>.

Entre os mecanismos apontados como responsáveis pela interferência do TA no desenvolvimento da força muscular decorrente do TF estão a interferência nas adaptações neurais, o baixo conteúdo de glicogênio e consequente estado catabólico crônico levando ao overtraining e a interferência no turnover protéico das fibras utilizadas em ambos os tipos de treinamento, o que induz a uma menor magnitude de hipertrofia muscular, especialmente nas fibras do tipo I e à fadiga ocasionada pelo treino aeróbico anterior ao treinamento de força, comprometendo a performance no mesmo<sup>38</sup>.

### Efeitos na ativação muscular

Poucos estudos investigaram as adaptações no sinal EMG decorrentes do treino concorrente e, em indivíduos jovens, nenhuma diferença nas adaptações no sinal EMG máximo tem sido observada entre os treinos de força e concorrente<sup>30</sup>, embora interferência tenha sido observada nos ganhos na ativação muscular rápida<sup>39</sup>. Por outro lado em indivíduos idosos, apesar de

resultados controversos, um prejuízo nas adaptações neurais parece explicar o efeito de interferência quando o mesmo ocorre nessa população<sup>15,32</sup>.

Investigando indivíduos idosos, Karavirta et al.<sup>20</sup> demonstraram ganhos na EMG máxima significativamente maiores no grupo de TF comparado ao TC nos músculos vasto lateral e vasto medial após 10 semanas (41 vs 18% e 35 vs. 11%, respectivamente), ao passo que após 21 semanas as diferenças não se mantiveram, sendo observado o mesmo incremento nesses dois grupos. Da mesma forma que os valores de força supracitados, em outros estudos que utilizaram periodizações de treinamento e frequência semanal similares nenhuma diferença nas adaptações neurais foi observada entre os grupos de TF e TC<sup>33-37</sup>.

Já em estudo de Cadore et al.<sup>15</sup> foi observado aumento significativo na amplitude do sinal EMG somente em resposta ao TF isolado (33%), sendo que esse aumento foi significativamente maior do que o observado após o TC (16%). Cabe salientar que essas diferenças ocorreram em paralelo com as diferenças nos ganhos de força dinâmica citados anteriormente (67 vs. 41% em TF e TC, respectivamente). Esses resultados sugerem que o efeito de interferência ocorreu devido a um prejuízo promovido pelo TA nas adaptações neurais ao TF. Já Cadore et al.<sup>32</sup> observaram maior aumento força por unidade de massa muscular (i.e., qualidade muscular ou tensão específica) nos indivíduos que treinaram o TF antes do TA, comparado com a ordem inversa (27 vs. 15%,  $P < 0,01$ ). Sendo a qualidade muscular uma medida que estima a contribuição de fatores neurais relacionados com ganhos de força<sup>40</sup>, pode ser sugerido que os maiores ganhos na força musculares obtidos na ordem TF-TA comparado a ordem inversa podem ter ocorrido por diferença nas adaptações neurais.

### Efeitos na massa muscular

Estudos investigando adaptações morfológicas ao treino concorrente em idades mais avançadas são escassos. Izquierdo et al.<sup>19</sup> investigando homens idosos, não observaram diferenças na hipertrofia muscular após 12 semanas de treino de força (2 vezes por semana) e concorrente (um vez de treino de força e outra aeróbio) (ambos 11% de aumento).

Já em estudo de Karavirta et al.<sup>20</sup>, foi observado um aumento na AST das fibras tipo II do vasto lateral somente no grupo de TF (16%), ao passo que nenhuma modificação foi observada no grupo de TC nesse estudo. Curiosamente, nesse estudo não foram observadas diferenças na magnitude de incremento nas variáveis de força muscular. Em outro estudo, Cadore et al.<sup>32</sup> não observaram diferenças nos ganhos de espessura muscular entre grupos executando o TC com diferentes ordens de exercício, mesmo tendo observado diferenças nos ganhos de força.

Com base nos resultados descritos, é possível sugerir que o componente morfológico associado à produção de força não possui relação com o efeito de interferência quando o mesmo ocorre em homens idosos<sup>15,32</sup>.

**Quadro 2.** Adaptações neuromusculares ao treinamento concorrente vs. treinamento de força.

Autor	Período e Frequência	Volume e intensidade	Resultados
Wood et al. <sup>29</sup>	12 sem; TF: 3x/sem; TA: 2x/sem; TC: TF+TA	TF: 2 séries de 12-15 repetições (75% de 5RM) até 8-12RM. TA: 60-70% da FC <sub>max</sub> estimada, 21-45 min em cicloergômetro. TC: 1 série de 8-12RM + 30 min em cicloergômetro (TA)	↑1RM (15-29%)* em TF e TC. ↑ performance em testes funcionais em ambos os grupos*. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Izquierdo et al. <sup>19</sup>	16 sem; TF: 2x/sem; TA: 2x/sem; TC: 1x/sem TF + 1x/sem TA.	3-5 séries de 6-15 repetições (50-80% de 1RM) Contrações lentas e explosivas (20% do volume de 30 a 50% de 1RM). TA: 30 a 40 min em cicloergômetro, nas cargas (W) de 2, 3 e 4mmol.L <sup>-1</sup> .	↑1RM em TF e TC (22-41%)*; ↑ potência muscular a 45% de 1RM em TF e TC (45%)*. ↑AST QF em TF e TC (ambos 11%)*. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Sillanpää et al. <sup>33</sup>	21 sem; TF: 2x/sem; TA: 2x/sem; TC: TF + TA dias alternados.	TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1r</sub> entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2r</sub> .	↑1RM em TF e TC (22%)*; ↑ espessura VL+VM em TF e TC (9%)*. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Sillanpää et al. <sup>34</sup>	21 sem; TF: 2x/sem; TA: 2x/sem; TC: TF + TA dias alternados.	TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1r</sub> entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2r</sub> .	↑PT em TF e TC (15-17%)*. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Karavirta et al. <sup>37</sup>	21 sem; TF: 2x/sem; TA: 2x/sem; TC: TF + TA, dias alternados.	TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1r</sub> entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2r</sub> .	↑1RM em TF e TC (22%)*. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Cadore et al. <sup>15</sup>	12 sem; TF: 3x/sem; TA: 3x/sem; TC: TF+TA, TA antes de TF, mesma sessão.	TF: 18-20RM a 6-8RM. TA: 30 min em cicloergômetro, 80 a 100% do LV <sub>2r</sub> .	maior ↑1RM em TF (67%)* comparado a TC(41%)*; maior ↑ no PT em TF (14%)* comparado a TC (1%, NS). maior ↑EMG VL e RC em TF (30%)* comparado a TC (16%, NS); maior ↑ ECO neuromuscular* em TF comparada a TC.
Holviala et al. <sup>35</sup>	21 sem; TF: 2x/sem; TA: 2x/sem; TC: TF + TA, dias alternados.	TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1r</sub> entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2r</sub> .	↑1RM em TF e TC (22%)*. Nenhuma diferença entre TF e TC. ↑EMG VL (18%)* e RF (14%)* em TC e ↑EMG VM (32%) em TF*. ↑PT em TF e TC (8-12%)*. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Holviala et al. <sup>36</sup>	21 sem; TF: 2x/sem; TA: 2x/sem; TC: TF + TA, dias alternados.	TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1r</sub> entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2r</sub> .	↑ potência a 50% de 1RM (10%)*; ↑EMG VL e VM em TF (26 e 25%)* e TC (33 e 23%)*; ↑ performance em testes funcionais em TF e TC. Nenhuma diferença entre TF e TC.
Karavirta et al. <sup>20</sup>	21 sem; TF: 2x/sem; TA: 2x/sem; TC: TF + TA, dias alternados.	TF: múltiplas séries (40-90% de 1RM). TA: 30 a 60 min em cicloergômetro, intensidades abaixo do LV <sub>1r</sub> entre LV <sub>1</sub> e LV <sub>2</sub> e acima do LV <sub>2r</sub> .	↑1RM em TF e TC (22%)*. ↑PT em TF e TC (14 e 20%)*; ↑EMG VM em TF (41%)* e TC (28%)*. Maior ↑EMG VL em TF do que TC na semana 10, mas sem diferenças na semana 21. ↑AST fibras tipo II somente em TF (16%)*.
Cadore et al. <sup>18</sup>	12 sem; TF: 3x/sem; TA: 3x/sem; TC: TF+TA, TA antes de TF, mesma sessão.	TF: 18-20RM a 6-8RM. TA: 30 min em cicloergômetro, 80 a 100% do LV <sub>2r</sub> .	↑ ECO neuromuscular dinâmica* somente em TC no RC a 50, 75 e 100W e em TF e TC no VL a 100W.
Cadore et al. <sup>32</sup>	12 sem; TF: 3x/sem; TA: 3x/sem; TC: TF+TA, TA antes e depois do TF, mesma sessão.	TF: 18-20RM a 6-8RM. TA: 30 min em cicloergômetro, 80 a 100% do LV <sub>2r</sub> . TC com TF antes do TA (FA) vs. TC com o TA antes TF (AF).	maior ↑1RM em FA do que AF (35 vs. 21%)*; maior ↑ QM em FA do que em AF (27 vs. 15%)*. ↑ na espessura do QF semelhante entre os grupos (9%)*.

↑, aumento; min, minutos; ECO, economia; 1RM, 1 repetição máxima; PT, pico de torque isométrico; AST, área de secção transversal; QF, quadríceps femoral; VL, vasto lateral; VM, vasto medial; RC, reto da coxa; sem, semanas; x/sem, número de treinos por semana; TF, treinamento de força; TA, treinamento aeróbico; TC, treinamento concorrente; EMG, sinal eletromiográfico; QM, qualidade muscular; LV<sub>1</sub> e LV<sub>2</sub>, primeiro e segundo limiar ventilatório, respectivamente. \*P<0,05; \*\*P<0,01; \*\*\*P<0,001; NS, não significativo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos resultados dos estudos revisados, a melhora na performance neuromuscular decorrente do treinamento de força em idosos aparenta ser semelhante a de indivíduos jovens. Esse aumento na performance da produção de força muscular decorrente do TF pode ser explicado a partir de adaptações neurais e morfológicas. Todos os estudos que investigaram o treino de força em idosos encontraram aumento na força máxima, seja dinâmica ou isométrica. Entretanto, somente os estudos que treinaram algumas séries de forma explosiva encontraram aumento na potência muscular e na taxa de produção de força. Com relação ao treino concorrente, o efeito de interferência nessa população pode ocorrer quando maiores volumes de treinamento semanais são executados, mas a manipulação da ordem dos exercícios pode prevenir esse efeito, já que a execução do TF antes do TA parecer gerar maior aumento na força muscular do que a ordem inversa. Contudo, mesmo havendo um menor desenvolvimento da força muscular com o treino concorrente comparado ao treino de força isolado, ainda assim é recomendável a execução desse tipo de treinamento, já que o mesmo contempla tanto as adaptações neuromusculares quanto cardiorrespiratórias.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES e o CNPq pelo suporte financeiro desse manuscrito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Häkkinen K, Kraemer WJ, Pakarinen A, Triplett-Mcbride T, Mcbride JM, Häkkinen A et al. Effect of heavy resistance/power training on maximal strength, muscle morphology, and hormonal patterns in 60-75 year-old men and women. *Can J Appl Physiol* 2002;27(3):213-31.
2. Izquierdo M, Häkkinen K, Ibañez J, Garrues M, Antón A, Zúniga A, et al. Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. *J Appl Physiol* 2001;90(4):1497-507.
3. Slivka D, Raue U, Hollon C, Minchev K, Trappe S. Single muscle fiber adaptations to resistance training in old (>80 yr) men: evidence for limited skeletal muscle plasticity. *Am J Physiol Regul Inter Comp Physiol* 2008;295(1):R273-80.
4. Raj IS, Bird SR, Westfold BA, Shield AJ. Effects of eccentrically biased versus conventional weight training in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2011;44(6):1167-76.
5. Häkkinen K, Parakinen A, Kraemer WJ, Häkkinen A, Valkeinen H, Alen M. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *J Appl Physiol* 2001a;91(2):569-80.
6. Nogueira W, Gentil P, Mello SNM, Oliveira RJ, Bezerra AJC, Bottaro M. Effects of power training on muscle thickness of older men. *Int J Sports Med* 2009;30(3):200-4.
7. Häkkinen K, Häkkinen A. Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1995; 35(3):137-47.
8. Häkkinen K, Kallinen M, Linnamo V, Pastinen UM, Newton RU, Kraemer WJ. Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand* 1996;158(1):77-88.
9. Häkkinen K, Alen M, Kallinen M. Muscle CSA, force production, and activation of leg extensors during isometric and dynamic actions in middle-aged and older people. *JAPA* 1998;6(3):232-47.

10. Häkkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, Jokelainen K, Lassila H, Mälkiä E, et al. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol* 1998;84(4):1341-9.
11. Häkkinen K, Newton RU, Gordon S, Mccornick M, Volek J, Nindl B, et al. Changes in muscle morphology, electromyographic activity and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1998;53(6):B415-23.
12. Häkkinen K, Alen M, Kallinen M, Newton RU, Kraemer WJ. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *Eur J Appl Physiol* 2000;83(1):51-62.
13. Häkkinen K, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand* 2001;171(1):51-62.
14. Brentano MA, Cadore EL, Silva EM, Ambrosini AB, Coertjens M, Petkowiks R, et al. Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women. *J Strength Cond Res* 2008;22(6):1818-25.
15. Cadore EL, Pinto RS, Lhullier FLR, Correa CS, Alberton CL, Pinto SS, et al. Physiological effects of concurrent training in elderly men. *Int J Sports Med* 2010;31(10):689-97.
16. Kraemer WJ, Häkkinen K, Newton RU, Nindl BC, Volek JS, McCormick M, et al. Effects of resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol* 1999;87(3):982-92.
17. Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, Harman EA, Deschenes MR, Reynolds K, et al. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* 1995;78(3):976-89.
18. Cadore EL, Pinto RS, Pinto SS, Alberton CL, Correa CS, Tartaruga MP, et al. Effects of strength, endurance and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. *J Strength Cond Res* 2011;25(3):758-66.
19. Izquierdo M, Ibañez J, Häkkinen K, Kraemer WJ, Larrión JL, Gorostiaga EM. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(3):435-43.
20. Karavirta L, Häkkinen A, Sillanpää E, Garcia-Lopez D, Kauhanen A, Haapa-saari A, et al. Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40-67-year-old men. *Scand J Med Sci Sports* 2011;21(3):402-11.
21. Campbell DT, Stanley JC. *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Chicago, IL: Rand McNally, 1966.
22. Bottaro M, Machado SN, Nogueira W, Scales R, Veloso J. Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *Eur J Appl Physiol* 2007;99(3):257-64.
23. Cannon J, Kay D, Tarpenning KM, Marino FE. Comparative effects of resistance training on peak isometric torque, muscle hypertrophy, voluntary activation and surface EMG between young and elderly women. *Clin Physiol Funct Imaging* 2007;27(2):91-100.
24. Putman CT, Xu X, Gillies E, Maclean IM, Bell GJ. Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *Eur J Appl Physiol* 2004;92(4-5):376-84.
25. Cadore EL, Pinto RS, Alberton CL, Pinto SS, Lhullier FLR, Tartaruga MP. Neuromuscular economy, strength and endurance in healthy elderly men. *J Strength Cond Res* 2011;25(4): 997-1003.
26. Sale DG, Jacobs I, Macdougall JD, Garner S. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22(3):348-56.
27. Bell GJ, Syrotuik D, Socha T, Maclean I, Quinney HA. Effect of strength and endurance training on strength, testosterone, and cortisol. *J Strength Cond Res* 1997;11(1):57-64.

28. Cadore EL, Izquierdo M, Dos Santos MG, Martins, JB, Lhullier FL, Pinto RS, et al. Hormonal responses to concurrent strength and endurance training with different exercise orders. *J Strength Cond Res* 2012; Jan 3 Epub ahead of print.
29. Wood RH, Reyes R, Welsch MA, Favarolo-Sabatier J, Sabatier M, Lee CM, et al. Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(10):1751-8.
30. Mccarthy JP, Pozniak MA, Agre JC. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(3):511-9.
31. Silva RF, Cadore EL, Kothe G, Guedes M, Alberton CL, Pinto SS et al. Concurrent training with different aerobic exercises. *Int J Sports Med* 2012; May 4 Epub ahead of print.
32. Cadore EL, Izquierdo M, Alberton CL, Pinto RS, Conceição 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(2):164-9.
33. Sillampää E, Häkkinen A, Nyman K, Cheng S, Karavirta L, Laaksonen DE et al. Body composition and fitness during strength and/or endurance training in older men. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40(5):950-8.
34. Sillampää E, Häkkinen A, Punnonen K, Häkkinen K, Laaksonen DE. Effects of strength and endurance training on metabolic risk factors in healthy 40-65-year-old men. *Scand J Med Sci Sports* 2009;19(6):885-95.
35. Holviala J, Häkkinen A, Karavirta L, Nyman K, Izquierdo M, Gorostiaga EM et al. Effects of combined strength and endurance training on treadmill load carrying walking performance in aging men. *J Strength Cond Res* 2010;24(6):1584-95.
36. Holviala J, Kraemer WJ, Sillampää E, Karpinen H, Avela J, Kauhanen A et al. Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *Eur J Appl Physiol* 2012;112(4):1135-47.
37. Karavirta L, Tulppo MP, Laaksonen DE, Nyman K, Laukkanen RT, Kinnunen H, et al. Heart rate dynamics after combined endurance and strength training in older men. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(7):1436-43.
38. Nader GA. Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(11):1965-70.
39. Häkkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H, et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol* 2003;89(1):42-52.
40. Narici MV, Maganaris C, Reeves N. Myotendinous alterations and effects of resistive loading in old age. *Scand J Med Sci Sports* 2005;15(6):392-401.

#### Endereço para correspondência

Eduardo Lusa Cadore  
LAPEX, Escola de Educação Física,  
UFRGS  
Rua: Felizardo, 750  
Bairro: Jardim Botânico  
CEP: 90690-200 - Porto Alegre, RS,  
Brazil  
Email: edcadore@yahoo.com.br