

MICHEL ARIAS BRENTANO

**DISPÊNDIO ENERGÉTICO, ATIVIDADE MUSCULAR, DANO
MUSCULAR E PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DECORRENTE DE
SESSÕES DE TREINAMENTO DE FORÇA COM SUPER-SÉRIES
EM INDIVÍDUOS FISICAMENTE ATIVOS**

TESE DE DOUTORADO

UFRGS

Porto Alegre, RS, BRASIL

2015

CIP - Catalogação na Publicação

Brentano, Michel Arias

DISPÊNDIO ENERGÉTICO, ATIVIDADE MUSCULAR, DANO MUSCULAR E PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DECORRENTE DE SESSÕES DE TREINAMENTO DE FORÇA COM SUPER-SÉRIES EM INDIVÍDUOS FÍSICAMENTE ATIVOS / Michel Arias

Brentano. -- 2015.

107 f.

Orientador: Daniel Umpierre de Moraes.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde: Cardiologia e Ciências Cardiovasculares, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

1. Eletromiografia. 2. Creatina quinase. 3. Treinamento de força. I. de Moraes, Daniel Umpierre, orient. II. Título.

**DISPÊNDIO ENERGÉTICO, ATIVIDADE MUSCULAR, DANO
MUSCULAR E PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DECORRENTE DE
SESSÕES DE TREINAMENTO DE FORÇA COM SUPER-SÉRIES,
EM INDIVÍDUOS FISICAMENTE ATIVOS**

por

MICHEL ARIAS BRENTANO

**Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Cardiologia e Ciências Cardiovasculares, como requisito parcial para
obtenção do grau de DOUTOR EM CARDIOLOGIA E CIÊNCIAS
CARDIOVASCULARES**

Orientador: Daniel Umpierre de Moraes

Porto Alegre, RS – Brasil

2015

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho e o esforço contido nele a todos os professores e estudantes que primam pelo conhecimento e que tem como paixão o ato de ensinar.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Jorge Pinto Ribeiro pelo diálogo franco e abertura de novas oportunidades acadêmicas em uma nova instituição de ensino.

Ao prof. Dr. Daniel Umpierre de Moraes pela acolhida e orientações sempre pertinentes quanto às direções seguidas.

A todos os colegas e bolsistas que me auxiliaram durante esse processo. Entre eles os professores Ronei Silveira Pinto, André Lopes, Regis Radaelli e Lucas Porto Santos.

E, embora incomum, quero fazer um agradecimento a mim. Afinal, depois de inúmeras intempéries, obstáculos e motivos que insistiram em fazer com que eu desistisse da conclusão dessa etapa inúmeras vezes, segui em frente.

RESUMO

DISPÊNDIO ENERGÉTICO, ATIVIDADE MUSCULAR, DANO MUSCULAR E PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DECORRENTE DE SESSÕES DE TREINAMENTO DE FORÇA COM SUPER-SÉRIES, EM INDIVÍDUOS FISICAMENTE ATIVOS

Autor: Prof. Ms. Michel Arias Brentano

Orientador: Dr. Daniel Umpierre de Moraes

Objetivo: O objetivo dessa tese de doutorado foi analisar os efeitos da manipulação da ordem de exercícios de força sobre a atividade muscular, marcadores indiretos de dano muscular e o dispêndio energético (DE). **Métodos:** Vinte (20) indivíduos do sexo masculino e fisicamente ativos foram separados aleatoriamente em duas sessões de treinamento de força: com exercícios para o mesmo grupo muscular realizados de forma agrupada (EA – n=10 / idade: 26,6±3,4 anos, % de gordura: 17,4±3,9%); ou realizados de forma separada (ES – n=10 / idade: 24,9±2,6 anos, % de gordura: 15,4±5,9%). Quatro exercícios (5 séries de 8-10RM) para os músculos extensores do joelho (Leg press e extensão de joelhos) e flexores horizontais do ombro (supino reto e voador) foram realizados. Foram avaliados a atividade muscular (sinal eletromiográfico de vasto lateral (VL), vasto medial (VM), reto femoral (RF), peitoral maior (PM) e deltóide anterior (DA)), os marcadores indiretos de dano muscular (creatina quinase (CK), torque muscular (τ) de flexores horizontais de ombro e extensores do joelho, amplitude de movimento (ROM), dor muscular tardia (DOMS)) e o DE (estimado pelo consumo de oxigênio e pelas concentrações de lactato). **Resultados:** Não houve diferença entre o trabalho total realizado em EA e ES (EA: 11972,5 ± 2.158,94 kg vs. ES: 12022,88 ± 1,812 kg). Foi observada maior atividade EMG em EA no RF (EA: 88,4% x ES: 73,6%) e DA (EA: 176,4% x ES: 100,0%); além de maior variação da concentração de CK (EA: 632,4% x ES: 330,5%) após o exercício. Durante o exercício, o DE foi maior em ES quando comparado com a EA (EA: 123,8 ± 14,36kcal vs. ES: 131,77 ± 20,91kcal). No entanto, EA induziu maior DE no pós-exercício (EA: 25,12 ± 7.86kcal vs. ES: 19,76 ± 5.53kcal). Entretanto, a

ordem dos exercícios não influenciou a DE total (GE: 148,92 ± 18.72kcal vs. SE: 151,53 ± 17.97kcal, p = 0,920). **Conclusão:** a execução de exercícios para o mesmo grupo muscular, agrupados, promove maior atividade muscular e dano muscular. Entretanto, a ordem de exercícios de força tem pouca ou nenhuma influência no dispêndio energético total.

Palavras chave: Eletromiografia, creatina quinase, treinamento de força.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1. OBJETIVOS.....	06
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	06
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	06
1.2 HIPÓTESES.....	07
1.3 O ESTUDO.....	08
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3. SUPER-SÉRIES: ATIVIDADE MUSCULAR, DANO MUSCULAR E PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DECORRENTE DE EXERCÍCIOS DE FORÇA.....	50
ABSTRACT.....	51
INTRODUCTION.....	52
METHODS.....	53
<i>Subjects.....</i>	53
<i>Strength training sessions.....</i>	54
<i>10RM test.....</i>	55
<i>Body composition.....</i>	55
<i>Indirect markers of muscle damage.....</i>	56
<i>Electromyographic signal (EMG).....</i>	57
<i>Statistical procedures.....</i>	59
RESULTS.....	59
<i>Indirect markers of muscle damage.....</i>	59
<i>EMG signal.....</i>	61
DISCUSSION.....	67
CONCLUSION.....	70
REFERENCES.....	70
4. SUPER-SÉRIES: O DISPÊNDIO ENERGÉTICO DECORRENTE DE EXERCÍCIOS DE FORÇA.....	77
ABSTRACT.....	78
INTRODUCTION.....	79
METHODS.....	80
<i>Subjects.....</i>	80
<i>Strength training sessions.....</i>	81
<i>10RM test.....</i>	81
<i>Body composition.....</i>	82
<i>Energetic expenditure.....</i>	82
<i>Statistical procedures.....</i>	84
RESULTS.....	85
DISCUSSION.....	86

CONCLUSION.....	88
REFERENCES.....	88
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
6. ANEXOS.....	95
Anexo 1	95
Anexo 2	96
Anexo 3	98
7. APÊNDICES.....	99
Apêndice 1	99
Apêndice 2	100
Apêndice 3	106

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

1RM	uma repetição máxima
AD	<i>anterior deltoid</i>
AMP	amplitude de movimento
ANOVA	<i>analysis of variance</i>
ASTM	área de secção transversal muscular
ATP	adenosina trifosfato
CI	coeficiente de correlação intraclasse
CK	creatina quinase
CV	coeficiente de variação / coefficient of variation
CVM	contração voluntária máxima
DE	dispêndio energético
DMT	dor muscular tardia
DOMS	<i>delayed onset muscle damage</i>
EA	exercícios agrupados
EE	<i>energy expenditure</i>
EPOC	excesso de consumo de oxigênio pós exercício
ES	exercícios separados
EMG	eletromiografia / eletromiográfico
GE	<i>grouped exercises</i>
Hz	hertz
ICC	<i>intraclass correlation coefficient</i>
Kcal	quilocalorias
KE	knee extensors
La	lactato
MC	massa corporal
MVC	<i>maximal voluntary contraction</i>
μV	microvolts
min	minuto
ml	mililitros
mm	milímetros
mV	milivolts

n	número da amostra
Nm	Newton . metro
PM	<i>pectoris major</i>
RER	<i>respiratory exchange ratio</i>
RF	<i>rectus femoris</i>
RM	repetição máxima
RMS	<i>root mean square</i>
ROM	<i>range of motion</i>
s	segundos
SD	standard deviation
SE	<i>separated exercises</i>
SHF	<i>shoulder horixontal flexors</i>
SPSS	<i>Statistical Package for Social Sciences</i>
ST	<i>strength training</i>
TMB	taxa metabólica basal
TMR	taxa metabólica de repouso
TF	treinamento de força
TT	trabalho total
τ	torque
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UMs	unidades motoras
VL	<i>vastus lateralis</i>
VM	<i>vastus medialis</i>
VO ₂	consumo de oxigênio
%	percentual / porcentagem

1. INTRODUÇÃO

No treinamento de força, a manipulação do volume e da intensidade tem sido abordada através de algumas variáveis, tais como: o número de séries e repetições de cada exercício, representando o volume; a carga utilizada (Rhea et al., 2002; Paulsen et al., 2003) e o tipo de contração utilizada (Chen e Hsieh, 2001; Chen e Nosaka, 2006; Chen et al., 2007), representando a intensidade. Sendo que a combinação de ambos (volume e intensidade) representa o trabalho total¹. Nesse contexto, algumas respostas agudas têm sido utilizadas como indicadores de maior intensidade do treinamento de força, sendo o grau de atividade muscular (Augustsson et al., 2003; Smilios et al., 2003; Pincivero et al., 2004a; Pincivero et al., 2004b) e de dano muscular (Chen e Hsieh, 2001; Chen e Nosaka, 2006; Chen et al., 2007, Ellwanger et al., 2007) amplamente discutidos.

A atividade muscular induzida pelo exercício de força é frequentemente avaliada através da amplitude do sinal eletromiográfico (Kelly, 1999; Gabriel et al., 2001; Augustsson et al., 2003; Hassani et al., 2006) durante e após a sessão de treino. Séries prolongadas apresentam aumento progressivo da amplitude desse sinal (Augustsson et al., 2003), sinalizando maiores níveis de esforço muscular ao longo do exercício. De forma concomitante é comum a diminuição do torque produzido pelo músculo de interesse, gerando um aumento da razão sinal EMG / torque muscular (Kellis, 1999). Essas alterações têm sido atribuídas a fatores relacionados com a fadiga muscular como, por exemplo, contração muscular prejudicada, mudanças no recrutamento das unidades motoras e diminuição da velocidade de condução do músculo (Tesch et al., 1990; Garrandes et al., 2007), sendo que essas respostas são encontradas em avaliações isométricas (Viitasalo e Komi, 1977; Gabriel et al., 2001; Garrandes et al., 2007) isocinéticas (Garrandes et al., 2007) e “isotônicas” (Grabiner et al., 1991).

A análise do dano muscular induzida pelo exercício normalmente é realizada através de diversos marcadores indiretos, devido às complicações de

¹ O trabalho total (TT) refere-se ao produto do número de séries x número de repetições x carga (peso) utilizados no exercício (Bompa, 2001). Exemplo: 3 séries, 10 repetições e 50 quilos = TT de 1500kg.

métodos invasivos, como a análise de tecido, obtida através de biópsia muscular. Os principais marcadores avaliados na literatura especializada são (Brentano e Kruehl, 2011): a (1) atividade da creatina quinase, a (2) dor muscular tardia, os (3) níveis de força muscular, a (4) amplitude de movimento, o (5) perímetro do segmento treinado e a (6) magnitude do “efeito protetor” em sessões de treino sucessivas. Sendo que, a maioria dos estudos analisam esses marcadores durante 3 a 9 dias após a sessão de exercício (Brown et al., 1997; Eston et al., 2000; Marginson et al., 2005; Chen et al., 2007). Os achados desses estudos podem auxiliar no esclarecimento de qual período de intervalo é necessário entre sessões de treino com as mesmas características, através das curvas de recuperação decorrentes da resposta desses marcadores, o que tem influência direta na elaboração de programas de exercícios (Brentano e Kruehl, 2011).

Especificamente no treinamento de força, o estudo do dano induzido por uma sessão de treino foi exaustivamente investigado predominantemente em sessões priorizando ações excêntricas (Nosaka e Clarkson, 1994; Mair et al., 1995; Nosaka e Clarkson, 1995; Sorichter et al., 1997; Roth et al., 1999; Roth et al., 2000), ou ainda, comparando a influência de contrações concêntricas e excêntricas nesse parâmetro (Nosaka e Newton, 2002a). Atualmente, existe praticamente um consenso na literatura que esse tipo de sessão promove os maiores níveis de dano, tanto pela análise de marcadores indiretos (Nosaka e Newton, 2002a), como pela análise do dano nas fibras musculares exercitadas (Roth et al., 1999; Roth et al., 2000), embora sessões de treino concêntricas também apresentem modificações desses marcadores (Behn et al., 2001; Nosaka e Newton, 2002a; Hollander et al., 2003).

Entretanto, observa-se que esses marcadores de dano tendem a ficar atenuados em sessões de exercício posteriores, mesmo que elas tenham a mesma característica da primeira (Mair et al., 1995; Sorichter et al., 1997; Eston et al., 2000; Chen e Hsieh, 2001; Nosaka et al., 2001; Stupka et al., 2001; Nosaka et al., 2002; Nosaka e Newton, 2002b; Marginson et al., 2005; Chen e Nosaka, 2006), comportamento que tem sido associado a um “efeito protetor” proporcionado pela fase excêntrica do exercício (Eston et al., 2000; Brockett et al., 2001; Chen e Hsieh, 2001; Nosaka et al., 2001; Stupka et al.,

2001; Nosaka et al., 2002; Nosaka e Newton, 2002b; Marginson et al., 2005). Esse efeito parece ocorrer após uma única sessão de treino, e os seus benefícios são encontrados dentro de um período tão breve quanto 24 horas (Chen e Hsieh, 2001) e permanecer durante até 6 meses (Nosaka et al., 2001). Esse efeito tem sido atribuído à adição de sarcômeros em série, sugestão dada por uma modificação do pico de torque para posições mais alongadas do grupo muscular treinado (Proske e Morgan, 2001; Brockett et al., 2001; McHugh e Tetro, 2003; Bowers et al., 2004; Philippou et al., 2004).

O dispêndio energético decorrente do exercício leva em consideração, na grande maioria dos estudos, a calorimetria indireta, mais especificamente o consumo de oxigênio (VO_2) (Pichon et al., 1996; Burleson et al., 1998; Melanson et al., 2002; Thorton e Potteiger, 2002; Morgan et al., 2003). Especificamente no treinamento de força, o dispêndio energético é analisado durante (Wilmore et al., 1978; Pichon et al., 1996; Burleson et al., 1998; Melanson et al., 2002; Thorton e Potteiger, 2002; Morgan et al., 2003) e após o exercício (Sedlock et al., 1989; Sedlock et al., 1991a; Melby et al., 1992; Halton et al., 1999; Binzen et al., 2001; Da Silva et al., 2010). Entretanto, além do consumo de oxigênio, a utilização das concentrações de lactato também é considerada (Hunter et al., 2003; Scott, 2006b). Esses estudos mostram que diferentes sessões de treinamento de força apresentam um dispêndio energético extremamente variado permanecendo entre $2,4\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ e $7,9\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$. No entanto, treinamentos em “circuito”, caracterizados pelo maior número de repetições e pelos intervalos curtos ou inexistentes entre os exercícios, tendem a apresentar um dispêndio energético maior do que o treinamento de força tradicional (Pichon, 1996).

Todas as informações anteriores referentes à atividade muscular, ao dano muscular e ao dispêndio energético provêm de estudos que abordaram sessões de treino de força envolvendo a manipulação da intensidade apenas pela modificação das cargas utilizadas (peso) ou do tipo de contração muscular (concêntrica x excêntrica) e do volume, através do número de repetições de cada série ou do número de séries executadas.

Embora as cargas utilizadas e as repetições sejam amplamente manipuladas no treino de força, existem outras variáveis que exercem

influência direta na intensidade e no volume dessa modalidade como, por exemplo, os (1) intervalos entre as séries de um mesmo exercício e a (2) ordem de execução dos exercícios (Pincivero *et al.*, 2004a; Fleck e Kraemer, 2006).

Em relação à influência do intervalo entre as séries de um mesmo exercício, a maioria das análises existentes envolvendo a resposta aguda decorrente de exercícios de força, teve a preocupação de verificar esse efeito no trabalho total de cada exercício (Sforzo e Touey, 1996; Pincivero *et al.*, 1999; Pincivero *et al.*, 2004a; Simão *et al.*, 2005; Spreuwenberg *et al.*, 2006; Simão *et al.*, 2007) e nos níveis de força máxima (Weir, *et al.*, 1994; Matuszak *et al.*, 2003). Entretanto, em menor extensão, alguns achados são observados em relação à atividade muscular (Pincivero *et al.*, 2004a) e ao dano muscular (Silva *et al.*, 2010).

Em relação à ordem de execução dos exercícios, uma das estratégias mais comuns adotada no “empirismo” e comentada por alguns autores (Uchida *et al.*, 2003; Fleck e Kraemer, 2006) para aumentar a intensidade no treinamento de força, baseia-se em pré-fatigar o grupo muscular de interesse, através de exercícios sucessivos para o mesmo grupo muscular. Técnicas frequentemente denominadas de super-séries². Uma das formas mais comuns de super-série é conhecida como pré-exaustão³. Entretanto, a pré-fadiga da musculatura agonista foi escassamente investigada, tendo o estudo de Augustsson *et al.* (2003) como pioneiro na análise da atividade muscular, e o de Da Silva *et al.* (2010) na análise do dispêndio energético, apenas no pós-exercício. Ainda, parece não haver qualquer análise do grau de dano e o período de recuperação necessário decorrente de super-séries de pré-exaustão, mostrando uma carência de informações sobre o tema.

Percebe-se que, embora comumente manipulada no treinamento de força, informações sobre a influência da ordem dos exercícios, mais especificamente em sistemas de super-séries, no dispêndio energético, no grau de dano e, principalmente, no período de recuperação necessário, são escassas.

² Refere-se à execução de dois ou mais exercícios de força sem qualquer intervalo entre eles (Fleck e Kraemer, 2006).

³ Refere-se à execução de dois ou mais exercícios de força, para o mesmo grupo muscular, sem qualquer intervalo entre eles (Fleck e Kraemer, 2006).

Informações sobre esses aspectos podem mostrar qual a influência da manipulação da ordem de exercícios de força com o processo de recuperação do exercício, assim como com o dispêndio energético; o que, atualmente, permanece especulativo na literatura especializada. Sendo assim, esse estudo pretende responder o seguinte questionamento:

Qual o dispêndio energético, a atividade muscular, o dano muscular e o período de recuperação decorrente de sessões de treinamento de força com super-séries, em indivíduos fisicamente ativos?

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse estudo é analisar o dispêndio energético, a atividade muscular, o dano muscular e o período de recuperação decorrente de sessões de treinamento de força com super-séries, em indivíduos fisicamente ativos.

1.1.2. Objetivos específicos

Analisar as respostas agudas decorrentes de exercícios de força para o mesmo grupo muscular realizados de forma agrupada (super-série de pré-exaustão) ou separada (super-serie alternado por segmento):

1.1.2.1 Na atividade muscular (sinal EMG) dos músculos vasto lateral, vasto medial, reto femoral (extensores do joelho); peitoral maior e deltóide anterior (flexores horizontais do ombro);

1.1.2.2 Nos marcadores indiretos de dano muscular (atividade da creatina quinase, torque muscular, dor muscular tardia e na amplitude articular) e no período de recuperação, durante os primeiros 5 dias, pós-exercício;

1.1.2.3. No dispêndio energético durante a sessão e nos primeiros 60 minutos, pós-exercício;

1.1.2.4. Comparar as respostas decorrentes de exercícios força para o mesmo grupo muscular realizados de forma agrupada ou separada, na atividade muscular, nos marcadores indiretos de dano muscular, no período de recuperação e no dispêndio energético.

1.2. HIPÓTESES

As hipóteses aqui descritas são apresentadas considerando os resultados dos dois experimentos desse estudo, que serão descritos nos experimentos dos capítulos 3 e 4. As mesmas serão mais bem especificadas dentro de cada experimento e no capítulo 5, com as considerações finais.

1.2.1. Hipóteses do experimento 1 (Capítulo 3)

Hipótese 1

1. Aumento mais pronunciado da amplitude do sinal EMG dos grupos musculares de interesse, durante a execução dos exercícios de força para o mesmo grupo muscular, agrupados (super-série de pré-exaustão).

Hipóteses 2 e 3

2. Maior alteração na atividade da creatina quinase, torque muscular, escores de dor muscular tardia e amplitude articular, após a execução dos exercícios de força para o mesmo grupo muscular, agrupados (super-série de pre-exaustão).

3. Maior período necessário para que a atividade da creatina quinase, o torque muscular, os escores de dor muscular tardia e a amplitude articular retornem aos níveis pré-exercício, após a execução dos exercícios de força para o mesmo grupo muscular, agrupados (super-série de pré-exaustão).

1.2.2. Hipótese do experimento 2 (Capítulo 4)

Hipótese 4

4. Maior dispêndio energético na execução dos exercícios de força para o mesmo grupo muscular, agrupados (super-série de pré-exaustão).

1.3. O ESTUDO

Devido às particularidades decorrentes da análise do dispêndio energético, existe a necessidade de isolarmos essa variável em relação às variáveis relacionadas com a atividade muscular e o dano muscular. Sendo assim, foram elaborados dois experimentos (Capítulos 3 e 4) que, embora utilizem a mesma amostra, apresentam enfoques diferenciados. Entretanto, antes da realização dos experimentos, os principais instrumentos de medida tiveram a sua reprodutibilidade verificada (Apêndice 2).

Reprodutibilidade dos instrumentos de medida (Apêndice 2): Envolveu a análise da reprodutibilidade dos principais instrumentos de medida utilizados na coleta dos marcadores indiretos de dano muscular e do dispêndio energético, realizada em duas ocasiões separadas por, no mínimo, 48 horas.

Primeiro experimento (Capítulo 3): Envolveu a análise da atividade muscular e do dano muscular induzida por duas sessões de treino: com exercícios de força para o mesmo grupo muscular realizados de forma agrupada (super-série de pre-exaustão) ou realizados de forma separada (super-série alternada por segmento). A fim de evitar a interferência de um eventual “efeito protetor” causado por sessões de treino sucessivas com características semelhantes, na comparação entre as sessões de treino e, ao mesmo tempo, levando em consideração a magnitude desse efeito em cada uma delas, os indivíduos selecionados para esse estudo foram separados aleatoriamente em dois grupos. O primeiro realizou uma sessão com os exercícios para o mesmo grupo muscular, agrupados (EA); enquanto o segundo realizou uma sessão com os exercícios para o mesmo grupo muscular, separados (ES). Considerando o dano muscular, foram analisados marcadores indiretos desse aspecto. São eles: a atividade da creatina quinase, o torque muscular, os escores de dor muscular tardia e a amplitude articular do ombro e do joelho. No que se refere à atividade muscular, foi analisada a amplitude do sinal eletromiográfico dos músculos vasto lateral, vasto medial, reto femoral (extensores do joelho), peitoral maior e deltóide posterior (flexores horizontais do ombro). A resposta de dano muscular visou a elaboração de “curvas” de recuperação para cada uma das sessões de treino, enquanto a resposta da atividade muscular visou indicar o nível de esforço muscular

induzido por cada uma das sessões. O experimento será apresentado em forma de manuscrito, em inglês, editado para submissão em periódico.

Segundo experimento (Capítulo 4): Devido à interferência das análises relacionadas à atividade muscular e ao dano muscular no dispêndio energético, esse estudo esteve focado especificamente nessa variável, separadamente. Esse experimento analisou o dispêndio energético decorrente de exercícios de força para o mesmo grupo muscular sendo realizados de forma agrupada (super-série de pré-exaustão) ou separada (super-série alternado por segmento). Tal análise foi realizada através da análise de gases, mais especificamente pelo consumo de oxigênio (VO_2) durante e após (60 minutos - EPOC) cada uma das sessões de treino, juntamente com a contribuição anaeróbia no dispêndio energético, representada pelas concentrações de lactato ([La]) encontradas em cada sessão de exercício. O trabalho total realizado e o tempo total de exercício foram controlados nas duas sessões, já que eles influenciam no dispêndio energético total. O experimento será apresentado em forma de manuscrito, em inglês, editado para submissão em periódico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O treinamento de força (TF), normalmente conhecido como “musculação”, tem sido utilizado em diversas populações, como em crianças (Ozmun *et al.*, 1994), jovens (McCall *et al.*, 1996), adultos (Narici *et al.*, 1989; Narici *et al.*, 1996) e idosos (Hakkinen *et al.*, 2001a; Hakkinen *et al.*, 2001b; Brentano *et al.*, 2008). Como em outros tipos de exercício físico, o treinamento de força produz adaptações no indivíduo. Em termos gerais, além do aumento da força muscular, tem-se sugerido que o TF promove os seguintes efeitos neuromusculares e cardiovasculares: (1) aumento da ativação muscular⁴ através do treinamento isométrico (Garfinkel e Cafarelli, 1992) ou dinâmico (Moritani e De Vries, 1979; Narici *et al.*, 1996), que tem sido observado através da análise do sinal eletromiográfico (EMG) de músculos específicos de membros superiores (Moritani e De Vries, 1979) e inferiores (Narici *et al.*, 1996; Brentano *et al.*, 2008); (2) hipertrofia muscular, expressa por um aumento da área transversal das fibras musculares dos músculos treinados (Sale *et al.*, 1989); (3) alteração na porcentagem das fibras musculares, particularmente entre as fibras musculares do tipo II, uma vez que, tanto em jovens como em idosos, parece ocorrer uma modificação das isoformas de cadeia pesada de miosina do tipo IIb para IIa (Staron *et al.*, 1991; Staron *et al.*, 1994; Sharman *et al.*, 2001) e (4) melhora cardiorrespiratória, expressa por aumentos significativos, embora modestos, no consumo máximo de oxigênio (Brentano *et al.*, 2008), e (5) melhora na resistência de força (Campos *et al.*, 2002). Esse capítulo visa revisar as adaptações relacionadas à hipertrofia muscular e à resposta cardiorrespiratória, particularmente as respostas agudas que possam influenciar essas adaptações.

⁴ Maior frequência de ativação e maior recrutamento das unidades motoras durante o esforço máximo e sub-máximo (Hakkinen *et al.*, 2001b).

2.1 Efeitos na área de secção transversal (hipertrofia muscular)

O efeito do TF na área de secção transversal muscular (ASTM), coloquialmente chamada de “hipertrofia”, é alvo de inúmeros estudos (Frontera *et al.*, 1988; Frontera *et al.*, 1990; Hakkinen *et al.* 2000; Hakkinen *et al.* 2001a; Hakkinen *et al.* 2001b, Izquierdo *et al.*, 2003).

Considerando o processo de hipertrofia muscular, algumas respostas agudas são consideradas um estímulo para essa adaptação, tais como: a (1) maior ativação voluntária das unidades motoras (UMs) disponíveis, expressa por um aumento progressivo da amplitude do sinal eletromiográfico durante os exercícios de força (Augustsson *et al.*, 2003); o (2) estresse metabólico, representado pelo acúmulo de metabólitos (lactato, fosfato e H⁺) e promoção de hipóxia muscular (Schoenfeld, 2013); a (3) dano do material contrátil e não-contrátil das fibras musculares ocorrida durante a contração muscular que, com o processo de ressíntese das mesmas, nos intervalos entre as sessões, resultariam na formação de miofilamentos adicionais como resposta crônica a esse tipo de exercício; e (4) a relação de hormônios anabólicos (hormônio do crescimento e testosterona) e catabólicos (cortisol) após o exercício (Kraemer *et al.*, 1998; Hakkinen *et al.*, 2001; Ahtiainen *et al.*, 2003; Smilios *et al.*, 2003) que parece ficar favorecida em sessões de treinamento tipicamente realizada por fisiculturistas. Nessa revisão o item 4 não será abordado.

2.1.1 As concentrações de lactato e a atividade muscular

Atualmente, o nível de fadiga muscular é considerado um importante componente para que aumentos na ASTM ocorram (Lambert e Flynn, 2002) e tem sido encarado como o “estresse metabólico” induzido pelo exercício de força (Schoenfeld, 2013). Os achados de Takarada *et al.*, (2000) e Takarada e Ishii (2002) com exercícios de força associados à oclusão vascular suportam essa idéia. As formas mais comuns de abordagem do estudo da fadiga muscular induzida pelo exercício de força envolvem as concentrações plasmáticas de lactato (Kraemer *et al.*, 1998; Smilios *et al.*, 2003) e a amplitude do sinal eletromiográfico (Kellis, 1998; Kellis, 1999; Gabriel *et al.*, 2001; Hassani *et al.*, 2006). Séries com maior duração apresentam maiores concentrações de

lactato (Smilios et al., 2003; Crewther et al., 2006) e aumento progressivo da amplitude do sinal EMG (Kellis, 1999; Augustsson e tal., 2003; Hassani et al., 2006), principalmente quando são realizadas repetições máximas. Essas considerações e as suas implicações no treinamento de força serão abordadas a seguir.

2.1.1.1 Concentrações de lactato

Os mecanismos pelos quais o estresse metabólico (que modificam as concentrações de lactato circulantes) contribuem para as adaptações ao treinamento de força são frequentemente baseados em estudos que simulam artificialmente um ambiente de estresse metabólico, através de oclusão vascular (Takarada et al., 2000; Takarada e Ishii, 2002; Takarada et al., 2004; Takano et al., 2005), também conhecido como “kaatsu training”. Uma revisão recente traz diversos mecanismos de adaptação possíveis a partir dessa intervenção (Schoenfeld, 2013).

Nos protocolos de treino de força tradicionais⁵ elaborados visando alterações musculares morfológicas (hipertrofia) normalmente ocorrem maiores incrementos (%) dos níveis de lactato circulantes (Kraemer et al., 1993; Smilios et al., 2003), quando comparados com protocolos que priorizam aumento da força muscular, também conhecidos como protocolos “neurais” (Crewther et al., 2006) ou de potência muscular. Por exemplo, Kraemer et al., (1993) compararam a resposta de lactato em oito exercícios executados com cargas equivalentes a 5RM (3-5 séries com 3 minutos de intervalo) com 10RM (3 séries com 1 minuto de intervalo) e observaram um aumento médio de 433% nos níveis de lactato utilizando 10RM, valor maior do encontrado com 5RM (133%). Isso pode ser atribuído ao maior trabalho total⁶ no treino de hipertrofia juntamente com os menores tempos de intervalo entre as séries e os exercícios. Esses resultados estão de acordo com outros trabalhos que mostram maiores níveis de lactato em séries com maior duração, típicas de treinamentos que visam hipertrofia muscular ou aumento da resistência de força (Zafeiridis et al., 2003; Smilios et al., 2003). Esses achados mostram um

⁵ Treinamentos com equipamentos ou pesos livres.

⁶ Nesse caso o trabalho total envolve o maior tempo de contração muscular proporcionado pelo maior número de repetições em treinos de hipertrofia.

determinado padrão das respostas de lactato, onde: hipertrofia > força > potência.

Tem sido reportado que homens, quando submetidos a uma sessão de treino de força, apresentam maiores respostas de lactato do que mulheres (Kraemer et al., 1991; Hakkinen et al., 2000; Pullinen et al., 2002). Por exemplo, Kraemer et al., (1991) observaram maiores respostas em homens treinados submetidos a uma sessão de hipertrofia que consistia de oito exercícios (3 x 10RM), comparados com a mesma população de mulheres (648% vs 468%, respectivamente). Nesse mesmo estudo, um resultado similar foi encontrado na sessão de força, com aumentos de 230% vs 140% em homens e mulheres, respectivamente. As diferenças observadas podem ser atribuídas ao fato de homens geralmente apresentarem mais massa magra e utilizarem cargas relativamente mais pesadas do que as mulheres.

Percebe-se que fatores como o gênero e o tipo de treinamento podem influenciar nas respostas de lactato e nas adaptações posteriores. Os mecanismos que explicam a relação entre o “estimulo metabólico” e as adaptações musculares permanecem especulativos, pela grande variação dos tipos de protocolos empregados nos estudos que analisam essa questão.

Existe alguma especulação quanto ao fato do acúmulo de lactato, juntamente com a alteração das concentrações de íons H e diminuição de ATP serem mediadores do dano muscular (Ebbeling e Clarkson, 1989). Maiores níveis de dano, indicados por altas concentrações plasmáticas de creatina quinase, foram observados em protocolos que promovem maiores respostas de lactato (Kraemer et al., 1993), sugerindo a possibilidade de uma relação entre o nível de acidose e o dano do tecido muscular (Crewther et al., 2006). Se o dano muscular promove remodelação do tecido muscular, então o “estresse metabólico” pode ser um componente importante quando se espera induzir alterações na morfologia muscular. No entanto, a maioria dos estudos indica que os mecanismos envolvidos com o dano muscular estão mais relacionados com fatores mecânicos (altos níveis de força) do que metabólicos (Eston et al., 2000). Ainda, embora diversos fisiculturistas treinem enfatizando a fadiga muscular existem poucas evidências que suportam essa prática. Na verdade, alguns estudos mostraram que o treino até a fadiga ou exaustão não é pré-

requisito para que ocorram adaptações na morfologia muscular (Sanborn et al., 2000; Folland et al., 2002).

2.1.1.2 Sinal eletromiográfico

As informações referentes às respostas do sinal eletromiográfico relacionadas à fadiga durante o exercício de força são abundantes (Viitasalo e Komi, 1977; Bigland-Ritchie, 1981; Kellis, 1999; Gabriel et al., 2001; Beltman et al., 2003; Maynard e Ebben, 2003; Hassani et al., 2006; Kawczynski et al., 2007). Uma revisão aprofundada sobre a utilização do sinal eletromiográfico pode ser encontrado em outro documento (Dimitrova e Dimitrov, 2003).

Durante o esforço prolongado o aumento da amplitude do sinal EMG do grupo muscular agonista, normalmente é acompanhado da diminuição do torque produzido, gerando um aumento da razão sinal EMG / torque muscular (Kellis, 1999). Essas alterações têm sido atribuídas a diversos fatores que estão relacionados com os efeitos da fadiga do grupo muscular agonista como, por exemplo, contração prejudicada, mudanças no recrutamento das unidades motoras e diminuição da velocidade de condução do músculo (Tesch et al., 1990; Garrandes et al., 2007), sendo que essas respostas são encontradas em avaliações isométricas (Viitasalo e Komi, 1977; Gabriel et al., 2001; Garrandes et al., 2007) isocinéticas (Garrandes et al., 2007) e “isotônicas” (Grabiner et al., 1991). Entretanto, treinos com baixas intensidades (20% de 1RM), associados à oclusão vascular (kaatsu training), sustentam que o estresse metabólico também promove aumento da atividade muscular, quando comparadas com o mesmo exercício realizado sem oclusão vascular (Takarada et al., 2000). Embora a diminuição da capacidade de produção de força seja evidente, o histórico relacionado a algum tipo de exercício parece exercer uma influência marcante (Garrandes et al., 2007). O estudo de Garrandes et al. (2007) avaliou o torque isométrico e isocinético de ciclistas, triatletas e atletas de potência antes e após 3 séries de 31 repetições máximas envolvendo os extensores dos joelhos. Paralelamente, a atividade eletromiográfica dos três músculos superficiais do quadríceps e do músculo semitendinoso (representando o grupo muscular antagonista) foram analisadas. Os seus resultados mostraram claramente que os atletas de *endurance* (ciclistas e triatletas) foram mais

resistentes à fadiga, não apresentando reduções significativas no torque isométrico, isocinético concêntrico e isocinético excêntrico. Por outro lado, os atletas de potência apresentaram uma redução drástica do torque isométrico e, particularmente, do torque concêntrico, o que foi atribuído a um maior percentual de fibras do tipo II nesses atletas, fibras mais suscetíveis à fadiga, portanto fadiga periférica.

De acordo com Kellis (1999), a diminuição linear da força produzida durante a fadiga pode ser resultante de dois fatores: (1) a inabilidade do músculo produzir força máxima e (2) a habilidade do grupo muscular antagonista (oposto) produzir força durante esse processo. A manutenção da ativação muscular do antagonista, co-ativação, poderia também aumentar a demanda do músculo agonista, especialmente no final do protocolo, quando a fadiga já está instalada (Garrandes et al., 2007).

A co-ativação é conhecida como a contração simultânea de grupos musculares antagônicos durante uma tarefa motora. Esse fenômeno é relevante no grau de produção de força de um determinado grupo muscular, já que o torque dos agonistas é influenciado pelo grau de ativação dos antagonistas (Kellis, 1999; Beltman et al., 2003). Muitos estudos que usaram a amplitude do sinal eletromiográfico reportaram uma atividade considerável da musculatura antagonista (isquiotibiais) durante contrações máximas isométricas e dinâmicas dos extensores do joelho (Garfinkel e Cafarelli, 1992; Kellis e Baltzopoulos, 1996a; Kellis e Baltzopoulos, 1996b; Kellis, 1998, Kellis, 1999; Hassani et al., 2006) e do bíceps braquial, atuando como antagonista dos extensores do cotovelo (Gabriel et al., 2001) e essa atividade antagonista é atribuída à ação estabilizadora desse grupo muscular durante altos níveis de esforço da musculatura agonista (Kellis, 1999).

Os estudos que envolvem a análise do efeito de outras variáveis na atividade muscular durante o TF, tais como: a ordem de execução dos exercícios e o tempo de intervalo entre as séries e entre os exercícios serão abordados no item 2.3.

2.1.2 O dano muscular

A revisão desse item pode ser parcialmente visualizada em um documento publicado anteriormente (Brentano e Krueel, 2011 – Apêndice 3). O

estudo do dano muscular agudo induzido por uma sessão de TF foi exaustivamente investigado em sessões priorizando ações excêntricas (Nosaka e Clarkson, 1994; Mair et al., 1995; Nosaka e Clarkson, 1995; Sorichter et al., 1997; Roth et al., 1999; Roth et al., 2000), ou ainda, comparando somente a influência de contrações concêntricas e excêntricas no grau de microlesões musculares. No entanto, esse tipo de ação também foi investigado durante a corrida (Eston et al., 2000), que tem um grande componente excêntrico na fase de aterrissagem, e no treinamento pliométrico (Marginson et al., 2005). Atualmente, existe praticamente um consenso que exercícios excêntricos promovem os maiores níveis de dano, tanto pela análise de marcadores indiretos, como pela análise do dano nas fibras musculares exercitadas (Roth et al., 1999; Roth et al., 2000), embora sessões de treino priorizando contrações concêntricas também apresentem modificações desses marcadores (Behn et al., 2001; Hollander et al., 2003).

O motivo pelo qual o maior grau de dano ocorre na contração excêntrica deve-se ao fato de que ela é proporcional à tensão aplicada em cada fibra muscular (Eston et al., 2000). Sendo assim, é razoável pensar que a contração excêntrica, por permitir uma maior produção de força, proporcione maiores níveis de dano muscular. Outros aspectos que podem influenciar na magnitude do dano muscular induzida pelo exercício de força, não serão aprofundados. Entretanto, as áreas afetadas, as formas de mensurar o dano induzida pelo exercício de força e as adaptações proporcionadas por esse fenômeno, merecerão atenção.

2.1.2.1 A área do dano muscular

Danos à fibra muscular são normalmente atribuídos à desorganização na estrutura das miofibrilas (ruptura, alargamento ou prolongamento da linha Z) (Newham, 1983; Friden, 1984; Friden et al., 1984; Friden et al., 1992; Miles e Clarkson, 1994; Hortobagyi et al., 1998; Roth et al., 1999; Roth et al., 2000); contudo, acredita-se que alguns filamentos intermediários, como a desmina, são também suscetíveis ao dano (Friden et al., 1984). Evidências de dano por estresse mecânico no tecido conectivo do músculo esquelético de humanos também foram observadas por Brown et al. (1996) e Brown et al., (1997).

Elevadas concentrações urinárias de hidroxilisina e hidroxiprolina (HP) foram encontradas, após a execução de um protocolo de 50 contrações excêntricas máximas com os músculos extensores do joelho. Tanto a HL como a HP são constituintes da estrutura colágena. Portanto, essa resposta fisiológica foi assumida pelos autores como um marcador indireto da quebra do tecido conectivo, uma vez que o colágeno é um componente presente na sua constituição. Não foi possível, porém, identificar a localização exata da provável quebra no tecido conectivo. Apesar disso, se realmente houve dano no tecido conectivo, o endomísio parece ser o principal candidato, uma vez que ele envolve cada fibra muscular e pode interconectá-la com as fibras adjacentes (Stauber, 1989). Portanto, contrações musculares de alta intensidade colocariam cada fibra em situação de elevado estresse mecânico e, conseqüentemente, aumentariam as possibilidades de danos à membrana que envolve a fibra muscular. Os autores sugeriram que uma acomodação das vias metabólicas com maior catabolismo de HP dentro do corpo pode ter influenciado os resultados, uma vez que a dor muscular tardia foi assumida como uma indicação de danos ao tecido muscular, após uma sessão intensa de treinamento de força. Deve ser mencionado que este estudo utilizou um protocolo de treino em circuito, constituído de nove exercícios, sem a predominância de contrações excêntricas.

2.1.2.2 Marcadores de dano muscular

O surgimento de proteínas intramusculares na corrente sanguínea tem, há muito tempo, sido considerado um indicativo de dano às fibras musculares, particularmente ao sarcolema, uma vez que essas proteínas normalmente não são capazes de atravessar a barreira da membrana sarcoplasmática. Medidas da atividade da creatina quinase (CK), mioglobina (Mb) e lactato desidrogenase (LDH) são comumente citadas na literatura especializada (Brentano e Kruehl, 2011). Entre essas substâncias, a CK é considerada o melhor indicador de ruptura na estrutura da célula muscular, uma vez que esse composto fica localizado, quase que exclusivamente, no tecido muscular esquelético e cardíaco (Balnave e Thompson, 1993; Nosaka e Clarkson, 1994; Nosaka e Clarkson, 1995; Brown et al., 1997).

Atualmente, as informações obtidas com esses marcadores podem ser utilizadas para a verificação do tempo necessário para a recuperação daquela sessão de exercício (Brentano e Kruehl, 2011) e, com isso, sugerir um número de dias de intervalo adequado para a realização de uma nova sessão de treino com as mesmas características. Grande parte desses marcadores está associada, sendo assim, esses marcadores serão discutidos a seguir.

2.1.2.2.1 Dor muscular tardia

A dor muscular tardia (DMT) é a sensação de desconforto muscular durante as contrações musculares após 24-48 horas de exercício intenso (Friden e Lieber 2001). Ela também é frequente quando o indivíduo é submetido a alguma sessão de exercícios caracterizada por movimentos em que ele não esteja familiarizado (Friden e Lieber 2001). Os sintomas iniciais são mais evidentes nas junções tendinosas proximal e distal, propagando-se por todo o músculo. Esse efeito normalmente é exacerbado quando o exercício ou a atividade enfatiza ações musculares excêntricas quando comparadas às concêntricas (Hortobagyi et al., 1998; Roth et al., 1999; Roth et al., 2000). A DMT normalmente é acompanhada por perda da força muscular, diminuição da amplitude de movimento e aumentos das concentrações plasmáticas de creatina quinase, sendo que esses valores podem permanecer alterados de 3 a 6 dias após o exercício (Friden e Lieber 2001). A forma mais comum de mensuração da DMT é através de questionários de percepção de dor (Mair et al., 1995; Brown et al., 1997; Nosaka et al., 2001; Nosaka et al., 2002; Hollander et al., 2003; Marginson et al., 2005; Chen et al., 2007) que apresentam uma escala numérica, cujo menor valor refere-se ao menor grau de dor e o maior valor refere-se ao maior grau de dor.

2.1.2.2.2 Força muscular

Um dos marcadores mais simples e de fácil acesso é a análise dos níveis de força muscular, após a sessão de treino. Diversos autores utilizam essa análise nos dias seguintes à sessão de exercício (Brown et al., 1997; Sorichter et al., 1997; Eston et al., 2000; Nosaka et al., 2001; Stupka et al., 2001; Nosaka et al., 2002; Nosaka e Newton, 2002a; Marginson et al., 2005; Chen et al., 2007). Imediatamente após e dois dias seguintes, os níveis de

força do grupo muscular exercitado permanecem abaixo dos valores pré-exercício. O motivo pelo qual os níveis de força diminuem, está relacionado com o próprio dano do músculo. Mais especificamente ao alongamento excessivo dos sarcômeros, resultando em uma sobreposição inadequada dos filamentos contráteis (Faulkner et al., 1993), além de alterações no processo de excitação-contração (Morgan e Allen, 1999). Falkner et al. (1993) sugerem que alguns sarcômeros são alongados além de uma posição em que os filamentos contráteis se sobrepõem, lesionando a fibra, enquanto outros mantêm o seu comprimento. A maioria dos autores analisa os primeiros 3-7 dias de recuperação (Eston et al., 2000; Marginson et al., 2005; Chen et al., 2007). No entanto, alguns estudos mostram curvas de recuperação de 9 dias ou mais (Brown et al., 1997).

2.1.2.2.3 Amplitude de movimento

Com o dano do músculo exercitado, ocorre uma redução da amplitude articular (Behn et al., 2001; Chen et al., 2007). Essa diminuição da amplitude de movimento deve-se a um aumento da tensão passiva do músculo decorrente do exercício excêntrico (Whitehead et al., 2003). A grande maioria dos estudos que analisa esse efeito leva em consideração a diferença entre o ângulo de maior flexão e o ângulo de maior extensão da articulação que envolve o músculo exercitado (Nosaka et al., 2001; Nosaka e Newton, 2002).

2.1.2.2.4 Perímetro do segmento

Nos dias seguintes ao exercício, com o dano das fibras musculares do músculo exercitado ocorre um aumento do perímetro do segmento (Sorichter et al., 1997; Chen e Hsieh, 2001; Nosaka et al., 2001; Nosaka et al., 2002; Nosaka e Newton, 2002a; Chen et al., 2007). A maioria dos trabalhos envolvendo a análise do perímetro do segmento exercitado enfoca a utilização dos flexores do cotovelo (Chen e Hsieh, 2001; Nosaka et al., 2001; Nosaka et al., 2002; Nosaka e Newton, 2002a; Chen et al., 2007). Novamente, embora o aumento do perímetro ocorra quando o indivíduo não está familiarizado com aquele exercício, esse efeito é exacerbado quando o exercício prioriza ações musculares excêntricas (Nosaka e Newton, 2002).

2.1.2.2.5 Atividade da creatina quinase

A CK é uma enzima presente em grande quantidade dentro dos músculos, responsável pela manutenção de níveis adequados de ATP. Durante o exercício, devido a desestruturação dos elementos não-contráteis do músculo, essa enzima é “liberada” para o plasma, aumentando a sua concentração sanguínea nos dias posteriores ao exercício (Sorichter et al., 1997; Chen e Hsieh, 2001; Nosaka et al., 2001; Stupka et al., 2001; Nosaka et al., 2002; Overgaard et al., 2004; Paschalis et al., 2005; Chen et al., 2007). O “comportamento” das concentrações de creatina quinase, ao longo dos dias, é muito semelhante ao da DMT. Normalmente, os maiores níveis de CK e de DMT ocorrem entre 48 e 72 horas após a sessão de exercício. No entanto, essas concentrações podem permanecer elevadas após 7 dias, sem que haja qualquer exercício nesse período.

2.1.2.2.6 Dano ultra-estrutural

Alguns autores, através de biópsia muscular, analisam o dano ultra-estrutural das fibras do músculo exercitado (Friden e Lieber, 1998; Hortobagyi et al., 1998; Roth et al., 1999; Roth et al., 2000). A análise por imagem mostra que frequentemente a extensão do dano abrange vários sarcômeros em série, enquanto em outros casos, ocorre apenas a desestruturação de alguns sarcômeros, de forma isolada. A maioria dos estudos “morfológicos” indica que as linhas (discos) Z são as estruturas mais vulneráveis ao dano induzido pelo exercício excêntrico. No entanto, também são observadas lesões no sarcolema, nos túbulos T, nas miofibrilas e no citoesqueleto (Friden e Lieber 2001). Roth et al. (1999), Roth et al. (2000) e Friden e Lieber (2001) sugerem uma classificação de dano ultra-estrutural bastante semelhante: o dano é “leve” quando um único ou poucos sarcômeros é(são) afetados, normalmente mostrando um espessamento da linha Z, juntamente com um desarranjo miofibrilar. Nos casos “severos”, ocorre dano extensivo, com aparecimento de “borrões” (dispersão do material das linhas Z para os sarcômeros vizinhos) nas linhas Z e perda completa de linhas Z, tanto nas fibras musculares do tipo I como do tipo II, embora alguns estudos mostrem uma inclinação para um maior dano das fibras do tipo II. (Friden e Lieber, 1998).

Alguns autores também analisam a concentração de alguns marcadores indiretos da quebra de colágeno (hidroxiprolina (HP), hidroxilisina (HL), e piridinolina (PID), a fim de sugerir o rompimento das estruturas musculares ricas nesse componente e “confirmar” a ocorrência do dano (Brown et al., 1996; Brown et al., 1997).

2.1.2.3 O “efeito protetor”

Embora todos os marcadores de dano anteriormente citados tenham um período de aparecimento relativamente bem definido, nas sessões de exercício seguintes praticamente todos os indicadores de dano são atenuados (Sorichter et al., 1997; Eston et al., 2000; Chen e Hsieh, 2001; Chen e Nosaka, 2006; Nosaka et al., 2001; Stupka et al., 2001; Nosaka et al., 2002; Nosaka e Newton, 2002b; Marginson et al., 2005). Recentemente, tem-se sugerido que esse comportamento deve-se a um “efeito protetor” proporcionado pelo exercício excêntrico (Eston et al., 2000; Brockett et al., 2001; Chen e Hsieh, 2001; Nosaka et al., 2001; Stupka et al., 2001; Nosaka et al., 2002; Nosaka e Newton, 2002b; Marginson et al., 2005). Embora os mecanismos exatos desse “efeito protetor” sejam incertos, vários autores têm investigado quando esse efeito se mostra presente e o período em que ele permanece (Sorichter et al., 1997; Chen e Hsieh, 2001; Nosaka et al., 2001). Ele ocorre após uma única sessão de treino, e os seus benefícios são encontrados dentro de um período tão breve quanto 24 horas (Chen e Hsieh, 2001) e permanecem durante até 6 meses (Nosaka et al., 2001).

A intensidade do exercício excêntrico parece ser determinante da magnitude desse efeito (Chen et al., 2007), enquanto o volume não exerce um papel fundamental (Chen e Nosaka, 2006). Chen et al., (2007), observaram que ao realizarem sessões de treinamento excêntrico com diferentes intensidades (40%, 60%, 80% e 100% da CVM), para os flexores do cotovelo, todos os marcadores de dano analisados (força máxima, ADM, perímetro, CK, Mb e DMT) foram mais atenuados nas maiores intensidades (80% e 100%), em uma segunda sessão de treino realizada após 2-3 semanas. Ou seja, quanto maior a intensidade da primeira sessão de exercício, maior a “proteção” conferida. Segundo os autores, as diferentes respostas devem-se ao maior

estresse mecânico aplicado, que acarretaria em uma maior “sarcomerogênese”.

Esse efeito parece estar associado com adaptações que acontecem dentro do próprio músculo, devido a uma alteração da relação força x comprimento (Brockett et al., 2001). Inúmeros estudos mostram que após uma única sessão de exercício excêntrico, ocorre um deslocamento para “a direita” da curva força x comprimento, sugerindo um aumento do comprimento muscular induzido pelo exercício (Brockett et al., 2001; Chen et al., 2007). Esses achados são observados nos flexores do joelho (Proske e Morgan, 2001), extensores do joelho (McHugh e Tetro, 2003; Bowers et al., 2004) e nos flexores do cotovelo (Philippou et al., 2004; Chen et al., 2007). Esse aumento, normalmente é atribuído à desestruturação de sarcômeros em série, o que acarreta em um *overstretching*, deixando esses sarcômeros além de uma posição ótima de produção de força, modificando a curva de relação força x comprimento para uma posição mais alongada (Proske e Morgan, 2001; Chen et al., 2007).

Percebe-se um consenso na literatura de que as contrações excêntricas proporcionam maiores níveis de dano agudo, comparadas com as contrações concêntricas. Embora isso seja verdadeiro, a grande maioria dos estudos aborda essa questão tendo as resistências ajustadas para cada fase do movimento. Ou seja, são realizadas contrações concêntricas e excêntricas máximas. Sendo assim, o consenso é baseado em ajustes que usualmente não ocorrem em exercícios com pesos livres. Como colocado anteriormente, a ausência desse ajuste faz com que a carga relativa da ação excêntrica seja subestimada, acarretando em maiores níveis de percepção de esforço e de DMT nas contrações concêntricas (Hollander et al., 2003). Ainda, deve ser salientado que protocolos com 70% de 1RM concêntrico são suficientes para promover alterações de alguns marcadores indiretos de dano muscular, tais como, força, amplitude de movimento e perímetro do segmento exercitado (Behn et al., 2001).

Os estudos que envolvem a análise do efeito de outras variáveis no dano muscular do TF, tais como: a ordem de execução dos exercícios e o tempo de intervalo entre as séries e entre os exercícios serão abordados no item 2.3.

2.2 Dispendio Energético

O dispendio energético (DE) em repouso (Van Etten et al., 1995), durante o exercício (Wilmore et al., 1978; Pichon et al., 1996; Dolezal e Potteiger, 1998; Scott, 1998; Melanson et al., 2002; Thornton e Potteiger, 2002; Hunter et al., 2003; Morgan et al., 2003) e após o exercício (Sedlock et al., 1989; Sedlock, 1991a; Sedlock, 1991b; Melby et al., 1992; Short e Sedlock, 1997; Halton et al., 1999; Binzen et al., 2001; Thornton e Potteiger, 2002; Da Silva et al., 2010) é extensamente estudado através da calorimetria indireta, mais especificamente análise de gases (consumo de oxigênio). Uma revisão mais aprofundada a respeito dessa técnica pode ser encontrada em outro documento (Diener, 1997). Entretanto, alguns pesquisadores também consideram as concentrações de lactato para o cálculo do dispendio energético total da atividade através de um equivalente oxidativo (Hunter et al., 2003). Nesse caso, a variação da concentração de lactato teria relação com o consumo de oxigênio (em litros) e a massa corporal (em quilos) e, a partir desses dois valores, se estimaria o dispendio energético (em kcal) anaeróbio (Hunter et al., 2003). Essas informações ligadas mais especificamente ao TF serão discutidas a seguir.

2.2.1 Taxa Metabólica Basal e Taxa Metabólica de repouso

A Taxa Metabólica de Basal (TMB) é um nível mínimo de energia gasta para manter as funções vitais do organismo em estado de vigília (McArdle et al., 2005). Diener (1997) acrescenta que a TMB representa 60% a 75% do custo energético diário e inclui a energia gasta com a bomba sódio-potássio, a energia utilizada por outros sistemas que auxiliam na manutenção do ambiente eletroquímico das membranas celulares, além da energia utilizada para sintetizar componentes do organismo da energia necessária para o funcionamento dos sistemas cardiovascular, respiratório e da energia gasta pelos mecanismos termorregulatórios para manter a temperatura corporal.

A medida da TMB normalmente é realizada em estado pós-absortivo, sem atividade física prévia e sem a ingestão de qualquer alimento nas doze horas que antecedem o teste, o que elimina a chance de um aumento do metabolismo por efeito da digestão e da assimilação dos nutrientes (McArdle et

al., 2005). Diener (1997) acrescenta que o indivíduo deve ser mantido em repouso em um ambiente termicamente neutro, preferencialmente pela manhã ao acordar.

Nenhuma atividade física deve ser realizada antes da mensuração. Na avaliação, o indivíduo deve permanecer em decúbito dorsal em um meio ambiente termoneutro confortável por aproximadamente 30 minutos, após a captação do oxigênio ocorre por 10 minutos. Muitos fatores como dimensão corporal global, a massa magra, a idade e o gênero influenciam a TMB (Diener, 1997), e os valores médios variam habitualmente entre 160 e 290 ml por minuto ($0,8$ e $1,43 \text{ Kcal}\cdot\text{min}^{-1}$).

Já a taxa metabólica de repouso (TMR) envolve o dispêndio energético necessário à manutenção dos processos fisiológicos no estado pós-absortivo e, dependendo do nível de atividade física, pode compreender aproximadamente 60 a 70% do dispêndio energético total (Meirelles e Gomes, 2004). Entretanto, esses percentuais podem variar, uma vez que a atividade física vai aumentar o dispêndio energético total, diminuindo assim a influência percentual da TMR. A TMB, medida sob condições laboratoriais devidamente controladas, é pouco inferior à TMR, que é avaliada sob condições menos rigorosas (Diener, 1997; McArdle et al., 2005). Sendo assim, para fins de conceituação assume-se que na maioria dos estudos envolvendo a análise do dispêndio energético decorrente do exercício, temos a TMR como referência.

2.2.2. Dispêndio Energético no treinamento de força

O exercício físico exerce o efeito mais profundo sobre o dispêndio energético total. Por exemplo, atletas de classe mundial quase duplicam seu dispêndio energético diário como resultado de um treinamento árduo de 3 ou 4 horas (McArdle et al., 2005). Entretanto, em circunstâncias normais, a atividade física é responsável por entre 15 e 30% do dispêndio energético diário total de uma pessoa (McArdle et al., 2005).

Particularmente no TF, a maior dificuldade para se mensurar o dispêndio energético está justamente nas inúmeras possibilidades de combinações e de seleção dos exercícios, bem como suas variáveis, número de séries, intervalo de recuperação, número de repetições, velocidade de execução e carga (Meirelles e Gomes, 2004). Características individuais tais como gênero, idade,

composição corporal e nível de aptidão física, são consideradas potenciais variáveis intervenientes que tornam impossível a comparação entre os valores observados nos diferentes estudos da área.

O dispêndio energético para protocolos semelhantes de exercícios de força é maior no sexo masculino (Wilmore et al., 1978; Ballor et al., 1989; Morgan et al., 2003), sendo que tal diferença deve-se à maior massa livre de gordura, inerente aos homens, em relação às mulheres (Morgan et al., 2003). Sendo assim, sugere-se que os valores de dispêndio energético sejam expressos em Kcal por quilograma de massa magra, para que se minimizem essas diferenças em trabalhos que envolvam comparação entre gêneros (Meirelles e Gomes, 2004). Ainda, Scott (1998) e Thornton e Potteiger (2002), sugerem que quando a taxa de troca respiratória durante a sessão de treinamento for maior que 1,0 deve-se assumir que o principal substrato energético da atividade é composto por carboidrato. Nesse contexto, utiliza-se 5 Kcal (ou 20,9kJ) gastas por litro de oxigênio consumido; e a maioria dos estudos sobre o tema adotam esse parâmetro na estimativa do dispêndio energético por calorimetria indireta. Entretanto, com a taxa de troca respiratória inferior a esse valor, tem-se utilizado 4,82kcal por litro de oxigênio consumido (Morgan et al., 2003; Paulsen et al., 2003).

Muitos estudos utilizando-se de diferentes protocolos mostram os mais diversos resultados no dispêndio energético decorrente de uma sessão de TF. No primeiro trabalho sobre o tema, Wilmore et al., (1978) encontraram um dispêndio energético de 9,0 kcal.min⁻¹ e 6,1 kcal.min⁻¹ em 20 homens e 20 mulheres, respectivamente. Os indivíduos tinham idade entre 17 e 36 anos e realizaram um TF em forma de circuito, realizando 3 voltas em dez estações de treinamento com duração de 30 segundos de exercício e 15 segundos de repouso entre as estações. Essa diferença não foi observada quando os dados de dispêndio energético foram normalizados pela massa corporal total.

Thornton e Potteiger (2002), estudaram quatorze mulheres divididas em dois grupos onde um realizava um treinamento de força de alta intensidade (2 séries de 8 repetições 85% de 8-RM) e outro realizava treinamento de baixa intensidade (2 séries de 15 repetições com 45% de 8-RM). Neste estudo a amostra realizava nove exercícios e o intervalo entre as séries era de um minuto. O dispêndio energético encontrado no treinamento de alta intensidade

foi de 71,7 kcal e no de baixa intensidade 63,7 kcal. Tendo em vista que a sessão de treinamento de alta intensidade durou aproximadamente 23 minutos e a de baixa intensidade 26 minutos, podemos estimar que o dispêndio energético por minuto foi de 3,1 kcal.min⁻¹ e 2,45 kcal.min⁻¹, respectivamente. No entanto, Morgan et al., (2003) ao realizar um estudo semelhante ao anterior, comparando o dispêndio energético de 2 séries de 15 repetições com 85% de 8RM com 2 séries de 8 repetições com 100% de 8RM observou um gasto médio de 2,4 a 2,8 kcal.min⁻¹, sem encontrar diferenças entre as intensidades.

Melanson et. al. (2002), analisou dez mulheres não obesas em um treinamento em circuito com 70 minutos de duração, composto por 4 séries de 10 repetições utilizando 70% de 1 repetição máxima (1RM), sendo que a última série era realizada até a falha concêntrica. Os exercícios eram realizados em pares e após uma série em cada par de exercícios os indivíduos descansavam por aproximadamente 1 minuto. Neste estudo o dispêndio energético encontrado foi 6,05 kcal.min⁻¹, semelhante ao valor encontrado também em mulheres por Wilmore et. al. (1978).

Burleson et. al. (1998), estudou 15 homens com média de idade de 22 anos e encontrou um dispêndio energético de 7,9 kcal.min⁻¹, realizando um treinamento em circuito composto por 2 séries de oito exercícios, utilizando o número máximo de repetições possíveis durante 45 segundos utilizando 60% de uma repetição máxima e intervalos de um minuto.

Ballor et. al. (1988), analisou 40 mulheres obesas não treinadas em um treinamento com 42 minutos de duração, composto por duas séries de 10 repetições máximas e mais uma série até a fadiga de oito exercícios, encontrando um dispêndio energético de 3,3 kcal.min⁻¹. Em outro estudo dos mesmos autores (Ballor et al., 1989), comparou-se as velocidades de execução das repetições, utilizando homens e mulheres treinados. Neste trabalho, os indivíduos realizavam três séries de trinta segundos com 44% de uma repetição máxima com um minuto de intervalo entre as séries, com diferentes velocidades (lenta, intermediária e rápida). Os valores de dispêndio energético encontrados foram de 7,9kcal.min⁻¹ (homens) e 5,2 kcal.min⁻¹ (mulheres) para a velocidade lenta; 7,6kcal.min⁻¹ (homens) e 5,1kcal.min⁻¹ (mulheres) na velocidade intermediária e 8,0 kcal.min⁻¹ (homens) e 5,0kcal.min⁻¹ (mulheres) utilizando repetições mais rápidas. Entretanto, nesse estudo não houve

diferença entre as condições, ou seja, a velocidade da execução não influenciou no dispêndio energético da sessão de treino.

Utilizando uma variação no tempo de intervalo Halton et. al. (1999), analisou 7 homens treinados com média de idade de 27 anos. A sessão de treino era composta por oito exercícios realizados em duas séries de vinte repetições com 75% de 20RM. Os intervalos utilizados foram de 20 segundos e 60 segundos mostrando dispêndios energéticos de $8,5 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ e $\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente.

Todos esses estudos dão bons indicativos dos aspectos que influenciam no dispêndio energético no treinamento de força, entre eles o gênero e, por consequência, a massa magra, a intensidade (carga), o volume (séries e repetições), e da duração da sessão de treinamento. Esses indicativos mostram que para que se possa verificar a influencia de um desses aspectos no dispêndio energético do treino deve-se, na medida do possível, tentar minimizar o efeito de todos os outros.

Os estudos que envolvem a análise do efeito de outras variáveis no dispêndio energético do TF, tais como: a ordem de execução dos exercícios e o tempo de intervalo entre as séries e entre os exercícios serão abordados no item 2.3.

2.2.3. Dispêndio Energético Pós-Exercício no Treinamento de Força

Após o exercício, o consumo de oxigênio permanece acima dos níveis de repouso por um determinado período de tempo, denotando maior dispêndio energético durante este período. Este consumo extra de O_2 é denominado EPOC (do inglês, *excess post-exercise oxygen consumption*) (Meirelles e Gomes, 2004).

Atualmente, é bastante consistente o fato de que o metabolismo aeróbio elevado durante a recuperação serve para restaurar o corpo para sua condição pré-exercício e é resultado de eventos metabólicos e citológicos que ocorrem durante o exercício. Particularmente no treinamento de força temos uma importante utilização de fontes anaeróbias de energia e essas são ressintetizadas por via aeróbia, influenciando assim o EPOC (Fleck e Kraemer, 2006). As causas do EPOC, decorrentes do exercício intenso, podem ser resumidas em:

- Ressíntese de ATP e CP;
- Ressíntese de lactato para glicogênio (Ciclo de Cori);
- Oxidação de lactato no metabolismo energético;
- Restauração do oxigênio no sangue;
- Efeitos termogênicos da temperatura central elevada;
- Efeitos termogênicos dos hormônios, particularmente das catecolaminas adrenalina e noradrenalina;
- Efeitos da frequência cardíaca elevada, ventilação e outros níveis elevados da função fisiológica.

Muitos autores investigam os efeitos dos mais diversos métodos de treino de força no EPOC (Melby et. al., 1992; Halton et. al., 1999; Thornton e Potteiger, 2002; Da Silva et al., 2010). Os resultados encontrados mostram que variações no tipo, modo, intensidade, duração do treino, modificam as respostas do EPOC, tanto em sua duração como em sua magnitude.

Melby et. al. (1992), estudou 6 homens treinados com média de idade de 24,5 anos. Neste estudo os indivíduos realizaram três séries de 10 a 12 repetições máximas em sete exercícios com um intervalo de 2 minutos entre as séries. O consumo de oxigênio foi medido durante 60 minutos após o treino e mostrou um aumento de aproximadamente 19 Kcal.

Halton et. al (1999), avaliaram sete homens treinados em dois treinamentos de circuito iguais, com intervalos diferentes. O circuito era composto por duas séries de vinte repetições em oito exercícios com intensidade de 75% de 20 RM. Os intervalos eram de 20 segundos e 60 segundos. No circuito com intervalo de 20 segundos o dispêndio energético pós-exercício foi de 52 Kcal enquanto o circuito de 60 segundos o consumo foi de 37 Kcal. Uma curiosidade desse estudo é que quando foi somado o dispêndio total do exercício (DE do exercício + EPOC), o circuito de 60 segundos de intervalo mesmo tendo menor intensidade teve um maior consumo energético total (exercício + repouso). Este fato pode ser explicado pelo fato de que mesmo tendo realizado o mesmo período de exercício (8 minutos) os intervalos diferentes produziram períodos de treinamento diferentes (13 e 23 minutos). Então o consumo de oxigênio foi medido por mais tempo durante o exercício no circuito com intervalo de 60 segundos. Mesmo assim esse estudo mostra claramente uma interferência maior da intensidade

(representada aqui pelo menor intervalo) na magnitude do EPOC; e uma interferência da duração do exercício no DE total.

Tentando modular as variáveis do TF, Thornton e Potteiger (2002), avaliaram 14 mulheres com histórico de 6 meses de treino. A amostra realizava dois treinos diferentes em sua intensidade e em seu número de repetições. No entanto, o trabalho, considerado o somatório dos pesos levantados durante o treino foi planejado para que ficasse semelhante. O treino era composto por 9 exercícios, onde os indivíduos deveriam completar 2 séries de cada um, com 1 minuto de intervalo. No treino mais intenso eram realizadas 8 repetições com 85% de 8RM e no treino menos intenso eram realizadas 15 repetições com 45% de 8RM. Os seus achados mostraram que o EPOC foi maior no treinamento mais intenso que o menos intenso, com valores de 11Kcal e 6 Kcal, respectivamente.

Outro aspecto importante levantado em alguns estudos é a influência do nível de treinamento no EPOC. Binzen et. al. (2001), estudou 12 mulheres treinadas em força a pelo menos um ano, com idades entre 24 e 34 anos. O protocolo de exercícios era composto por 10 exercícios, com 3 séries de 10 repetições (70% de 1RM) e 1 minuto de intervalo entre as séries. Nesse estudo o EPOC de uma hora foi de 31 kcal.

No estudo de Short e Sedlock (1997), 12 indivíduos treinados aerobicamente (VO_2 de pico = $53,3 \text{ ml.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) foram comparados com 10 indivíduos não treinados (VO_2 de pico = $37,4 \text{ ml.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). O treinamento era feito em um cicloergometro com intensidade de 70% do VO_2 de pico. Os indivíduos treinados tiveram uma duração menor do EPOC quando comparados com os destreinados, mas a magnitude do EPOC foi semelhante entre os grupos, mostrando-se um pouco maior para o grupo destreinado.

Sedlock (1991b) verificou o efeito da musculatura trabalhada com relação ao EPOC. Ele analisou em dias separados 8 indivíduos (4 homens e 4 mulheres). O treinamento era realizado por 20 minutos com intensidade de 60% do VO_2 de pico. O que diferenciava o exercício era que em uma sessão foi utilizado um cicloergometro e na outra sessão um *arm crank*, que é um tipo de cicloergometro para os braços. Mesmo assim não houve diferenças significativas na magnitude do EPOC nas diferentes condições 9,2 Kcal para o exercício realizado com os braços e 10,4 Kcal para o exercício realizado com

as pernas. Na duração do EPOC também não foram encontradas diferenças significativas, braços (22,9 minutos) e pernas (24,2 minutos).

Todos esses estudos mostram um EPOC considerável decorrente, tanto de exercícios de força quanto de atividades essencialmente aeróbias. No entanto, ainda assim faltam mais dados a respeito não só de uma sessão de treinamento, mas sim de um período prolongado de treino. Na grande maioria dos artigos citados, procura-se entender o efeito das variáveis do treinamento no EPOC. Entretanto, especificamente no treinamento de força, apenas o número de repetições e a carga foram prioritariamente manipuladas.

Os estudos que envolvem a análise do efeito de outras variáveis no DE pós-exercício decorrente TF, tais como: a ordem de execução dos exercícios e o tempo de intervalo entre as séries e entre os exercícios serão abordados no item 2.3.

2.3 A influência da ordem e do tempo de intervalo nos exercícios de força

O posicionamento do ACSM (2009) sobre os modelos de progressão do TF recomenda que os exercícios para os grandes grupos musculares sejam realizados no início da sessão de treino. Entretanto, vários estudos mostram que, independentemente do tamanho do grupo muscular envolvido, o exercício realizado no início da sessão tem melhor desempenho do que os exercícios realizados posteriormente (Sforzo e Touey, 1996; Simão et al., 2005; Simão et al., 2007; Sonsin et al., 2014). Logo, parece mais razoável que a ordem de execução dos exercícios deva seguir a necessidade do indivíduo e não a quantidade de grupos musculares envolvidos (Simão et al., 2012).

Em relação à influência do intervalo entre as séries de um mesmo exercício, a maioria das análises existentes envolvendo a resposta aguda decorrente de exercícios de força, teve a preocupação de verificar esse efeito no trabalho total de cada exercício (Sforzo e Touey, 1996; Pincivero et al., 1999; Pincivero et al., 2004a; Simão et al., 2005; Spreuwenberg et al., 2006; Simão et al., 2007) e nos níveis de força máxima (Weir, et al., 1994; Matuszak et al., 2003). Entretanto, em menor extensão, alguns achados são observados em relação à atividade muscular (Pincivero et al., 2004a) e ao dano muscular (Silva et al., 2010).

Em relação à ordem de execução dos exercícios, uma das estratégias mais comuns adotada no “empirismo” e comentada por alguns autores (Uchida et al., 2003; Fleck e Kraemer, 2006) para aumentar a intensidade no treinamento de força, baseia-se em pré-fatigar o grupo muscular agonista, através de exercícios sucessivos, sem intervalo entre eles, para esse grupo muscular. Essas técnicas são frequentemente denominadas de super-séries. Uma das formas mais comuns de super-série é conhecida como pré-exaustão. Esse modelo de super-série normalmente utiliza um exercício monoarticular, seguido imediatamente de um exercício multiarticular para o mesmo grupo muscular (Fleck e Kraemer, 2006). Essa estratégia nada mais é do que ordenar os exercícios para o mesmo grupo muscular de forma que eles fiquem agrupados.

Entretanto, a pré-fadiga da musculatura agonista foi escassamente investigada, tendo o estudo de Augustsson et al (2003) como pioneiro na análise da atividade muscular, e, mais recentemente, o de Da Silva et al (2010) na análise do dispêndio energético, apenas no pós-exercício.

A partir dessa breve introdução, serão abordadas algumas respostas agudas que são influenciadas pela ordem de execução dos exercícios de força.

2.3.1 A influência da ordem e do tempo de intervalo em exercícios de força, no trabalho total

O primeiro estudo que verificou o efeito da ordem dos exercícios no trabalho total foi o de Sforzo e Touey (1996). Na ocasião, homens treinados realizaram quatro series de oito repetições máximas em exercícios para membros superiores (supino e tríceps na polia alta) e membros inferiores (Agachamento e extensão de joelhos), em duas sessões com ordenamento diferente. Em uma delas os exercícios multiarticulares foram realizados no início da sessão enquanto a outra foi iniciada com os exercícios monoarticulares. Seus resultados mostraram que, independente do volume muscular, os exercícios realizados no início da sessão tiveram um maior trabalho total (séries x repetições x carga utilizada).

Mais recentemente, Simão et al., (2005) utilizando exercícios para grandes e pequenos grupos musculares de membros superiores (supino, meio

desenvolvimento, rosca direta e tríceps na polia alta), realizados com ordenamento diferente em cada sessão, encontrou resultados similares: os exercícios realizados no início da sessão tiveram um maior número de repetições realizadas. Seus resultados foram praticamente replicados em um estudo um pouco mais recente (Simão et al., 2007).

Especificamente em séries de pré-exaustão, Gentil et al., (2007) comparou o trabalho total realizado com a pré-exaustão (PRE) e o sistema de prioridade (PRI) em que os exercícios multiarticulares foram realizados imediatamente antes dos monoarticulares. Seus resultados mostraram um maior trabalho total no voador, em PRI, e um maior trabalho total no supino em PRE, corroborando com os achados de estudos anteriores.

Esses achados sugerem um efeito relevante da ordem de execução dos exercícios de força no trabalho total, sugerindo que os exercícios prioritários sejam colocados no início da sessão de treino, independente do volume muscular envolvido.

2.3.2 A influência da ordem e do tempo de intervalo em exercícios de força, na atividade muscular

O padrão de recrutamento das unidades motoras dos grupos musculares treinados parece ser influenciada pela ordem de execução dos exercícios de força (Soncin et al., 2014). Recentemente, Soncin et al., (2014) realizaram duas sequências diferentes de exercícios para membros superiores (supino, crucifixo, meio desenvolvimento, elevação lateral, supino fechado e tríceps testa). Em linhas gerais, foi observada maior atividade eletromiográfica dos grandes grupos musculares quando esses eram solicitados no início da sessão de treino.

Especula-se que menores intervalos e exercícios para o mesmo grupo muscular realizados em sequência, produzam maior esforço muscular (Fleck e Kraemer, 2006). Essa é a premissa da utilização de super-séries de pré-exaustão ou intervalos curtos entre as séries de um mesmo exercício. Nesse contexto haveria maior recrutamento de unidades motoras do grupo muscular de interesse, conforme a fadiga se instala (Gentil et al., 2007).

Entretanto, estudos com super-séries de pré-exaustão não mostraram maior atividade muscular quando os exercícios para o mesmo grupo muscular

eram realizados de forma agrupada, com um exercício monoarticular seguido imediatamente de um multiarticular (Augustsson et al. 2003; Gentil et al., 2007; Brennecke et al. 2009). Augustsson et al. (2003) encontraram menor atividade muscular do quadríceps (vasto medial e reto femoral) ao realizar a “extensão de joelhos” imediatamente antes do “leg-press”, quando comparado apenas com o “leg-press”. Brennecke et al. (2009) observaram menor atividade muscular do tríceps braquial no modelo de pré-exaustão (“tríceps na polia alta” + “supino reto”), comparado apenas ao exercício “supino reto”. Gentil et al., (2007) ao realizarem exercícios visando pré-fatigar os músculos peitoral maior, deltóide anterior, também não encontraram resultados promissores na utilização da técnica de pré-exaustão com a realização do exercício “voador”, seguido imediatamente do “supino reto”. Esses autores sugerem que, com a fadiga do grupo muscular de interesse, no primeiro exercício, outros grupos musculares seriam mais recrutados (acessórios) no segundo exercício.

Entretanto, outros achados sugerem maior atividade da musculatura agonista em super-séries de pré-exaustão quando são utilizadas cargas (% de 1RM) moderadas (Junior et al., 2010). Junior et al., (2010) observaram maior atividade do quadríceps durante o exercício “leg-press”, quando realizado imediatamente após o exercício “extensão de joelhos” utilizando cargas entre 30% e 60% de 1RM. Segundo esses autores, cargas moderadas otimizariam o efeito da pré-exaustão pelo baixo efeito inibitório proporcionado pelos órgãos tendinosos de golgi, diferentemente do modelo tradicional com cargas maiores que estimulariam em demasia esse proprioceptor e, conseqüentemente, levariam a uma diminuição da atividade muscular no segundo exercício para o mesmo grupo muscular.

A partir dos resultados de Augustsson et al. (2003), Gentil et al., (2007), Brennecke et al. (2009) e Junior et al., (2010) o modelo de pré-exaustão muscular tradicional não seria indicado, a não ser que cargas moderadas fossem utilizadas. Alguns desses autores cogitam a outro modelo de super-séries de pré-exaustão onde os exercícios para o maior grupo muscular são realizados imediatamente antes do exercício para o grupo muscular de interesse, ao contrário do modelo tradicional. Nesse cenário haveria maior possibilidade da premissa desse modelo de super-série ser confirmada. No

entanto, essa forma alternativa de tentar pré-exaurir o grupo muscular de interesse parece negligenciada na literatura especializada.

Dessa forma, o papel de modelos de treinamento que manipulam a ordem de execução de exercícios de força, na atividade muscular, permanece inconclusivo e merece atenção na área.

2.3.3 A influência da ordem e do tempo de intervalo em exercícios de força, no dano muscular

Nos exercícios com pesos livres e em equipamentos de musculação, em que a mesma carga é utilizada nas fases concêntrica e excêntrica do exercício, quando consideramos o efeito do tempo de intervalo entre exercícios para o mesmo grupo muscular, poucos estudos abordaram a resposta de marcadores de dano, e os resultados são controversos (Mayhew et al., 2005; Machado e Willardson 2010; Silva et al., 2010). Mayhew et al., (2005) mostraram que intervalos curtos (1 minuto) entre 10 séries (10 repetições com 65% de 1RM) de leg-press promovem maior incremento de CK, quando comparados com intervalos longos (3 minutos). Machado and Willardson (2010), utilizando os mesmos intervalos, tiveram resultados semelhantes em indivíduos classificados como “mais responsivos”. Por outro lado, Silva et al., (2010) não encontraram diferenças entre intervalos curtos (30 segundos) e longos (90 segundos) entre 5 séries (85% de 1RM, até a falha concêntrica) de “roscas diretas”.

Entretanto, na revisão realizada, não foram encontrados estudos que analisassem o efeito de modelos de treinamento que manipulam a ordem de exercícios de força, no dano muscular.

2.3.4 A influência da ordem e do tempo de intervalo em exercícios de força, no dispêndio energético

Estudos têm demonstrado que a intensidade do treino (i.e. %1RM) e movimentos explosivos são determinantes para um maior VO_2 , EPOC e DE no TF (Thornton e tal., 2002; Mazzetti et al., 2007). A ordem dos exercícios, também considerado indicador de intensidade do exercício, até então foi escassamente analisado (Farinatti et al. 2009). Farinatti et al., 2009 mostraram um maior DE quando o exercício é realizado no final da sessão. Entretanto, o

DE total da sessão para membros superiores não é afetado pela ordem de execução (Farinatti et al. 2009).

Diferentes intervalos entre os exercícios, por outro lado, foram mais amplamente abordados. Ratamess et al., (2007) mostraram que intervalos pequenos (30 segundos e 1 minuto) produzem um maior DE comparados com intervalos maiores (2 a 5 minutos) entre séries de um mesmo exercício (supino reto). Seus achados mostram uma relação direta da fadiga com a resposta metabólica e uma relação inversa entre o tempo de intervalo e a resposta metabólica aguda decorrente do exercício supino com cargas entre 75% e 85% de 1RM. Recentemente, Scott e Earnest (2011) mostraram que a realização de exercícios com fadiga muscular promove um maior DE do que exercícios sem fadiga. Entretanto, foi utilizado apenas um exercício (supino reto) em cada sessão.

Pelo nosso conhecimento, existem apenas dois estudos abordando super-séries e DE (Benton e Swan, 2009; Da Silva et al., 2010) e os seus resultados são controversos. Benton e Swan (2009) compararam o DE induzido por cargas equivalentes a 50% e 80% de 1RM na execução de 8-12 repetições em exercícios para membros superiores e inferiores. Seus achados mostraram maior DE com as cargas mais elevadas (80% de 1RM), o que resultou em um maior trabalho total, fator que pode ter sido determinante para o maior DE. Por outro lado, Da Silva et al., (2010) ao compararem super-séries de pré-exaustão com séries alternadas por segmento, com trabalho total controlado, não encontraram diferenças no EPOC de mulheres fisicamente ativas.

Entretanto, os dois trabalhos sobre super-séries e DE abordaram apenas mulheres e analisaram apenas o DE pós exercício (EPOC), mostrando uma carência de informações sobre essa estratégia de treino no DE decorrente do TF.

2.4 Referências bibliográficas

1. ACSM Position stand: Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* (2009) 41(3): 687 – 708.

2. AHMADI, S.; SINCLAIR, P.J. FOROUGH, N.; DAVIS, G.M. Electromyographic activity of the biceps brachii after excise-induced muscle damage. *Journal of Sports Science and Medicine* (2007) 6: 461 – 470.
3. AHTIAINEN, J.P.; PARAKINEN, A.; ALEN, M.; KRAEMER, W.J.; HAKKINEN, K. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol* (2003) 89: 555 – 563.
4. AUGUSTSSON, J.; THOMÉÉ, R.; HORNSTEDT, P.; LINDBLUM, J.; KARLSSON, J.; GRIMBY, G. Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *J Strength Cond Res* (2003) 17: 411 – 416.
5. BALLOR, D.L.; KATCH, V.L.; BECQUE, M.D.; MARKS, C.R. Resistance weight training during caloric restriction enhances lean body weight maintenance. *Am J Clin Nutr* (1988) 47: 19 – 25.
6. BALLOR, D.L.; BECQUE, M.D.; KATCH, V.L.; Energy output during hydraulic resistance circuit exercise for males and females. *J Appl Sport Sci Res* (1989) 3: 7 – 12.
7. BALNAVE, C.D.; THOMPSON, M.W. Effect of training on eccentric exercise-induced muscle damage. *J Appl Physiol* (1993) 75: 1545 – 1551.
8. BEHN, D.G.; BAKER, K.M.; KELLAND, R.; LOMOND, J. The effect of muscle damage on strength and fatigue deficits. *J Strength Cond Res* (2001) 15: 255 – 263.
9. BELTMAN, J.G.M.; SARGEANT, A.J.; BALL, D.; MAGANARIS, C.N.; HAAN, A. Effect of antagonist muscle fatigue on knee extension torque. *Pflugers Arch – Eur J Physiol* (2003) 446: 735 – 741.
10. BENTON, M.J., SWAN, P.D. (2009) Influence of resistance exercise volume on recovery energy expenditure in women. *European Journal of Sport Science* (2009) 9(4): 231–218.
11. BINZEN, C.A.; SWAN, P.D.; MANORE, M.M. Post-exercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in woman. *Med Sci Sports Exerc* (2001) 33: 932 – 938.
12. BOMPA, T.O. *A periodização no treinamento esportivo*. São Paulo. Manole, 2001.

13. BORG, G. **Escalas de Borg para a dor e o esforço percebido**. São Paulo-SP. Manole, 2000.
14. BOWERS, E.J.; MORGAN, D.L.; PROSKE, U. Damage to the human quadriceps muscle from eccentric exercise and the training effect. **J Sports Sci** (2004) 22: 1005 – 1014.
15. BRENNECKE, A.; GUIMARÃES, T.M.; LEONE, R.; CADARCI, M.; MOCHIZUKI, L.; SIMÃO, R.; AMADIO, A.C.; SERRÃO, J.C. Neuromuscular activity during bench press exercise performed with and without the preexhaustion method. **J Strength Cond Res** (2009) 23(7): 1933-1940.
16. BRENTANO, M.A.; SILVA, E.M.; CADORE, E.L. KRUEL, L.F.M. Electromiographic signal reliability analysis during maximum and submaximum knee isometric actions. **Rev Port Cien Desp** (2007) 7: 308 – 312.
17. BRENTANO, M.A. CADORE, E.L.; SILVA, E.M.; AMBROSINI, A.B.; COERTJENS, M.; PETKOWICZ, R.; VIERO, I.; KRUEL, L.F.M. Physiological adaptations to strength training in postmenopausal women with bone loss. **J Strength Cond Res**. (2008) 22: 1816 – 1825.
18. BRENTANO, M.A.; KRUEL, L.F.M. A review on strength exercise-induced muscle damage: applications, adaptation mechanisms and limitations. **J Sports Med Phys Fit** (2011) 51:1-10
19. BROCKETT, C.L.; MORGAN, D.L.; PROSKE, U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. **Med Sci Sports Exerc** (2001) 33: 783 – 790.
20. BROWN, S.J. ET AL. Effect of eccentric exercise on human skeletal muscle damage and indices of collagen breakdown. **J Physiol** (1996) 495: 141P.
21. BROWN, S.J.; CHILD, S.H. DONNELLY, A.E. Indices of skeletal muscle damage and connective tissue breakdown following eccentric muscle contractions. **Eur J Appl Physiol** (1997) 75: 369 – 374.
22. BURLESON, M.A.Jr.; O'BRYANT, H.S.; STONE, M.H.; COLLINS, M.A.; TRIPLETT-McBRIDE, T. Effect of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. **Med Sci Sports Exerc** (1998) 30: 518 – 522.
23. CAMPOS, G.E.R.; LUECKE, T.J.; WENDELN, H.K.; TOMA, K.; HAGERMAN, F.C.; MURRAY, T.F.; RAGG, K.E.; RATAMESS, N.A.;

- STARON, R.S. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* (2002) 88: 50 – 60.
24. CHEN, T.C.; HSIEH, S.S. Effects of a 7-day eccentric training period on muscle damage and inflammation. *Med Sci Sports Exerc* (2001) 33: 1732 – 1738.
25. CHEN, T.C.; NOSAKA, K. Effects of number of eccentric muscle actions on first and second bouts of eccentric exercise of the elbow flexors. *J Sci Med Sport* (2006) 9: 57 – 66.
26. CHEN, T.C.; NOSAKA, K.; SACCO, P. Intensity of eccentric exercise, shift of optimum angle, and the magnitude of repeated-bout effect. *J Appl Physiol* (2007) 102: 992 – 999.
27. DA SILVA, R.L.; BRENTANO, M.A.; KRUEL, L.F.M. Effects of different strength training methods on postexercise energetic expenditure. *J Strength Cond Res* (2010) 4(8): 2255 – 2260.
28. DIENER, J. R. C. Calorimetria Indireta. *Rev Ass Med Brasil* (1997) 43: 245 – 253.
29. DIMITROVA, N.A.; DIMITROV, G.V. Interpretation of EMG changes with fatigue: facts, pitfalls, and fallacies. *J Electrom Kinesiol* (2003) 13: 13 – 36.
30. DOLEZAL, B.A.; POTTEIGER, J.A. Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate in nondieting individuals. *J Appl Physiol* (1998) 85: 695 – 700.
31. EBBELING, C.B.; CLARKSON, P.M. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med* (1989) 7: 207 – 234.
32. ELLWANGER, R.B.; BRENTANO, M.A. KRUEL, L.F.M. Efeito da utilização de diferentes velocidades do treino de força em marcadores indiretos de lesão muscular. *Rev Bras Ed Fis Esp* (2007) 21: 259 – 270.
33. ESTON, R.G.; LEMMEY, A.B.; McHUGH, P.; BYRNE, C.; WALSH, S.E. Effect of stride length on symptoms of exercise-induced muscle damage during a repeated bout of downhill running. *Scand J Med Sci Sports* (2000) 10: 199 – 204.
34. FARINATTI, P.T.V.; SIMÃO, R.; MONTEIRO, W.B.; FLECK, S.J. Influence of exercise order on oxygen uptake during strength training in young women. *J Strength Cond Res* (2009) 23(3): 1037-1044.

35. FAULKNER, J.A.; BROOKS, S.V.; OPITEK, J.A. Injury to skeletal muscle fibres during contractions: conditions of occurrence and prevention. *Phys Ther* (1993) 73: 911 – 921.
36. FELICI, F. Neuromuscular responses to exercise investigated through surface EMG. *J Electromyogr Kinesiol* (2006) 16: 578 – 585.
37. FLECK, J.F.; KRAEMER, W.J. *Fundamentos do Treinamento de Força Muscular*, 3ª ed. Porto Alegre. ArtMed, 2006.
38. FRIDEN, J. Muscle soreness after exercise: implications of morphological changes. *Int J Sports Med* (1984) 5: 57 – 66.
39. FRIDEN, J.; KJORELL, U.; THORNELL, L.E. Delayed muscle soreness and cytoskeletal alterations: an immunocytological study in man. *Int J Sports Med* (1984) 5: 15 – 18.
40. FRIDEN, J.; LIEBER, R.L. Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Med Sci Sports Exerc* (1992) 24: 521 – 530.
41. FRIDEN, J.; LIEBER, R.L. Segmental muscle fiber lesions after repetitive eccentric contractions. *Cell Tissue Res* (1998) 293: 165 – 171.
42. FRIDEN, J.; LIEBER, R.L. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. *Acta Physiol Scand* (2001) 171: 321 – 326.
43. GABRIEL, D.A.; JEFFREY, R.B. KAI-NAN AN. Neural adaptations to fatigue: implications for muscle strength and training. *Med Sci Sports Exerc* (2001) 33: 1354 – 1360.
44. GARFINKEL, S.; CAFARELLI, E. Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Med Sci Sports Exerc* (1992) 24: 1220 – 1227.
45. GARRANDES, F.; COLSON, S.R.; PENSINI, M.; SEYNNES, O.; LEGROS, P. Neuromuscular fatigue profile in endurance-trained and power-trained athletes. *Med Sci Sports Med* (2007) 39: 149 – 158.
46. GRABINER, M.D.; KOH, T.J.; MILLER, G.F. Fatigue rates of vastus medialis oblique and vastus lateralis during static and dynamic knee extension. *J Orthop Res* (1991) 9: 391 – 397.
47. GENTIL, P.; OLIVEIRA, E.; JUNIR, V.A.R.; CARMO, J.; BOTTARO, M. Effects of exercise order on upper-body muscle activation and exercise performance. *J Strength Cond Res* (2007) 21(4): 1082-1086.

48. HAKKINEN, K.; PARAKINEN, A.; KRAEMER, W.J. Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. **J Gerontol A Biol Sci Med Sci** (2000) 55A: B95 – B105.
49. HAKKINEN, 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** (2001a) 171: 51-62.
50. HAKKINEN, K.; PARAKINEN, A.; KRAEMER, W.J.; HAKKINEN, 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** (2001b) 91: 569 – 580.
51. HALTON, R.W.; KRAEMER, R.R.; SLOAN, R.A.; HEBERT, E.P.; FRANK, K.; TRYNIECKI, J.L. Circuit weight training and its effects on excess post-exercise oxygen consumption. **Med Sci Sports Exerc** (1999) 31: 1613 – 1618.
52. HAMLIN, M.J.; QUIGLEY, B.M. Quadriceps concentric and eccentric exercise 1: changes in contractile and electrical activity following eccentric and concentric exercise. **J Science and Med in Sport** (2001a) 4: 88 – 103.
53. HAMLIN, M.J.; QUIGLEY, B.M. Quadriceps concentric and eccentric exercise 2: differences in muscle strength, fatigue and EMG activity in eccentrically-exercised sore and non-sore muscles. **Science and Med in Sport** (2001b) 4: 104 – 115.
54. HASS, C.J.; GARZARELLA, L.; DE HOYOS, D.; POLLOCK, M.L. Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. **Med Sci Sports Exerc** (2000) 32: 235 – 242.
55. HASSANI, A.; PATIKAS, D.; BASSA, E.; HATZIKOTOULAS, K.; KELLIS, E.; KOTZAMANIDIS, C. Agonist and antagonist muscle activation during maximal and submaximal isokinetic fatigue tests of knee extensors. **J Electromyography Kinesiol** (2006) 16: 661 – 668.
56. HILL, J.O.; MELBY, C.; JOHNSON, S.L.; PETERS, J.C. Physical activity and energy requirements. **Am J Clin Nutr** (1995) 62: 1059S – 1066S.
57. HOLLANDER, D. B.; DURAND, R.J.; TRYNICKI, J.L.; LAROCK, D.; CASTRACANE, V.D.; HEBERT, E.P.; KRAEMER, R.R. RPE, pain, and

- physiological adjustment to concentric and eccentric contractions. *Med Sci Sports Exerc* (2003) 35: 1017-1025.
58. HORTOBAGYI, T.; HOUMARD, J.; FRASER, D.; DUDEK, R.; LAMBERT, J.; TRACY, J. Normal forces and myofibrillar disruption after repeated eccentric exercise. *J Appl Physiol* (1998) 84: 492 – 498.
59. HUNTER, G.R.; SEELHORLST, D.; SNYDER, S. Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow vs. Traditional resistance training. *J Strength Con Res* (2003) 17: 76 – 81.
60. JUNIOR, V.A.R.; BOTTARO, M.; PEREIRA, M.C.C.; SNDRAGE, M.M.; JUNIOR, P.R.W.; CARMO, J.C. Electromyographic analyses of muscle pre-activation induced by single joint exercise. *Rev Bras Fisioter* (2010) 14(2): 158-165.
61. KELLIS, E. Quantification of quadriceps and and hamstring antagonist activity. *Sports Med* (1998) 26: 37 – 62.
62. KELLIS, E. The effects of fatigue on the resultant joint moment, agonist and antagonist electromyographic activity at different angles during dynamic knee extension efforts. *J Electromyography Kinesiol* (1999) 9: 191 – 199.
63. KELLIS, E.; BALTZOPOULOS, V. Agonist and antagonist EMG-angle relationship during isokinetic eccentric and concentric exercise. *Isokin Exerc Sci* (1996a) 6: 79 - 87.
64. KELLIS, E.; BALTZOPOULOS, V. The effects of normalization method on antagonist activity during concentric and eccentric isokinetic knee extension and flexion. *J Electromyogr Kinesiol* (1996b) 6: 235 – 245.
65. KRAEMER, W.J.; GORDON, S.E. FLECK, S.J. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sport Med* (1991) 12: 228 – 235.
66. KRAEMER, W.J.; DZIADOS, J.E.; MARCHITELLI, L.J.; GORDON, S.E.; HARMAN, E.; MELLO, R.; FLECK, S.J.; FRYKMAN, P.N.; TRIPPLET, N.T. Effects of different heavy-resistance exercise protocols on plasma B-endorphin concentrations. *J Appl Physiol* (1993) 74: 450 – 459.
67. KRAEMER, W.J.; STARON, R.S.; HAGERMAN, F.C.; HIKIDA, R.S.; FRY, A.C.; GORDON, S.E.; NINDL, B.C.; GOTHSHALK, L.A.; VOLEK, J.S.; MARX, J.O.; NEWTON, R.U.; HAKKINEN, K. The effects of short-term

- resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J Appl Physiol* (1998) 78: 69 – 76.
68. LAMBERT, C.P.; FLYNN, M.G. Fatigue during high-intensity intermittent exercise: application to bodybuilding. *Sports Med* (2002) 32: 511 – 522.
69. LOMBARDI, V.P. *Beggining weight training: the safe and effective way*. Dubuque, 1989.
70. MACHADO, M.; WILLARDSON, J.M. Short recovery augments magnitude of muscle damage in high responders. *Med Sci Sports Exerc* (2010) 42:1370-1374.
71. MAIR, J.; MAYR, M.; MULLER, E.; KOLLER, A.; HAID, C.; ARTNER-DWORZAK, E.; CALZORALI, C.; LARUE, C.; PUSCHENDORF, B. Rapid adaptation to eccentric exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* (1995) 16: 352 – 356.
72. MARGINSON, V.; ROWLANDS, A.N.; GLESSON, N.P.; ESTON, R.G. Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage following initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. *J Appl Physiol* (2005) 99: 1174 – 1181.
73. MARX, J.O.; RATAMESS, N.A.; NINDL, B.C.; GOTSHALK, L.A.; VOLEK., J.S.; DOHI, K.; BUSH, J.A.; GOMEZ, A.L.; MAZZETTI, S.A.; FLECK, S.J.; HAKKINEN, K.; NEWTON, R.U.; KRAEMER, W.J. Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Med Sci Sports Exerc* (2001) 33: 635 – 643.
74. MATUSZAK, M.E.; FRY, A.C.; WEISS, L.W.; IRELAND, T.R.; MCKNIGHT, M.M. Effect of rest interval length on repeated 1 repetition maximum back squats. *J Strength Cond Res* (2003) 17: 634 – 637.
75. MAZZETTI, S., DOUGLASS, M., YOCUM, A.; HARBER, M. Effect of explosive versus slow contractions and exercise intensity on energy expenditure. *Med Sci Sports Exer* (2007) 39(8), 1291-1301.
76. MAYHEW, D.L.; THYFAULT, J.P.; KOCK, A.J. Rest-interval length affects leukocyte levels during heavy resistance exercise. *J Strength Cond Res* (2005) 19:16-22.
77. MAYNARD, J.; EBBEN, W.P. The effects of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *J Strength Cond Res* (2003) 17: 469 – 474.

78. McARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. **Fisiologia do Exercício Energia, Nutrição e Desempenho Humano**. 5. ed. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, 2005.
79. McCALL, G.E.; BYRNES, W.C.; DICKINSON, P.M.; PATTANY, P.M.; FLECK, S.J. Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. **J Appl Physiol** (1996) 81: 2004 – 2012.
80. McHUGH, M.P.; TETRO, D.T. Changes in the relationship between joint angle and torque production associated with the repeated bout effect. **J Sports Sci** (2003) 21: 927 – 932.
81. MEIRELLES, C. M.; GOMES, P.S.C. Efeitos agudos da atividade contra-resistência sobre o gasto energético: revisitando o impacto das principais variáveis. **Rev Bras Med Esporte** (2004) 10: 122 – 130.
82. MELANSON, E.L.; SHARP, T.A.; SEAGLE, H.M.; DONAHO, W.L.; GRUNWALD, G.K.; PETERS, J.C.; HAMILTON, J.T.; HILL, J.O. Resistance and aerobic exercise have similar effects on 24-h nutrient oxidation. **Med Sci Sports Exerc** (2002) 34: 1793 – 1800.
83. MELBY, C.L.; TINCKNELL, T.; SCHMIDT, W.D. Energy expenditure following a bout of non-steady state resistance exercise. **J Sports Med Phys Fitness** (1992) 32: 128 – 135.
84. MILES, M.P.; CLARKSON, P.M. Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. **J Sports Med Phys Fitness** (1994) 34: 203 – 216.
85. MORGAN, D; ALLEN, D. Early events in stretch—induced muscle damage. **J Appl Physiol** (1999) 87: 2007 – 2015.
86. MORGAM, B.; WOODRUFF, S.J.; TIIDUS, P.M. Aerobic energy expenditure during recreational weight training in females and males. **J Sports Sci Med** (2003) 2: 117 – 122.
87. MORITANI, M.A.; DE VRIES, H.A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. **Am J Phys Med** (1979) 58: 115 – 130.
88. 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** (1989) 59: 310 – 319.

89. NARICI, M.V.; HOPPELER, H.; KAYSER, B.; LANDONI, L.; CLAASSEN H.; GAVARDI, C.; CONTO, M.; CERRETELLI, P. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand* (1996) 157: 175 – 186.
90. NEWHAM, D.J. Ultrastructural changes after concentric after concentric and eccentric contractions of human muscles. *J Neural Sci* (1983) 61: 109- 122.
91. NOSAKA, K.; CLARKSON, P.M. Effect of eccentric exercise on plasma enzyme activities previously elevated by eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol* (1994) 69: 492 – 497.
92. NOSAKA, K.; CLARKSON, P.M. Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc* (1995) 27: 1263 – 1269.
93. NOSAKA, K.; NEWTON, M. Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* (2002a) 34: 63 – 69.
94. NOSAKA, K.; NEWTON, M. Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *J Strength Cond Res* (2002b) 16: 202 – 208.
95. NOSAKA, K.; SAKAMOTO, K.; NEWTON, M.; SACCO, P. How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Med Sci Sports Exerc* (2001) 33: 1490 – 1495.
96. NOSAKA, K.; NEWTON, M.; SACCP, P. Responses of human flexor muscles to electrically stimulated forced lengthening exercise. *Acta Physiol Scand* (2002) 174: 137 – 145.
97. PASCHALIS, V.; KOUTEDAKIS, Y.; BALZOPPOULUS, V.; MOUGIOS, V.; JAMURTAS, A.Z.; GIAKAS, G. Short vs. Long length of rectus femoris during eccentric exercise in relation to muscle damage in healthy males. *Clin Biomech* (2005) 20: 617 – 622.
98. PAULSEN, G.; MYKLESTAD, D.; RAASTAD, T.; The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *J Strength Cond Res* (2003) 17: 115 – 120.
99. PHILIPPOU, A.B.; BOGDANIS, G.C.; NEVILL, A.M.; MARIDAKI, M. Changes in the angle-force curve of human elbow flexors following eccentric and isometric exercise. *Eur J Appl Physiol* (2004) 93: 237 – 244.

100. PICHON, C.E.; HUNTER, G.R.; MORRIS, M.; BOND, R.L.; METZ, J. Blood pressure and heart rate response and metabolic cost of circuit versus traditional weight training. *J Strength Cond Res* (1996) 10: 153 – 156.
101. PINCIVERO, D.M.; LEPHART, S.M.; KARUNAKARA, R.G. Effects of intrasession rest interval on strength recovery and reliability during high intensity exercise. *J Strength Con Res* (1998) 12: 152 – 156.
102. PINCIVERO, D.M.; GEAR, W.S.; MOYNA, N.M.; ROBERTSON, R.J. The effects of rest interval on quadriceps torque and perceived exertion in healthy males. *J Sports Med Phys Fitness* (1999) 39: 294 – 299.
103. PINCIVERO, D.M.; CAMPY, R.M. The effects of rest interval length and training on quadriceps femoris muscle. Part I: knee extensor torque and muscle fatigue. *J Sports Med Phys Fitness* (2004a) 44: 111 – 118.
104. PINCIVERO, D.M.; CAMPY, R.M.; KARUNAKARA, R.G. The effects of rest interval and resistance training on quadriceps femoris muscle. Part II: EMG and perceived exertion. *J Sports Med Phys Fitness* (2004b) 44: 224 – 232.
105. RHEA, M.R.; ALVAR, B.A.; BALL, S.D.; BURKETT, L.N. Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *J Strength Con Res* (2002) 16: 525 – 529.
106. RICHMOND, S.R.; GODARD, M.P. The effects of varies rest periods between sets to failure using the bench press in recreationally trained men. *J Strength Cond Res* (2004) 18: 846 – 849.
107. ROTH, S.M.; MARTEL, G.F.; IVEY, F.M.; LEMMER, J.T.; TRACY, B.L.; HURLBUT, D.E.; METTER, E.J.; HURLEY, B.F.; ROGERS, M.A. Ultrastructural muscle damage in young vs. Older men after high-volume, heavy-resistance strength training. *J Appl Physiol* (1999) 86: 1833 – 1840.
108. ROTH, S.M.; MARTEL, G.F.; IVEY, F.M.; LEMMER, J.T.; METTER, E.J.; HURLEY, B.F.; ROGERS, M.A. High-volume, heavy-resistance strength training and muscle damage in young and older women. *J Appl Physiol* (2000) 88: 1112 – 1118.
109. SCHOENFELD, B.J. Potential Mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med* (2013) 43: 179 – 194.

110. SCOTT, C.B. Re-interpreting anaerobic metabolism: an argument for the application of both anaerobic glycolysis and excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) as independent sources of energy expenditure. *J Appl Physiol* (1998) 77: 200 – 205.
111. SCOTT, C.B. Contribution of anaerobic energy expenditure to whole body thermogenesis. *Nutr and Metab* (2005) 2: 14 – 22.
112. SCOTT, C.B.; KEMP, R.B. Direct and indirect calorimetry of lactate oxidation: implications for whole-body energy expenditure. *J Sports Sciences* (2005) 23: 15 – 19.
113. SCOTT, C.B. Estimating energy expenditure for brief bouts of exercise with acute recovery. *Appl Physiol Nutr Metab* (2006a) 31: 144 – 149.
114. SCOTT, C.B. contribution of blood lactate to the energy expenditure of weight training. *J Streng Cond Res*. (2006b) 20: 404 – 411.
115. SCOTT, C.B.; EARNEST, C.P. Resistance exercise energy expenditure is greater with fatigue as compared to non-fatigue. *J Exerc Physiol Online* (2011) 14(1): 1 – 10.
116. SEDLOCK, D.A.; FISSINGER, J.A., MELBY, C.L. Effect of exercise intensity and duration on post-exercise energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc* (1989) 21: 662 – 666.
117. SEDLOCK, D.A. Effect of exercise intensity on post-exercise energy expenditure in women. *Br J Sports Med* (1991a) 25.
118. SEDLOCK, D.A. Post-exercise Energy Expenditure Following Upper Body Exercise. *Res Quarterly Exerc Sport* (1991b) 62: 213 – 216.
119. SFORZO, G.A.; TOUEY, P.R. Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *J Strength Cond Res* (1996) 10: 20 – 24.
120. SHORT, K.R.; SEDLOCK, D.A. Excess post-exercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *J Appl Physiol* (1997) 83: 153 – 159.
121. SILVA, L.E.; PEREIRA, R.; RODRIGUES, V.C.; SILVA, P.A.V.; SILVA, K.M.; MACHADO, M. Length of rest interval between resistance exercises sets: performance and inter-individual variability of CK activity. *J Muscul Res* (2010) 23(4): 187 – 195.

122. SIMÃO, R.; FARINATTI, P.T.V.; POLITO, M.D.; MAIOR, A.S.; FLECK, S.J. Influence of exercise order on the number of repetitions performed and perceived exertion during resistance exercises. *J Strength Cond Res* (2005) 19: 152 – 156.
123. SIMÃO, R.; FARINATTI, P.T.V.; POLITO, M.D.; VIVEIROS, L.; FLECK, S.J. Influence of exercise order on the number of repetitions performed and perceived exertion during resistance exercise in women. *J Strength Cond Res* (2007) 21: 23 – 28.
124. SIMÃO, R.; SALLES, B.F.; FIGUEIREDO, T.; DIAS, I.; WILLARDSON, J.M. Exercise order in resistance training. *Sports Med* (2012) 42(3): 251 – 265.
125. SMILIOS, I.; PILIANIDIS, T.; KARAMOUZIS, M.; TOKMAKIDIS, S.P. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sports Exerc* (2003) 35: 644 – 654.
126. SMITH, L.K.; WEISS, E.L.; LEHMKUHL, L.D. *Cinesiologia Clínica de Brunnstrom*, 5ª ed. São Paulo. Manone, 1997.
127. SONSIN, R.; PENNONE, J.; MAGALHÃES, T.M.; MEZENCIO, B.; AMADIO, A.C. SERRÃO, J.C. Influence of exercise order on electromyographic activity during upper body resistance training. *J Human Kin* (2014) 44: 203 – 209.
128. SORICHTER, S.; MAIR, J.; KOLLER, A.; SECNIC, P.; PARRAK, V.; HAYS, C.; MULLER, E.; PUSCHENDORF, B. Muscular adaptation and strength during the early phase of eccentric training: influence of the training frequency. *Med Sci Sports Med* (1997) 19: 1646 – 1652.
129. SPREUWENBERG, L.P.B.; KRAEMER, W.J.; SPIERLING, B.A.; VOLEK, J.S.; HATFIELD, D.L.; SILVESTRE, R.; VINGREN, J.L.; FRAGALA, M.S.; HAKKINEN, K.; NEWTON, R.U.; MARESH, C.M.; FLECK, S.J. Influence of exercise order in a resistance-training exercise session. *J Strength Cond Res* (2006) 20: 141 – 144.
130. STARON, R.S.; HAGERMAN, F.C.; HIKIDA, R.S. Fibre type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *J Histochem Cytochem* (2000) 48: 623 – 629.
131. STAUBER, W.T. Eccentric action of muscles: physiology, injury, and adaptation. *Exerc Sports Sci Rev* (1989) 17: 157 – 185.

132. STONE, M.; CHANDLER, J.T.; CONLEY, M.S. Training to muscular failure: is it necessary? *Strength Cond J* (1996) 18: 44 – 48.
133. STUPKA, N.; TARNOPOLSKY, M.A.; YARDLEY, N.J.; PHILIPS, S.M. Cellular adaptation to repeated eccentric exercise-induced muscle damage. *J Appl Physiol* (2001) 91: 1669 – 1678.
134. TAKANO, H.; MORITA, T.; LIDA, H.; ASADA, K.; KATO, M.; UNO, K.; HIROSE, K.; MATSUMOTO, A.; TAKENAKA, K.; HIRATA, Y.; ETO, F.; NAGAI, R.; SATO, Y. NAKAGIMA, T. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol* (2005) 95: 65 – 73.
135. TAKARADA, Y.; NAKAMURA, Y.; ARUGA, S. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol* (2000) 88: 61 – 65.
136. TAKARADA, Y.; ISHII, N. Effects of low-intensity resistance exercise with short interset rest period on muscular function in middle-aged women. *J Strength Cond Res* (2002) 16: 123 – 128.
137. TAKARADA, Y.; TSURUTA, T.; ISHII, N. Cooperative effects of exercise and occlusive stimulus on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. *Jap J Physiol* (2004) 54: 585 – 592.
138. TESCH, P.A.; DUDLEY, G.A.; DUVOISIN, M.R.; HATHER, B.M.; HARRIS, R.T. Force and EMG signal patterns during repeated bouts of concentric or eccentric actions. *Acta Physiol Scand* (1990) 138: 263 – 271.
139. THORNTON, M. K.; POTTEIGER, J.A. Effects of Resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Med Sci Sports Exerc* (2002) 34: 715 – 722.
140. UCHIDA, M.C.; CHARRO, M.A.; BACURAU, R.F.P.; NAVARRO, F.; PONTES JÚNIOR, F.L. **Manual de musculação: uma abordagem teórico-prática ao treinamento de força**. São Paulo. Phorte, 2003.
141. VAN ETTEN, L.M.L.A.; WESTERTERP, K.R.; VERSTAPPEN, F.T.J. Effect of weight-training on energy expenditure and substrate utilization during sleep. *Med Sci Sports Exerc* (1995) 27: 188 – 193.
142. VIITASALO, J.; KOMI, P. Signal characteristics of EMG during fatigue. *Eur J Appl Physiol* (1977) 37: 111 – 121.

143. WEIR, J.P.; WAGNER, L.L.; HOUSH, T.J. The effect of rest interval length on repeated maximal bench presses. *J Strength Cond Res* (1994) 8: 58 – 60.
144. WHITEHEAD, N.P.; MORGAN, D.L.; GREGORY, J.E.; PROSKE, U. Rises in whole muscle passive tension of mammalian muscle after eccentric contractions at different lengths. *J Appl Physiol* (2003) 95: 1224- 1234.
145. WILLARDSON, J.M.; BURKETT, L.N. A comparison of different rest intervals on the exercise volume completed during a workout. *J Strength Cond Res* (2005) 19: 23 – 26.
146. WILLARDSON, J.M.; BURKETT, L.N. The effect of rest interval length on bench press performance with heavy vs. light loads. *J Strength Cond Res* (2006a) 20: 396 – 399.
147. WILLARDSON, J.M.; BURKETT, L.N. The effect of rest interval length on the sustainability of squat and bench press repetitions. *J Strength Cond Res* (2006b) 20: 400 – 403.
148. WILMORE, J.H.; PARR, R.B.; WARD, P.; VODAK, P.A.; BARSTOW, T.J.; PIRES, T.V.; GRIMDITCH, G.; LESLIE, P. Energy cost of circuit weight training. *Med Sci Sports Exerc* (1978) 10: 75 – 78.
149. ZAFEIRIDIS, A.; SMILIOS, I.; CONSIDINE, R.V. Serum leptine responses after acute resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* (2003) 94: 591 – 597.

3. SUPER-SÉRIES: ATIVIDADE MUSCULAR, DANO MUSCULAR E PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DECORRENTE DE EXERCÍCIOS DE FORÇA

MUSCLE DAMAGE AND MUSCLE ACTIVITY INDUCED BY STRENGTH TRAINING SUPER-SETS IN PHYSICALLY ACTIVE MEN

^{1,2}MICHEL ARIAS BRENTANO, ^{2,3}DANIEL UMPIERRE, ^{2,3}LUCAS PORTO DOS SANTOS, ⁴REGIS RADAELLI, ⁴RONEI SILVEIRA PINTO, ⁴LUIZ FERNANDO MARTINS KRUEL

1. Hospital de Clínicas de Porto Alegre, SMO, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil

2. Exercise Pathophysiology Research Laboratory, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil

3. Graduate Program in Cardiovascular Sciences, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

4. Exercise Research Laboratory, Physical Education School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

Running title: Neuromuscular response induced by strength training

Corresponding author

Michel Arias Brentano, MSc
Serviço de Medicina Ocupacional
Hospital de Clínicas de Porto Alegre
Rua Ramiro Barcelos, 2350
Porto Alegre, RS - Brazil
Phone: +55 51 33598085
E-mail: michel.brentano@gmail.com

Abstract

In strength training (ST), muscle activity is often analyzed by surface electromyography (EMG) and muscle damage through indirect markers, such as plasma concentrations of creatine kinase (CK) after exercise. However, there is little information about the influence of the strength exercises order on these parameters. **Objective:** To analyze the effect of strength exercises order (supersets) in muscle activity and indirect markers of muscle damage. **Methods:** Twenty (20) men were randomly assigned to conduct a training session with exercises for the same muscle group, grouped (GE: 26.6±3.4 years; 17.4±3.4 body fat) or separated (SE: 24.9±2.6 years; 15.4±5.9 body fat). Four exercises (5 sets x 8-10RM) for the knee extensor muscles and the horizontal shoulder flexors were performed in both sessions. Muscle activity was analyzed by surface EMG (vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), rectus femoris (RF), pectoralis major (PM) and anterior deltoid (AD)) and the main indirect marker of muscle damage was the CK, evaluated immediately before and after first five days of each training session. **Results:** There was a higher EMG activity of GE in the RF (GE: 88.4% x SE: 73.6%) and AD (GE: 176.4% x SE: 100.0%); in addition to greater concentration of CK (GE: 632.4% x SE: 330.5%) after exercise. **Conclusion:** Our findings suggest that, in physically active men, implementing supersets with grouped exercises promotes greater muscle effort and muscle damage, wherein five days are not enough to recover the trained muscle groups.

Key words: pre-exhaustion, EMG, creatine kinase

Introduction

Strength training (ST) is widely used as a way to increase muscle strength and muscle cross-sectional area in both men (Campos et al. 2002) and women (Marx et al. 2001). These training adaptations are obtained by manipulating some variables related to the intensity of ST.

One way to analyze the intensity of ST involves the level of induced muscle damage, and some indirect markers have been widely evaluated, especially in comparisons between concentric and eccentric muscle actions (Chen and Hsieh, 2001; Nosaka and Chen, 2006; Chen et al, 2007). In this sense, analysis of indirect markers, as well as by direct damage to the muscle fibers exercised show that eccentric contraction promotes the highest levels of damage, (Roth et al 1999; Roth et al 2000), although concentric training sessions also show modifications of these markers (Behn et al 2001; Nosaka and Newton 2002; Hollander et al., 2003).

The degree of muscle activity induced by ST is also the subject of work on the training intensity (Augustsson et al. 2003; Pincivero et al 2004a; Pincivero et al 2004b). Muscle activity is usually analyzed by the amplitude of electromyographic signal (EMG) during and after the training session (Kellis 1999; Gabriel et al 2001; Hassani et al 2006) and, over more intense strength training and prolonged, there is an increase in the amplitude of the EMG signal with decreased force production capacity of the agonist muscle group (Kellis et al 1999; Hassani et al., 2006).

Several studies consider the load used as a relevant factor related to increases in muscle strength and muscle cross-sectional area, and high loads tend to cause increases in these parameters (Narici et al 1989; Narici et al 1996; McCall et al 1996; Hakkinen et al 2001a; Hakkinen et al 2001b; Campos et al 2002). However, another way to increase the training intensity involves the manipulation of the rest between sets / exercises for the same muscle group. In this context, the "superset" (grouping of exercises for the same muscle group) are cited as valid in increasing exercise intensity (Brennecke et al 2009). These variations in the rest between exercises for the same muscle group or groups with opposing functions have been consistently investigated under neuromuscular point of view, through the analysis of the EMG signal (Kellis and

Baltzopoulos 1996a; 1996b; Beltman et al 2003; Maynard and Ebben 2003; Augustsson et al 2003; Hassani et al 2006;; Garrandés et al 2007). However, the results involving supersets are controversial (Augustsson et al 2003; Gentil et al, 2007; Brennecke et al 2009; Junior et al, 2010), since some studies show reduced muscle activity through supersets (Augustsson et al 2003; Brennecke et al, 2009), while others show increased muscle activity (Junior et al 2010). Furthermore, there is little or no information about the extent of damage induced by these training models.

Thus, this study aims to analyze the effects of the strength exercises order in (1) the electromyographic signal amplitude of the horizontal flexor muscles of the shoulder and knee extensors and (2) to analyze the response of indirect markers of muscle damage during the first five post-exercise days due to strength training sessions with exercises for the same muscle group being conducted grouped or separated.

Starting from the assumption that grouped exercises for the same muscle group promotes greater effort, we hypothesized (1) a more pronounced increase in the amplitude of the EMG signal of the agonist muscle groups; and (2) a more pronounced change in indirect markers of muscle damage when compared to the session with separated exercises.

Methods

Subjects

The sample consisted of twenty two men. The inclusion criteria were being physically active, familiarized with strength exercises, but not on a competitive basis. The exclusion criterion was to present history of neuromuscular injury. The characteristics of individuals can be viewed in Table 1. Prior to participation, all participants were informed about the procedures, risks and benefits of the study and signed a consent form approved by the Ethics Committee of the Hospital de Clínicas de Porto Alegre (CEP / HCPA 08-474). The sample was obtained through dissemination of posters placed in the School of Physical Education of Federal University of Rio Grande do Sul (ESEF / UFRGS) and surrounding areas. Based on the effect size of 1, alpha level of 0.05, and a power (1- β) of 0.80, with an expected difference of 10% for the CK

at 5 days post exercise between two groups, it was shown that 11 subjects per group were necessary. After the selection of individuals, they were randomly divided into two groups, according to the muscle groups involved in each experimental sessions: grouped exercises (GE) or separated exercises (SE). We chose to study two parallel groups in order to avoid interference from a "protective effect" that reduces the responses of muscle damage markers in successive workouts, with similar characteristics (Sorichter et al 1997; Chen and Hsieh 2001; Nosaka et al 2001). Prior to data collection, the reproducibility of main measuring instruments was evaluated into two separated days, whose intraclass correlation coefficients values ranged between $r=0.903$ and $r=0.979$; $p<0.001$. Moreover, the coefficient of variation ranged between 7.4% and 28.5%.

Table 1: Sample characterization of the grouped exercises (GE) and separated exercises (SE) with means and standard deviations (mean \pm SD) ($p>0.05$). MVC: maximal voluntary contraction; KE: knee extensors; SHF: shoulder horizontal flexors; RM: maximal repetitions.

Variables	Groups	
	GE (n=10)	SE (n=10)
Age (years)	26.6 \pm 3.4	24.9 \pm 2.6
Height (cm)	178.0 \pm 7.0	177 \pm 6.0
Body mass (kg)	77.2 \pm 5.9	76.0 \pm 9.9
Fat mass (%)	17.4 \pm 3.9	15.4 \pm 5.9
MVC KE (Nm)	287.7 \pm 26.0	313.8 \pm 49.0
MVC SHF (Nm)	107.2 \pm 10.5	100.0 \pm 18.6
10RM bench press (kg)	52.6 \pm 12.3	47.0 \pm 12.0
10RM peck deck (kg)	25.5 \pm 7.5	28.0 \pm 6.7
10RM leg press (kg)	157.9 \pm 32.9	164.0 \pm 36.3
10RM knee extension (kg)	34.7 \pm 4.5	38.4 \pm 3.5

Strength training sessions

The subjects performed a total of 4 exercises: (a) "bench press" with free weights and (b) "peck deck" (Taurus, Brazil), (c) "leg-press 45°" (Top Line, Brazil) and (d) "knee extension" (Taurus, Brazil) for the lower limbs; for upper limbs. With these four exercises were conducted two training sessions: one with exercises for the same muscle group in sequence, named grouped session (GE – exercise order a, b, c, d) and another with the exercises for the same muscle group performed separately (SE – exercise order c, b, a, d). Based on the characteristics of a physically active subjects (Pincivero and Campy, 2004) and

targeting a typical session for muscle hypertrophy (Campos et al., 2002), subjects performed five sets with 8-10 RM in each of the four exercises. All exercises were performed at the load obtained during the 10RM tests; therefore both sessions were conducted with loads equivalent to 85% of 10RM.

During GE, the subjects performed one set of the “leg-press” exercise, immediately followed by one set of the “knee extension” exercise, with no rest between each exercise. After five sets, the subjects performed one set of the “bench press” exercise, immediately followed by one set of the “peck deck” exercise, with no rest between each exercise. During SE, the subjects performed one set of the “bench press” exercise, immediately followed by one set of the “knee extension” exercise, with no rest between each exercise. After five sets, the subjects performed one set of the “leg-press” exercise, immediately followed by one set of the “peck deck” exercise, with no rest between each exercise. In both GE and SE, it was used three minutes of rest between every two exercises (superset) to minimize the decrease in total work for subsequent sets (Pincivero et al 1998; Richmond and Godard 2004; Willardson and Burkett 2005; Willardson and Burkett 2006a; Willardson and Burkett 2006b).

10RM test

The adjustment of loads was performed using the 10RM test, following a protocol similar to that of Simão et al. (2005). The exercise order occurred as follows: leg press, bench press, knee extension and peck deck. Subjects did up to 3 attempts for each exercise, at intervals of 5 minutes between each attempt. At the end of an exercise test, an interval of at least 10 minutes was given before the start of the next test.

Body composition

Body weight and height were measured on a scale with a stadiometer (Asimed, Barcelona, Spain), following the recommendations of Costa (2001). The sum of skinfolds was used to estimate body density of individuals (Jackson and Pollock 1978) and body fat was estimated using the formula of Siri (Siri 1961).

Indirect markers of muscle damage

All markers were measured immediately before the workout and during the following five days, approximately at the same time of the exercise session was performed. During these five days no additional exercise session was allowed. We evaluated four indirect markers of muscle damage, as described below.

Isometric torque (τ): each individual was placed in the chair of the isokinetic dynamometer (CYBEX, model NORM, Lumex & Co., Ronkonkoma, NY, USA) and fixed by straps passing through the chest and pelvis. For the evaluation of the knee extensors, hips remained in the angle 110° and the maximum torque was evaluated in the angle 70° of knee flexion (Brentano et al. 2008). For the evaluation of the horizontal shoulder flexor, the maximum torque was evaluated at 30° horizontal shoulder flexion, seeking the highest torque values, according to the force x length relationship of these muscle groups (Smith et al., 1997). The joints evaluated were aligned with the axis of the dynamometer. Each maximal voluntary contraction (MVC) lasted for 3 seconds, with rest intervals of 1 minute between each one to avoid the effects of muscle fatigue.

Creatine kinase activity (CK): We asked subjects not to exercise in the 48 hours previous to experimental session, as well as not to consume alcohol or caffeine for the previous 24 hours. At rest, samples of 5 ml of venous blood were taken from the antecubital region. At the end of the training session, a new blood sample was collected from 5ml with the same procedures. The blood samples were stored under refrigeration until centrifugation (ALC International SRL - PK 120R, Italy). The serum samples were separated and kept frozen at -70°C (-85° freezer NuAire, Plymouth, USA) to be analyzed to verify the total CK activity in the automation equipment in biochemistry Modular P with enzymatic kit (Roche Diagnóstica, São Paulo, Brazil). The values listed in the post-exercise period were normalized by training pre-session resting values.

Delayed onset muscle soreness (DOMS): DOMS of the pectoralis major and quadriceps muscles was assessed by subjective perception using the CR10 Borg scale (Borg 2000), ranging from 0 (Absolutely nothing, no pain) to 10 (extremely strong, maximum pain). The scale was provided to each participant indicate the number corresponding to the level of pain of each

muscle analyzed, after performing one repetition of knee flexion/extension and one repetition of shoulder horizontal flexion/extension.

Range of motion (ROM): An analogical fleximeter (Sanny, São Paulo, Brazil) was used to measure the range of motion of the shoulder joint (horizontal extension) and knee (flexion) of the exercised segments. The positioning of each individual has followed the instructions described by the manufacturer, and the joint amplitude values were obtained as described by Ahmadi et al. (2007) *Shoulder:* each individual was supine on a litter with the knees bent and feet flat. Initially the arms were raised with palms leaning against. The fleximeter was placed in the arm, above the elbow, with the display facing the examiner that was positioned above (anatomical position) the subject being evaluated. This point was considered the anatomical zero. From this position, the maximal passive shoulder horizontal extension was performed. *Knee:* in a litter, the subject was placed in the prone position so that the knees to be suspended out of the litter. The fleximeter was positioned approximately on the lateral malleolus of the ankle, with the display facing the examiner. This point was considered as anatomical zero. From this position, the maximal passive knee flexion was performed. The range of motion was considered as the difference between the extension / flexion and horizontal flexion / horizontal extension of the knee and shoulder, respectively.

Electromyographic signal (EMG)

The electromyographic signal was obtained in the vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM) and rectus femoris (RF) (knee extensors); pectoralis major (PM) and anterior deltoid (AD) (horizontal shoulder flexors) on the first and the last set (5th) of “peck deck” and “knee extension” in each session training. The EMG signal was collected in bipolar configuration, along the direction of the muscle fibers, through a 4-channel electromyography (Miotool 400 - Miotec) with the data acquisition program Miograph (version 1.31), and a notebook computer (AMD Turion64 2x 1.6GHz, 1GB RAM, 128MB of video). The acquisition of EMG curves had a sampling of 2000Hz (De Luca 1997).

Before data collection, the placement sites of surface electrodes (Noraxon 272, Scottsdale, USA) were prepared scraping the hair and cleaning by abrasion with cotton moistened with alcohol. The reference electrode

(Meditrace 200, Mansfield, USA) was placed on the tibial tuberosity or clavicle. The anatomical references to the positioning of the electrodes followed the recommendations proposed by Cogley et al. (2005) for the pectoralis major muscle, Zipp (1982) for the anterior deltoid muscle, and Pincivero et al. (2000) and Rabita et al. (2000) for the vastus lateralis, vastus medialis and rectus femoris. The level of resistance between electrodes was measured, monitored and maintained below 3000 ohms (Narici et al. 1989), through checking performed by a multimeter.

After skin preparation and electrode placement, each subject was positioned in knee extension and peck deck machines, and performed a MVC (three seconds), with each of the muscle groups of interest in order to normalize the EMG signal. The positioning in each exercise was based on force-length curves illustrated by Smith et al. (1997) in order to put the muscle groups analyzed in a favorable length for greater force production.

Subsequently, the EMG signal was collected in the first and the fifth set of exercises knee extension (VL, VM and RF) and peck deck (PM and AD), during 8-10 repetitions. Only the concentric phase, identified with a displacement sensor (360 GN – Miotec, Porto Alegre, Brazil), was considered. Regardless of the training session performed (GE or SE), the exercises knee extension and peck deck were carried out as the 2nd and the 4th exercises, respectively.

After data collection, all files were analyzed in the data acquisition system SAD2 (32-bit version 2.61.05mp) as follows: (1) removal of continuum components, (2) filtering with filter type bandpass butterworth 5th order (20-500 Hz), (3) identification of the concentric phase of each repetition in the 1st and 5th set of exercises (4) identification of the plateau of MVC, (5) calculation of the root mean square (RMS) at 1 second in each concentric phase of each repetition, excluding the start and the end of the muscle action (6) calculating the root mean square (RMS) in 1 second during MVC of each muscle group and (7) normalization of exercise RMS values by CVMs RMS values. The processes of "windowing" and quantification of EMG activity were similar to those used by Augustsson et al. (2003) and Stoutenberg et al. (2005).

Statistical procedures

Data are expressed as means and standard deviations. The normality and homogeneity were verified by Shapiro-Wilk and Levene tests, respectively. The reproducibility of measuring instruments was checked with the intraclass correlation coefficient (ICC) and coefficient of variation (CV). Two way (group x time) analysis of variance (ANOVA) for repeated measures was used to verify differences in variables τ , ROM, DOMS, CK and EMG, using the Bonferroni post-hoc test as appropriate. For all analyses, statistical significance was considered whenever the alpha error was less than or equal to 5% ($p \leq 0.05$). Statistical procedures were conducted by using the software SPSS 18.0.

Results

Twenty subjects completed the study, ten in each training group (SE and GE). One individual from each group was excluded due to the impossibility of using your EMG data.

Indirect markers of muscle damage

Isometric torque: Immediately after exercise in GE and SE groups, there was a decrease of torque both in the KE (GE: 18.9% x SE: 23.1%; $P < 0.05$) as in the SHF (GE: 23.9% x SE: 27.5%; $P < 0.05$). However, after one day, the values returned to pre-exercise levels in GE and SE. There was no difference between groups (Figure 1).

Creatine kinase: There was an increase in CK activity post-exercise, ranging up to 632.4% of rest values in GE (P for time-effect GE=0.013) and 330.5% in SE (P for time-effect SE=0.045). The GE values were higher than SE 2-5 days after exercise ($P < 0.05$) and remained above the pre-exercise levels after 4 and 5 days for SE and GE, respectively (Figure 2).

Delayed onset muscle soreness: There was an increase in the scores of DOMS in both KE (GE: 1.8 x SE: 1.1; $P < 0.05$) and the SHF (GE: 2.2 x SE: 1.7; $P < 0.05$). They remained above pre-exercise after 1-2 and 1-3 days for KE and SHF, respectively. There was no difference between groups (Figure 3).

Range of motion: There was a decrease in ROM, both in KE (GE: 5.2% x SE: 5.2%; $P < 0.05$) and the SHF (GE: 6.3% x SE: 7.3%; $P < 0.05$). There was no

difference between groups. However, when considering both joints, the ROM values remained below pre-exercise levels after 2-4 and 1-2 days for GE and SE, respectively (Figure 4).

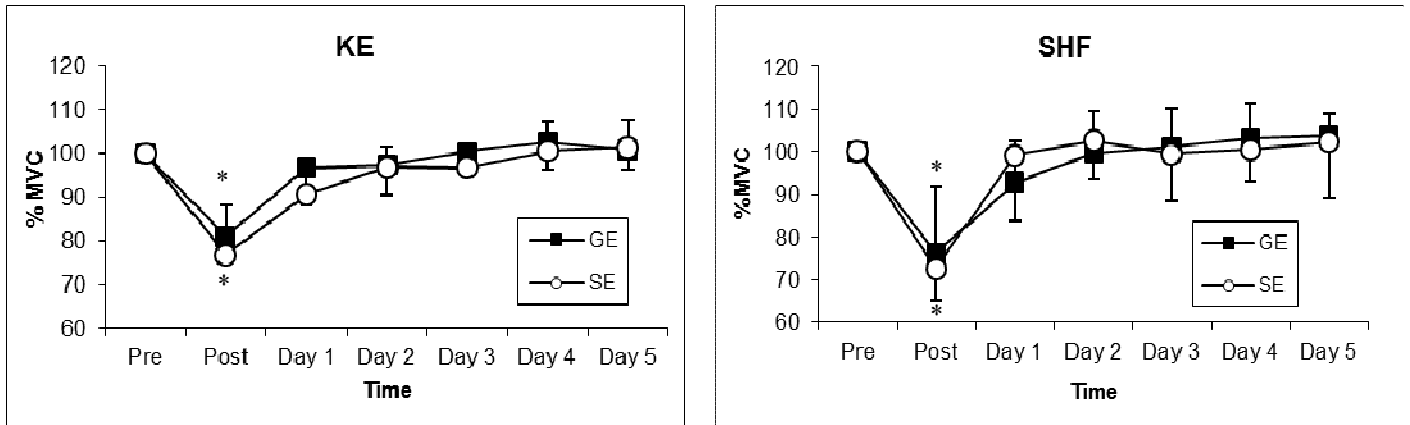


Figure 1 – Normalized maximal voluntary contraction (%MVC) of the knee extensors (KE) and horizontal shoulder flexors (SHF), before, immediately after and during five days, after performing grouped exercises (GE) or separated exercises (SE).
* Difference from pre-exercise ($p < 0.05$)

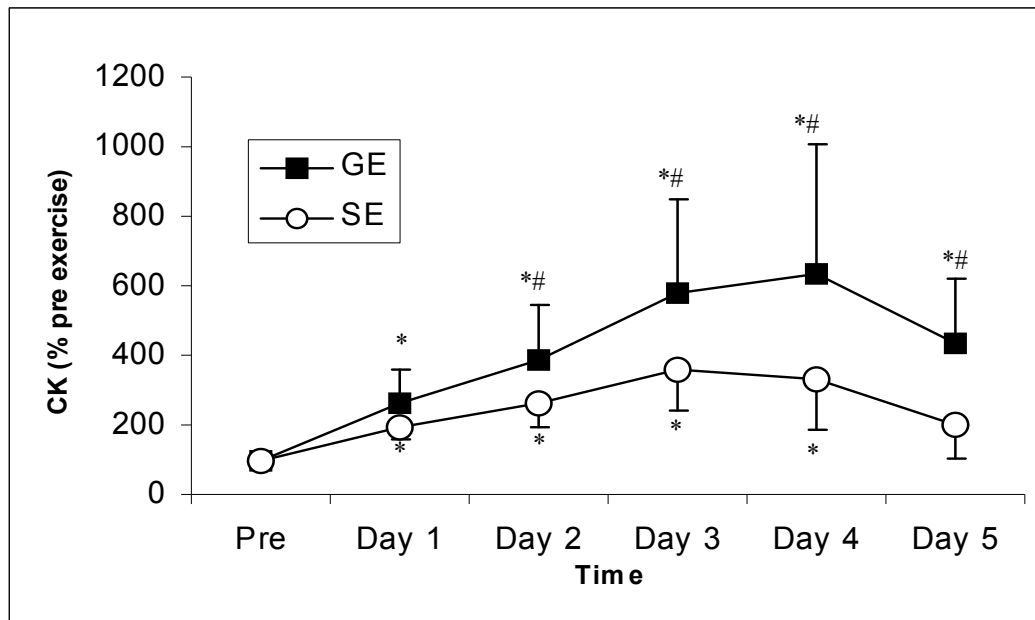


Figure 2 – Normalized plasmatic creatine kinase activity (%CK) before and during five days after, performing grouped exercises (GE) or separated exercises (SE).
Difference between GE and SE sessions ($p < 0.05$)
* Difference from pre-exercise ($p < 0.05$)

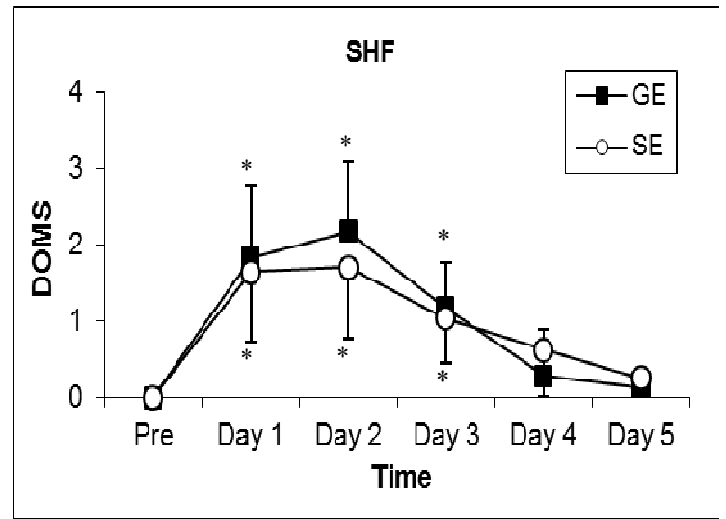
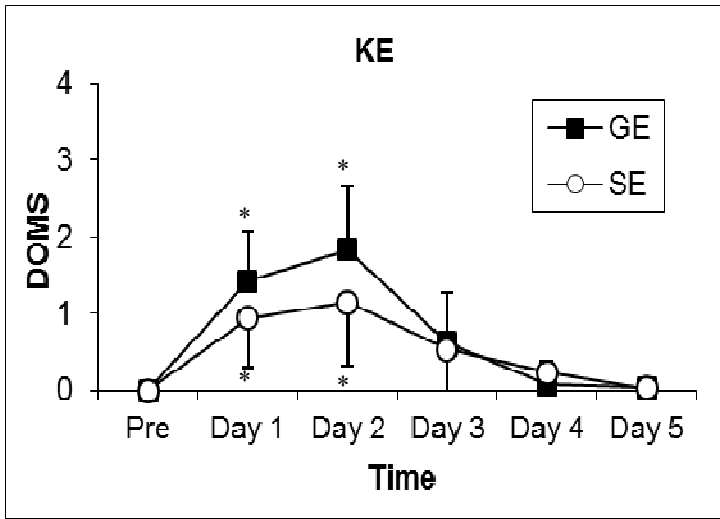


Figure 3 – Delayed onset muscle soreness (DOMS) of the knee extensors (KE) and horizontal shoulder flexors (SHF), before and during five days, after performing grouped exercises (GE) or separated exercises (SE).
*Difference from pre-exercise ($p < 0.05$).

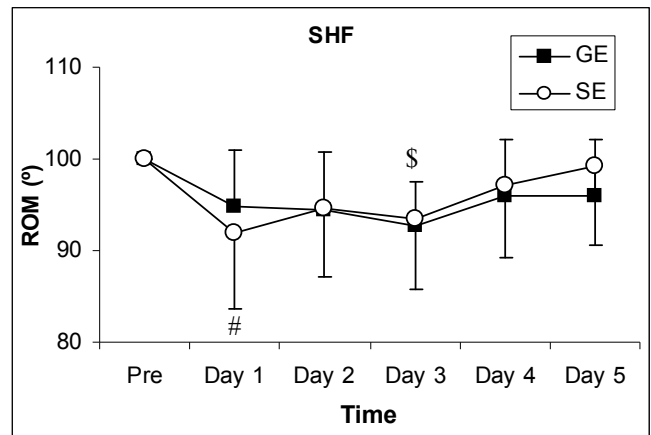
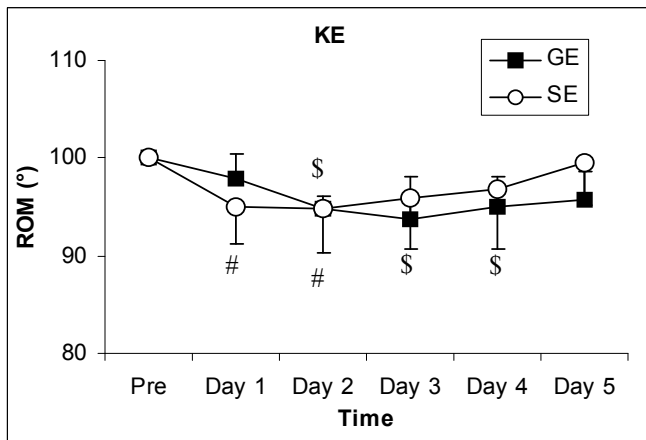


Figure 4 – Normalized range of motion (%ROM) of the knee extensors (KE) and horizontal shoulder flexors (SHF), before and during five days, after performing grouped exercises (GE) or separated exercises (SE).
Difference from pre-exercise in SE ($p < 0.05$).
\$ Difference from pre-exercise in GE ($p < 0.05$).

EMG signal

There was an increase in muscle activity of VL and VM from the beginning to the end of the 1st set of knee extension exercise, in both GE and SE (Figures 5A and 6A). There was an increase of RF muscle activity from the beginning to

the end of the 5th set of knee extension exercise, only in GE (Figure 7B). It was not observed any change in the PM muscle activity (Figure 8). When compared to SE, there was a higher muscle activity in GE for RF (GE: 88.4% x SE: 73.6%; $P < 0.05$) and AD (GE: 176.4% x SE: 100.0%) in 5th and 1st set, respectively (Figures 7B and 9A) and increased muscle activity of DA in the beginning to the end of the 1st set during the peck deck exercise (Figure 9A).

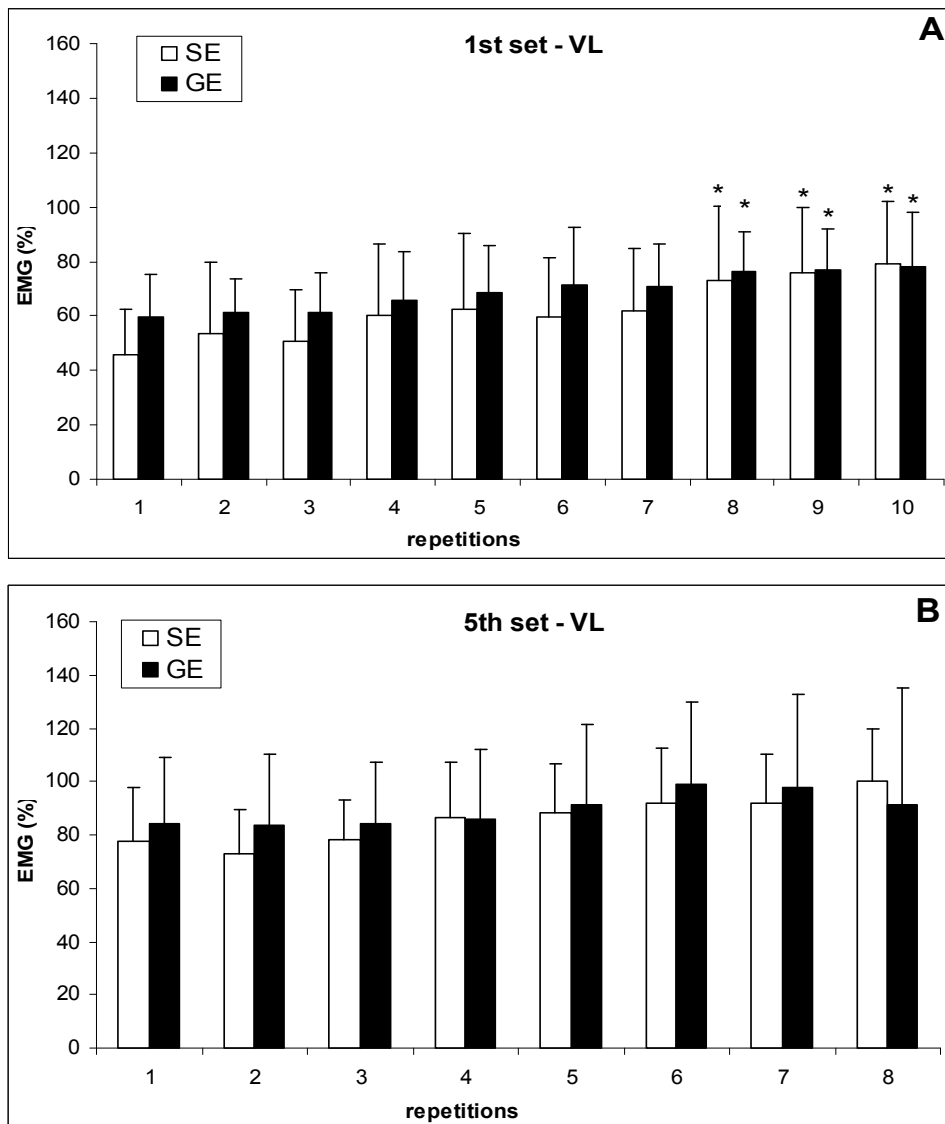


Figure 5 – Normalized electromyographic signal (%EMG) of the vastus lateralis (VL) during the first set (A) and fifth set (B) when performing grouped exercises (GE) and separated exercises (SE).
* Difference from first repetition ($p < 0.05$)

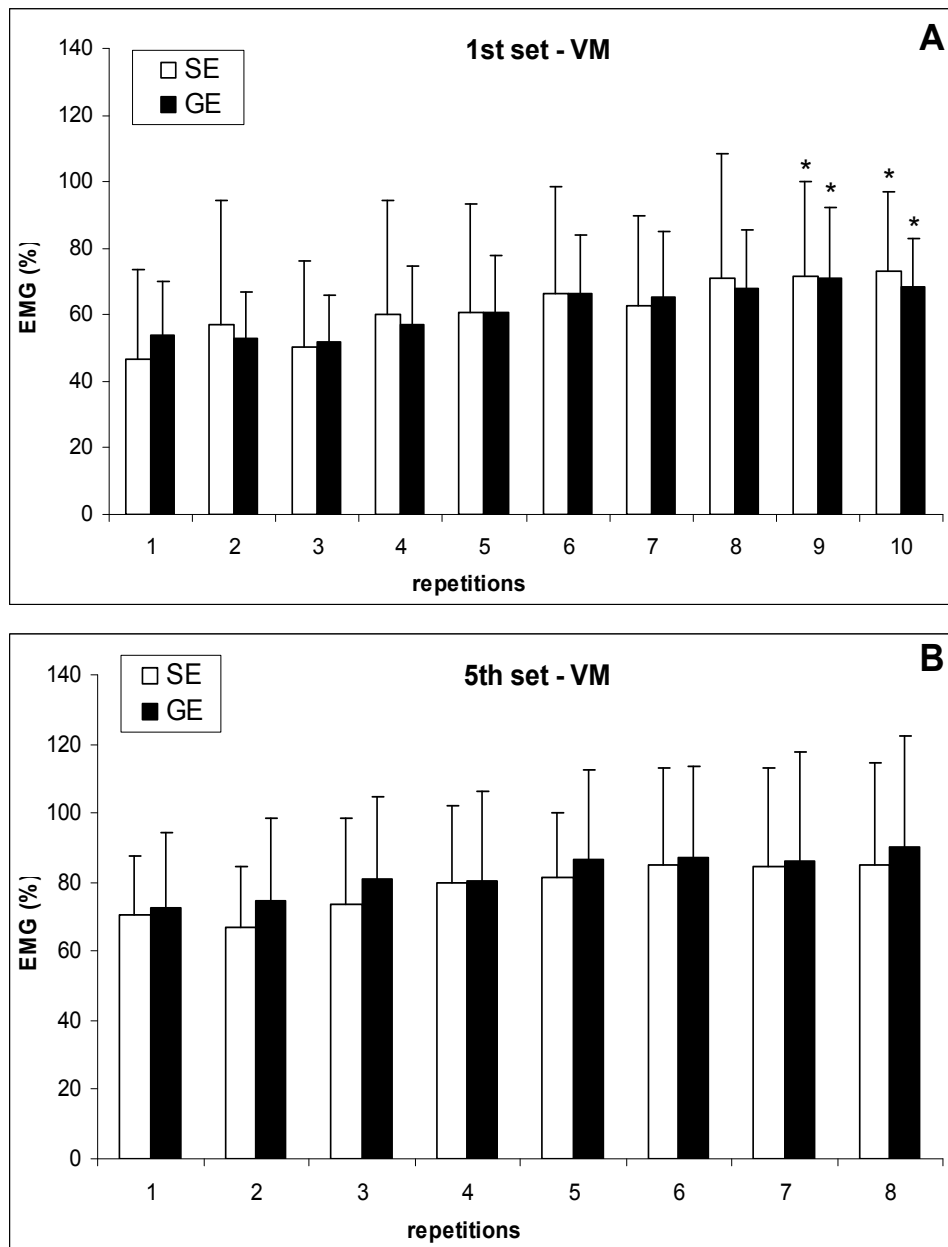


Figure 6 - Normalized electromyographic signal (%EMG) of the vastus medialis (VM) during the first set (A) and fifth set (B) when performing grouped exercises (GE) and separated exercises (SE).
 * Difference from first repetition ($p < 0.05$)

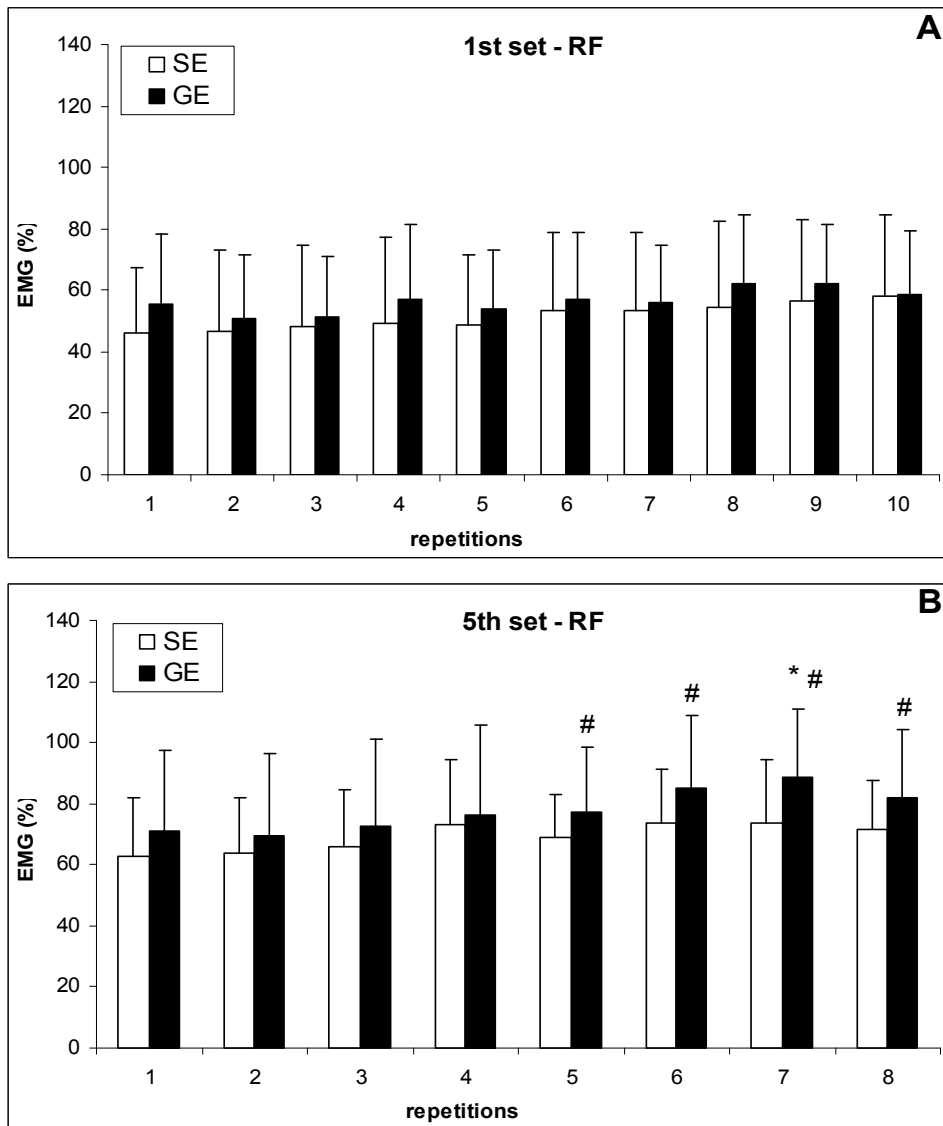


Figure 7 - Normalized electromyographic signal (%EMG) of the rectus femoris (RF) during the first set (A) and fifth set (B) when performing grouped exercises (GE) and separated exercises (SE).

* Difference first repetition ($p < 0.05$).

Difference between GE and SE ($p < 0.05$).

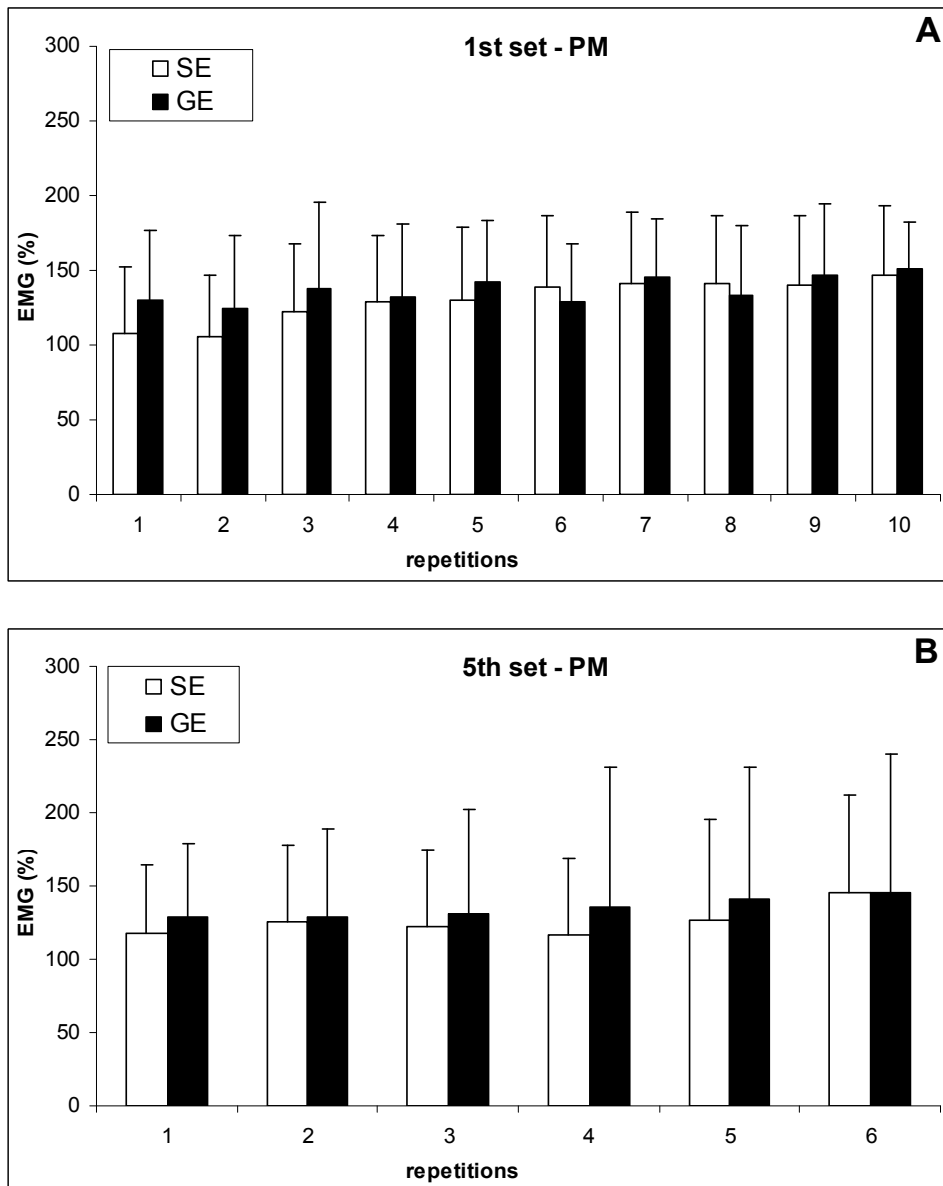


Figure 8 - Normalized electromyographic signal (%EMG) of the pectoralis major (PM) during the first set (A) and fifth set (B) when performing grouped exercises (GE) and separated exercises (SE).

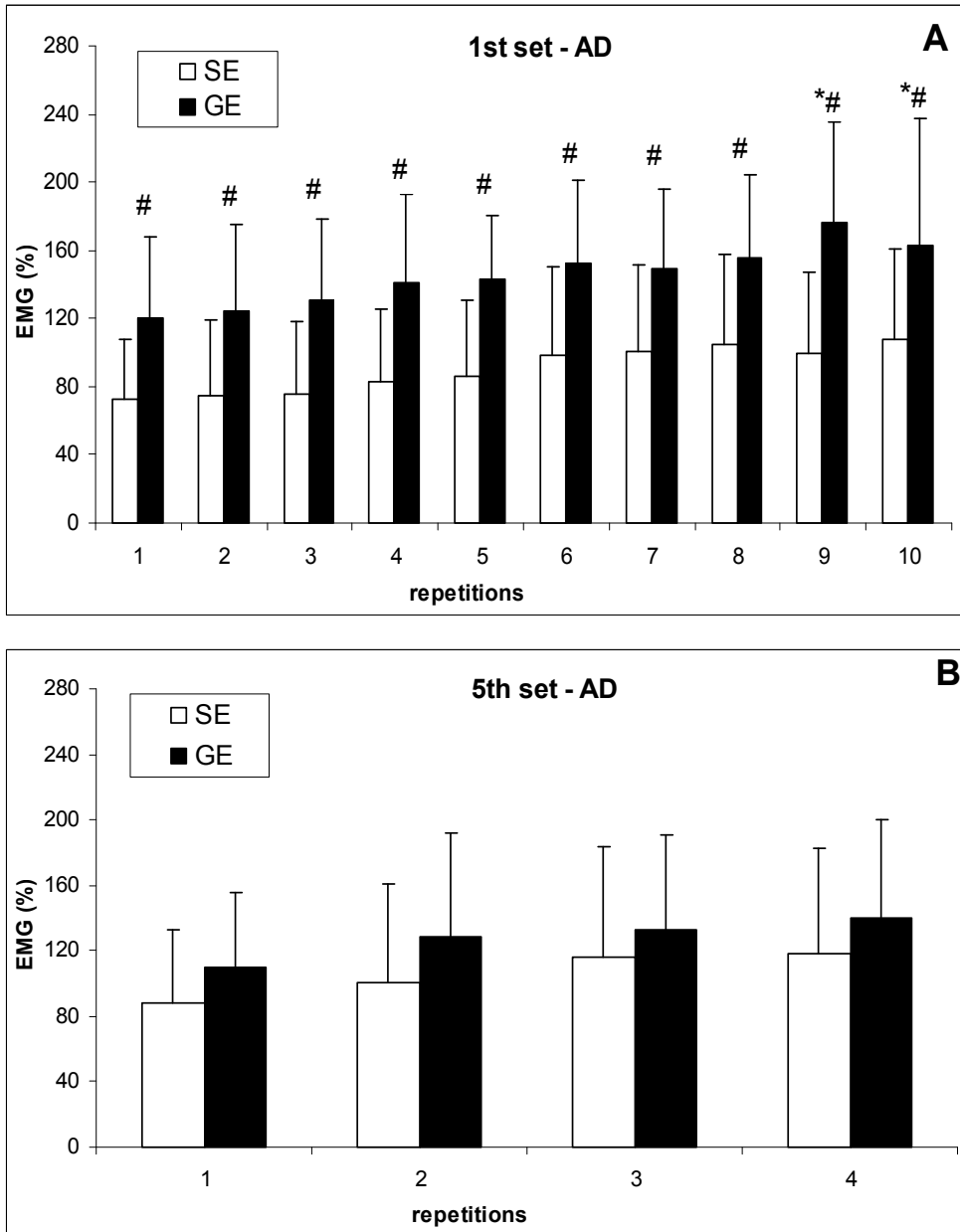


Figure 9 – Normalized electromyographic signal (%EMG) of the anterior deltoid (AD) during the first set (A) and fifth set (B) when performing grouped exercises (GE) and separated exercises (SE).

* Difference from first repetition ($p < 0.05$).

Difference between GE and SE ($p < 0.05$).

Discussion

The main findings of this study involves the larger increases in electromyographic activity of the muscles RF and DA, the largest increases in indirect marker of muscle damage CK in GE compared to SE, and the higher GE recovery period, observed in CK and ROM data. These results partially support our hypothesis, since not all the muscle groups and indirect markers showed the same response.

Indirect markers of muscle damage: previous studies showed increases in indirect markers of muscle damage, after performing strength exercises (Chen and Hsieh, 2001; Chen and Nosaka, 2006; Chen et al, 2007; Kock, 2014). Although most studies suggest that mechanical load to the active muscle group in eccentric contractions is crucial to the highest degree of injury induced by strength training, concentric contractions also show changes in these markers (Behn et al 2001; Nosaka and Newton 2002; Hollander et al 2003). Particularly in relation to CK, increasing its plasma levels are related to a threshold intensity (mechanical load) to promote rupture of the sarcolemma and Z lines of contractile units (sarcomeres) by increasing the membrane permeability transition and providing a substantial amount of CK for circulation by the lymphatic system (Koch et al., 2014).

In the exercises with free weights and conventional strength training machines, in which the same load is used in concentric and eccentric phases of the exercise, when we consider the effect of time of rest between exercises for the same muscle group, few studies have addressed the indirect markers of muscle damage response, and the results are controversial (Mayhew et al, 2005; Machado and Willardson 2010; Silva et al., 2010). Mayhew et al. (2005) showed that short rests (1 minute) between 10 sets (10 repetitions with 65% of 1RM) leg press promoted greater increase in CK compared with long intervals (3 minutes). Willardson and Machado (2010), using the same rests, had similar results in the higher responsive subjects. However, Silva et al., (2010) found no differences between short rest (30 seconds) and long rest (90 seconds) between 5 sets (85% 1RM until concentric failure) of "arm curls". In agreement with previous findings (Mayhew et al.2005; Machado and Willardson 2010), our study shows that the degree of damage induced by a strength training session

can be influenced by the order in which the exercises are performed, since GE had a higher increase in CK levels compared to SE. However, our study appears to be the first to assess the degree of muscle damage induced by super-sets of pre-exhaustion in strength training; and our findings suggest a higher degree of muscle damage resulting from this training strategy.

In our study we used an identical percentage of maximum effort for GE and SE, equaling the mechanical load in the two training sessions. Thus, one explanation for the difference in CK values could be related by higher muscle fatigue in GE, suggested by the increased muscle activity (EMG) in lower limbs and upper limbs. However, the role of fatigue in the muscle damage remains inconclusive.

It is important to point out that SE took 4 days for CK return to baseline levels, whereas in GE, after 5 days the CK values had not yet returned to resting levels. Similar results were observed in ROM (1-2 x 2-4 days), indicating that sessions with exercises grouped per body segment may require more days of recovery compared to SE. As seen earlier, shorter intervals are associated with increased muscle damage induced by exercise, especially considering the findings related to changes in CK (Mayhew et al, 2005; Machado and Willardson, 2010).

However, successive sessions of ST with the same characteristics promote a "protective effect" that causes the lower response of indirect markers of muscle damage over time (Marginson et al., 2005). In our study, we have only the acute response of one training session with supersets. It is likely that, in subsequent sessions, the response of these markers were attenuated, as observed previously during eight weeks of concentric or eccentric ST (Nosaka and Newton, 2002). Thus, infer that the pre-exhaustion promotes greater injury and recovery period, indefinitely, it is a statement with fragile support.

Previous studies showed no difference between strength exercises for arms and legs in CK levels (Machado et al., 2013). Our results were certainly influenced by the use of mixed sessions containing both exercises for upper limbs as exercises for the lower limbs. Thus, any changes could only occur in local markers, as DOMS and ROM, which did not occur. In addition, the fact

that the individuals in our study were physically active and exposed to eccentric stimulus could have minimized differences between the segments involved.

Muscle activity: the premise of using training systems to group exercises for the same muscle group is the greater recruitment of motor units, fatiguing the muscle group of interest (Gentil et al., 2007). However, previous studies failed to show increased muscle activity in supersets (Augustsson et al. 2003; Brennecke et al 2009). Other findings suggest increased activity of the agonist muscle in supersets with moderate loads (Junior et al., 2010) or the accessory muscles (Gentil et al., 2007). Augustsson et al. (2003) found no increased muscle activity of the quadriceps to perform knee extension just before leg-press, when compared with leg-press, alone. Brennecke et al. (2009) observed lower muscle activity of the triceps brachii in the pre-exhaustion model, compared to traditional exercises. These authors suggest that when muscle group is under fatigue, other muscle groups would be recruited (accessories). Thus, the traditional pre-exhaustion model would not be indicated. From the results of Augustsson et al. (2003) and Brennecke et al. (2009) the superset used in GE of our study was different, putting the exercises to the largest muscle group immediately before exercise for muscle group of interest (leg-press x knee extension and bench press x peck deck) the which may have induced the increased muscle activity. Junior et al. (2010) added that moderate loads optimize the effect of the pre-exhaustion due the low inhibitory effect that higher loads would provide in the traditional model. However, we use loads equivalent to 85%-90% 10RM which are considered high loads. Therefore, the mechanism suggested by Junior et al., (2010) cannot be used as a justification to our results.

Previous studies have also evaluated the effect of the exercises order on the total work of the training session (Sforzo and Touey, 1996; Salles et al, 2008; Ribeiro et al, 2013). Sforzo and Touey (1996) showed that the exercises performed earlier in the session are less influenced by muscle fatigue, as compared with those exercises performed towards the end of the session, independently of multi-joint or single-joint exercises. However, their training model did not involve supersets. Recently, it was suggested that pre-exhaustion supersets where single-joint exercises are performed before multi-joint

exercises allow the performing of a higher total work with lower limbs (Salles et al., 2008) and with upper limbs (Ribeiro et al., 2013). Regardless of exercises order, our findings showed the same total work, therefore confirming the results of Sforzo and Touey (1996). One possibility for the discrepancy with previous studies involving supersets is that our session involved both lower and upper limbs and this may have increased the session effort level as a whole, compared with independent sessions, as proposed by Salles et al. (2008) and Ribeiro et al. (2013).

Conclusion

Our findings suggest that, in physically active men, implementing the supersets with GE can promote greater muscle activity of the upper limbs and lower limbs. Supersets promote a long period recovery of muscle (more than 5 days) and possibly higher degree of muscle damage. Therefore, sessions with this training model should be administered with caution to promote the proper recovery of trained muscle groups.

References

1. AHMADI, S.; SINCLAIR, P.J. FOROUGH, N.; DAVIS, G.M. Electromyographic activity of the biceps brachii after excise-induced muscle damage. *Journal of Sports Science and Medicine* (2007) 6: 461 – 470.
2. AUGUSTSSON, J.; THOMEÉ, R.; HORNSTEDT, P.; LINDBLUM, J.; KARLSSON, J.; GRIMBY, G. Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *J Strength Cond Res* (2003) 17: 411 – 416.
3. BEHN, D.G.; BAKER, K.M.; KELLAND, R.; LOMOND, J. The effect of muscle damage on strength and fatigue deficits. *J Strength Cond Res* (2001) 15: 255 – 263.
4. BELTMAN JGM, SARGEANT, AJ, BALL D, MAGANARIS CN, HAAN, A (2003). Effect of antagonist muscle fatigue in knee extension torque. *Pflugers Arch – Eur J Physiol* 446: 735-741. doi: 10.1007/s00424-003-1115-y

5. BRENNECKE A, GUIMARÃES TM, LEONE R, CADARCI M, MOCHIZUKI L, SIMÃO R, AMADIO AC, SERRÃO JC (2009). Neuromuscular activity during bench press exercise performed with and without the preexhaustion method. *J Strength Cond Res* 23(7): 1933-1940. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b73b8f
6. BORG, G. Escalas de Borg para a dor e o esforço percebido. São Paulo-SP. Manole, 2000.
7. BRENTANO, M.A. CADORE, E.L.; SILVA, E.M.; AMBROSINI, A.B.; COERTJENS, M.; PETKOWICZ, R.; VIERO, I.; KRUEL, L.F.M. Physiological adaptations to strength training in postmenopausal women with bone loss. *J Strength Cond Res.* (2008) 22: 1816 – 1825.
8. CAMPOS GER, LUECKE TJ, WENDELN HK, TOMA K, HAGERMAN FC, MURRAY TF, RAGG KE, RATAMESS NA, STARON RS. (2002) Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* 88: 50 – 60.
9. CHEN, T.C.; HSIEH, S.S. Effects of a 7-day eccentric training period on muscle damage and inflammation. *Med Sci Sports Exerc* (2001) 33: 1732 – 1738.
10. CHEN, T.C.; NOSAKA, K. Effects of number of eccentric muscle actions on first and second bouts of eccentric exercise of the elbow flexors. *J Sci Med Sport* (2006) 9: 57 – 66.
11. CHEN, T.C.; NOSAKA, K.; SACCO, P. Intensity of eccentric exercise, shift of optimum angle, and the magnitude of repeated-bout effect. *J Appl Physiol* (2007) 102: 992 – 999.
12. COGLEY RM, ARCHAMNBULT TA, FEBEGER JF, KOVERMAN MM, YODAS JM, HOLLMAN JH (2005). Comparison of muscle activation using various hand positions during the push-up exercise. *J Strength Cond Res* 19(3): 628-633.
13. DE LUCA, C.J.; The use of electromyography in biomechanics. *J Appl Biomec* (1997) 13: 135 – 163..
14. GABRIEL, D.A.; JEFFREY, R.B. KAI-NAN AN. Neural adaptations to fatigue: implications for muscle strength and training. *Med Sci Sports Exerc* (2001) 33: 1354 – 1360.

15. GARRANDES, F.; COLSON, S.R.; PENSINI, M.; SEYNNES, O.; LEGROS, P. Neuromuscular fatigue profile in endurance-trained and power-trained athletes. *Med Sci Sports Med* (2007) 39: 149 – 158.
16. GENTIL, P.; OLIVEIRA, E.; JUNIR, V.A.R.; CARMO, J.; BOTTARO, M. Effects of exercise order on upper-body muscle activation and exercise performance. *J Strength Cond Res* (2007) 21(4): 1082-1086.
17. HAKKINEN, K.; KRAEMER, W.J.; NEWTON, R.U.; ALEN, M. Changes in electromyographic activity, muscle fiber and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand* (2001a) 171: 51-62.
18. HAKKINEN, K.; PARAKINEN, A.; KRAEMER, W.J.; HAKKINEN, 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* (2001b) 91: 569 – 580.
19. HASSANI, A.; PATIKAS, D.; BASSA, E.; HATZIKOTOULAS, K.; KELLIS, E.; KOTZAMANIDIS, C. Agonist and antagonist muscle activation during maximal and submaximal isokinetic fatigue tests of knee extensors. *J Electromyography Kinesiol* (2006) 16: 661 – 668.
20. HOLLANDER, D. B.; DURAND, R.J.; TRYNICKI, J.L.; LAROCK, D.; CASTRACANE, V.D.; HEBERT, E.P.; KRAEMER, R.R. RPE, pain, and physiological adjustment to concentric and eccentric contractions. *Med Sci Sports Exerc* (2000) 35: 1017-1025.
21. JACKSON AS, POLLOCK ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Brit J Nutr* (1978) 40: 497 - 504.
22. JUNIOR, V.A.R.; BOTTARO, M.; PEREIRA, M.C.C.; SNDRAGE, M.M.; JUNIOR, P.R.W.; CARMO, J.C. Electromyographic analyses of muscle pre-activation induced by single joint exercise. *Rev Bras Fisioter* (2010) 14(2): 158-165.
23. KELLIS, E.; BALZANOPOULOS, V. Agonist and antagonist EMG-angle relationship during isokinetic eccentric and concentric exercise. *Isokin Exerc Sci* (1996a) 6: 79 - 87.
24. KELLIS, E.; BALZANOPOULOS, V. The effects of normalization method on antagonist activity during concentric and eccentric isokinetic knee extension and flexion. *J Electromyogr Kinesiol* (1996b) 6: 235 – 245.

25. KELLIS, E. The effects of fatigue on the resultant joint moment, agonist and antagonist electromyographic activity at different angles during dynamic knee extension efforts. *J Electromyography Kinesiol* (1999) 9: 191 – 199.
26. KOCK, A.J.; PEREIRA, R.; MACHADO, M. The creatine kinase response to resistance exercise. *J Musculoskelet Neuronal Interact* (2014) 4(1):68-77.
27. MACHADO M, WILLARDSON JM. Short recovery augments magnitude of muscle damage in high responders. *Med Sci Sports Exerc* (2010) 42:1370-1374.
28. MARGINSON, V.; ROWLANDS, A.N.; GLESSON, N.P.; ESTON, R.G. Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage following initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. *J Appl Physiol* (2005) 99: 1174 – 1181.
29. MARX, J.O.; RATAMESS, N.A.; NINDL, B.C.; GOTSHALK, L.A.; VOLEK., J.S.; DOHI, K.; BUSH, J.A.; GOMEZ, A.L.; MAZZETTI, S.A.; FLECK, S.J.; HAKKINEN, K.; NEWTON, R.U.; KRAEMER, W.J. Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Med Sci Sports Exerc* (2001) 33: 635 – 643.
30. McCALL, G.E.; BYRNES, W.C.; DICKINSON, P.M.; PATTANY, P.M.; FLECK, S.J. Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J Appl Physiol* (1996) 81: 2004 – 2012.
31. MAYHEW DL, THYFAULT JP, KOCK AJ. Rest-interval length affects leukocyte levels during heavy resistance exercise. *J Strength Cond Res* (2005) 19:16-22.
32. MAYNARD, J.; EBBEN, W.P. The effect of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *J Strength Cond Res* (2003) 17: 469 – 474.
33. 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* (1989) 59: 310 – 319.
34. NARICI, M.V.; HOPPELER, H.; KAYSER, B.; LANDONI, L.; CLAASSEN H.; GAVARDI, C.; CONTO, M.; CERRETELLI, P. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand* (1996) 157: 175 – 186.

35. NOSAKA, K.; SAKAMOTO, K.; NEWTON, M.; SACCO, P. How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Med Sci Sports Exerc* (2001) 33: 1490 – 1495.
36. NOSAKA, K.; NEWTON, M. Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* (2002a) 34: 63 – 69.
37. NOSAKA, K.; NEWTON, M.; SACCO, P. Responses of human flexor muscles to electrically stimulated forced lengthening exercise. *Acta Physiologica Scand* (2002) 174: 137 – 145.
38. PAULSEN, G.; MYKLESTAD, D.; RAASTAD, T.; The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *J Strength Cond Res* (2003) 17: 115 – 120.
39. PINCIVERO, D.M.; LEPHART, S.M.; KARUNAKARA, R.G. Effects of intrasession rest interval on strength recovery and reliability during high intensity exercise. *J Strength Cond Res* (1998) 12: 152 – 156.
40. PINCIVERO DM, GREEN RC, MARK JD, CAMPY RM (2000). Gender and muscle differences in EMG amplitude and median frequency, and variability during maximal voluntary contractions of the quadriceps femoris. *J Electromyography Kinesiol* 10:189-196. Doi: 10.1016/S1050-6411(00)00003-1.
41. PINCIVERO, D.M.; CAMPY, R.M. The effects of rest interval length and training on quadriceps femoris muscle. Part I: knee extensor torque and muscle fatigue. *J Sports Med Phys Fitness* (2004a) 44: 111 – 118.
42. PINCIVERO, D.M.; CAMPY, R.M.; KARUNAKARA, R.G. The effects of rest interval and resistance training on quadriceps femoris muscle. Part II: EMG and perceived exertion. *J Sports Med Phys Fitness* (2004b) 44: 224 – 232.
43. RABITA G, PÉROT C, LENSEL-CORBEIL G (2000). Differential effect of knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris in humans. *Eur J Appl Physiol* 83:531-538.
44. RAINOLDI, A.; MELCHIORRI, G.; CARUSO, I. A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. *J Neurophysiol* (2004) 37 – 43.
45. RICHMOND, S.R.; GODARD, M.P. The effects of varies rest periods between sets to failure using the bench press in recreationally trained men. *J Strength Cond Res* (2004) 18: 846 – 849.

46. ROTH, S.M.; MARTEL, G.F.; IVEY, F.M.; LEMMER, J.T.; TRACY, B.L.; HURLBUT, D.E.; METTER, E.J.; HURLEY, B.F.; ROGERS, M.A. Ultrastructural muscle damage in young vs. Older men after high-volume, heavy-resistance strength training. *J Appl Physiol* (1999) 86: 1833 – 1840.
47. ROTH, S.M.; MARTEL, G.F.; IVEY, F.M.; LEMMER, J.T.; METTER, E.J.; HURLEY, B.F.; ROGERS, M.A. High-volume, heavy-resistance strength training and muscle damage in young and older women. *J Appl Physiol* (2000) 88: 1112 – 1118.
48. SILVA, L.E.; PEREIRA, R.; RODRIGUES, V.C.; SILVA, P.A.V.; SILVA, K.M.; MACHADO, M. Length of rest interval between resistance exercises sets: performance and inter-individual variability of CK activity. *J Muscul Res* (2010) 23(4): 187 – 195.
49. SIMÃO, R.; FARINATTI, P.T.V.; POLITO, M.D.; MAIOR, A.S.; FLECK, S.J. Influence of exercise order on the number of repetitions performed and perceived exertion during resistance exercises. *J Strength Cond Res* (2005) 19: 152 – 156.
50. SIRI WE (1961) Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: *Techniques for Measuring Body Composition*. Brozek, J and Henschel, A, eds. Washington, DC: National Academy of Sciences, 223–244.
51. SMITH, L.K.; WEISS, E.L.; LEHMKUHL, L.D. *Cinesiologia Clínica de Brunnstrom*, 5ª ed. São Paulo. Manone, 1997.
52. SORICHTER, S.; MAIR, J.; KOLLER, A.; SECNIC, P.; PARRAK, V.; HAIS, C.; MULLER, E.; PUSCHENDORF, B. Muscular adaptation and strength during the early phase of eccentric training: influence of the training frequency. *Med Sci Sports Med* (1997) 19: 1646 – 1652.
53. STOUTENBERG, M.; PLUCHINO, A.P.; MA, FANGCHAO; HOCTOR, J.E.; SIGNORILE, J.F. The impact of foot position on electromyographical activity of the superficial quadriceps muscles during leg extension. *J Strength Cond Res* (2005) 19: 931 – 938.
54. WILLARDSON, J.M.; BURKETT, L.N. A comparison of different rest intervals on the exercise volume completed during a workout. *J Strength Cond Res* (2005) 19: 23 – 26.

55. WILLARDSON, J.M.; BURKETT, L.N. The effect of rest interval length on bench press performance with heavy vs. light loads. *J Strength Cond Res* (2006a) 20: 396 – 399.
56. WILLARDSON, J.M.; BURKETT, L.N. The effect of rest interval length on the sustainability of squat and bench press repetitions. *J Strength Cond Res* (2006b) 20: 400 – 403.
57. ZIPP, P. Recommendations for the Standardization of Lead Positions in Surface Electromyography. *European Journal of Applied Physiology*, (1982) 50: 41 – 54.

4. SUPER-SÉRIES: O DISPÊNDIO ENERGÉTICO DECORRENTE DE EXERCÍCIOS DE FORÇA

SUPER-SETS DOES NOT CHANGE THE ENERGY EXPENDITURE DURING STRENGTH TRAINING SESSIONS IN PHYSICALLY ACTIVE INDIVIDUALS

BRENTANO, M.A.^{1,2}, UMPIERRE. D.², SANTOS, L.P.^{2,3}, LOPES, A.L.⁴, KRUEL, L.F.M.⁴

1. Serviço de Medicina Ocupacional, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil
2. Exercise Pathophysiology Research Laboratory, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil
3. Graduate Program in Cardiovascular Sciences, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil
4. Exercise Research Laboratory, Physical Education School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

Running title: Energetic expenditure induced by strength training

Corresponding author

Michel Arias Brentano, MSc
Serviço de Medicina Ocupacional
Hospital de Clínicas de Porto Alegre
Rua Ramiro Barcelos, 2350
Porto Alegre, RS - Brazil
Phone: +55 51 33598085
E-mail: michel.brentano@gmail.com

Abstract

The energy expenditure (EE) with strength training (ST) involves its analysis both during as well as after single exercise sessions. However, little information exists about the influence of the strength exercises sequence on EE. **Objective:** We aimed to determine whether the exercise sequence of ST exercises could influence the EE during and after a strength exercise session. **Methods:** Twenty (20) males were randomly divided to perform either a session with grouped exercises for the same muscle (GE: 26.6±3.4 years; 17.4±3.4 body fat) or a session with separated exercises (SE: 24.9±2.6 years; 15.4±5.9 body fat). Four exercises (5 sets of 8-10RM) for knee extensor muscles and shoulder horizontal flexor muscles were executed in both training sessions. The EE experimental session was obtained through the analysis of oxygen uptake during and after exercise (60 minutes post-session). **Results:** Total work held during the session and increases in lactate concentrations were similar between GE and SE groups. During the exercise, the EE was greater in SE (GE: 123.8 ± 14.36kcal vs. SE: 131.77 ± 20.91kcal), when compared with GE. Interestingly, that pattern was changed during the post-exercise period, since GE induced greater EE (GE: 25.12 ± 7.86kcal vs. SE: 19.76 ± 5.53kcal), when compared with SE. However, the exercise sequence did not influence overall EE (GE: 148.92 ± 18.72kcal vs. SE: 151.53 ± 17.97kcal, p=0.920). **Conclusion:** Our findings indicate that, in physically active men, the strength training exercises sequence does not influence the total EE during and 60 minutes after a single session.

Keywords: pre-exhaustion, EPOC, lactate.

Introduction

The energy expenditure (EE) of strength training (ST) has been studied both during (Melby et al., 1992; Pichon et al., 1996; Burlison et al., 1998; Paulsen et al., 2003) as well as after (excess post-exercise oxygen consumption - EPOC) exercise sessions (Sedlock et al., 1989; Sedlock, 1990; Halton and Wilkin, 1999; Binzen et al., 2001; Morgan et al., 2003). Although EE is typically obtained by gas analysis (oxygen uptake - VO_2), the variation in lactate concentration ($[\text{La}]$) has also been used to quantify the energy cost (Scott, 1998; Hunter et al., 2003; Scott, 2005; Scott and Kemp, 2005; Scott, 2006b). Interestingly, different ST sessions may generate an EE ranging from $10.4 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ ($2.4 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$) and $33.1 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ ($7.9 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$).

Previous studies involving the responses of EE induced by ST usually manipulated the exercise intensity by modifying weight loads (Pichon et al., 1996; Thornston and Potteiger, 2002; Paulsen et al., 2003), while the volume has been modified through the number of repetitions of each set (Pichon et al., 1996; Thornston and Potteiger, 2002; Paulsen et al., 2003). However, the rest between sets of exercises for a same muscle group is also handled in ST (Pincivero and Campy, 2004). It is a pragmatcal strategy widely adopted as a factor of intensity progression (Uchida et al., 2003; Fleck and Kraemer, 2006). In this regard, super-sets are a common way of manipulating rest between sets, and consist of pre-exhausting a limited muscle group through successive exercises evolving sets with minimal rest between them. Such variations in rest period between exercises for the same muscle group have been consistently investigated from the neuromuscular perspective (Garfinkel and Cafarelli, 1992; Kellis and Baltzopoulos, 1996a; Kellis and Baltzopoulos, 1996b; Augustsson et al., 2003; Hassani et al., 2006; Garrandes et al., 2007). On the other hand, studies showing the effects of super-sets on EE are scarce, involve only women (Benton and Swan, 2009; Da Silva et al., 2010) and may be further elucidated by an analysis comprising the within and post-session periods.

Accordingly, this study aimed to examine the effects of exercise sequence/ and rest in EE during and the after (EPOC) single ST sessions. Since a more intense exercise promotes greater muscular fatigue, we hypothesized that greater EE would occur when the strength exercises for the same muscle group were performed in a grouped order, since there is a shorter rest between them.

Methods

Subjects

The sample consisted of twenty two men. The inclusion criteria were being physically active, familiarized with strength exercises, but not on a competitive basis. The following exclusion criteria were adopted: (a) use of drugs that could affect the cardiorespiratory responses and (b) history of neuromuscular injury that could limit exercise performance.

The characteristics of the subjects are shown in table 1. Before their participation, all subjects were informed about the procedures, risks and benefits of the study and signed a consent form approved by the Ethics Committee of the Hospital de Clínicas de Porto Alegre (CEP / HCPA 08-474). The sample was obtained through the dissemination of posters placed in the School of Physical Education of the Federal University of Rio Grande do Sul and surroundings. Based on the effect size of 1, alpha level of 0.05, and a power (1- β) of 0.80, with an expected difference of 10% for the VO₂ and La between two groups, it was shown that eight subjects per group were necessary. After the recruitment, selected participants were randomized to perform grouped exercise session with successive exercise to upper and lower limbs (Grouped Exercises, GE) or a session with identical exercises in an order with separate (alternate) upper and lower execution (Separated Exercises, SE). The following exclusion criteria were adopted: (a) use of drugs that could affect the cardiorespiratory responses and (b) history of neuromuscular injury that could limit exercise performance.

Table 1: Sample characterization of the grouped exercises (GE) and split exercises (SE) with means and standard deviations (mean \pm SD) ($p > 0.05$). VO₂ ST: maximal oxygen consumption during each strength training session.

Variables	Groups	
	GE	SE
Age (years)	26.6 \pm 3.4	24.9 \pm 2.6
Height (cm)	178.0 \pm 7.0	177.0 \pm 6.0
Body mass (kg)	77.2 \pm 6.0	76.1 \pm 10.0
Fat mass (%)	17.4 \pm 4.0	15.4 \pm 5.9
VO ₂ ST ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	34.9 \pm 3.3	36.2 \pm 4.7
10RM bench press (kg)	52.6 \pm 12.3	47.0 \pm 12.0
10RM peck deck (kg)	25.5 \pm 7.5	28.0 \pm 6.7
10RM leg press (kg)	157.9 \pm 33.0	164.0 \pm 36.3
10RM knee extension (kg)	34.7 \pm 4.5	38.4 \pm 3.5

Strength Training Sessions

The subjects performed a total of 4 exercises: (a) “bench press” with free weights and (b) “peck deck” (Taurus, Brazil), (c) “leg-press 45°” (Top Line, Brazil) and (d) “knee extension” (Taurus, Brazil) for the lower limbs; for upper limbs. With these four exercises were conducted two training sessions: one with exercises for the same muscle group in sequence, named grouped session (GE – exercise order a, b, c, d) and another with the exercises for the same muscle group performed separately (SE – exercise order c, b, a, d). Based on the characteristics of a physically active subjects (Pincivero and Campy, 2004) and targeting a typical session for muscle hypertrophy (Campos et al., 2002), subjects performed five sets with 8-10 RM in each of the four exercises. All exercises were performed at the load obtained during the 10RM tests; therefore both sessions were conducted with loads equivalent to 85% of 10RM.

During GE, the subjects performed one set of the “leg-press” exercise, immediately followed by one set of the “knee extension” exercise, with no rest between each exercise. After five sets, the subjects performed one set of the “bench press” exercise, immediately followed by one set of the “peck deck” exercise, with no rest between each exercise. During SE, the subjects performed one set of the “bench press” exercise, immediately followed by one set of the “knee extension” exercise, with no rest between each exercise. After five sets, the subjects performed one set of the “leg-press” exercise, immediately followed by one set of the “peck deck” exercise, with no rest between each exercise. In both GE and SE, it was used three minutes of rest between every two exercises (superset) to minimize the decrease in total work for subsequent sets (Pincivero et al 1998; Richmond and Godard 2004; Willardson and Burkett 2005; Willardson and Burkett 2006a; Willardson and Burkett 2006b).

10RM test

The modulation of loads was performed using the 10RM test, following a protocol previously described (Simão et al., 2005). Therefore, the sequence of exercises was as follows: Leg-press, bench press, leg extension and peck deck. There were up to 3 attempts in each exercise, with intervals of five minutes

between each one. At the end of an exercise test, an interval of at least ten minutes was given prior to the subsequent test.

Body composition

Body weight and height were obtained on a scale with a stadiometer (Asimed, Barcelona, Spain), following previous recommendations (Costa, 2001). The sum of skinfolds was used to estimate body density (Jackson and Pollock, 1978) and, posteriorly, body fat of individuals (Siri, 1961).

Energetic expenditure

The EE in each training session was obtained through the analysis of oxygen uptake. We used a gas analyzer (Medical Graphics Corporation, model Cardiopulmonary Exercise System Cpx, St. Paul, USA), calibrated before each data acquisition, according to the manufacturer's recommendations. Data acquisition (breath by breath) was conducted using the following steps: (1) pre-exercise resting for 15 minutes in the supine position until the respiratory exchange ratio (RER) fell below 0.85, (2) baseline acquisition of VO_2 at rest during 15 minutes; (3) acquisition of VO_2 during each ST session (GE or SE); (4) post-exercise acquisition of VO_2 after exercise (EPOC) during 60 minutes, immediately after the end of each ST session. All procedures (trials and training sessions) were conducted in an environmental chamber (Russell, WMD-1350-5S, USA), with controlled-temperature and humidity between 20°-23° and 50%-70%, respectively. Prior to data collection, the reproducibility of gas analyzer and lactimeter was evaluated into two separated days, whose intraclass correlation coefficients values were $r=0.954$ and $r=0.937$, respectively; $p<0.05$. Moreover, the coefficient of variation ranged between 15.2% and 18.9%. The steps of the data acquisition can be viewed in figure 1.

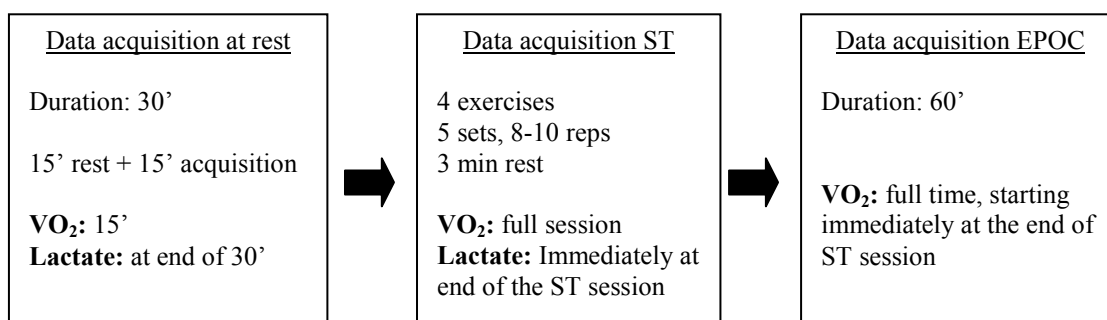


Figure 1 – Illustration of energy expenditure data acquisition.

VO₂: oxygen uptake; ST: strength training; EPOC: excess post-exercise oxygen consumption

The absolute VO₂ (in liters (L)) of each of the ST session was obtained through the following steps: (1) obtaining the value of VO₂ (L.min⁻¹) during rest, using the following formula:

$$(1) \quad \mathbf{VO_{2R} (L.min^{-1}) = \Sigma VO_{2R} (L.min^{-1}) / t_R (min)}$$

Legend:

VO_{2R} (L.min⁻¹) = oxygen uptake per minute, during rest
ΣVO_{2R} (L.min⁻¹) = sum of the oxygen uptake per minute, during rest
t_R (min) = duration of rest (15 minutes)

Obtaining the total value of VO₂ during exercise (2) and post-exercise (3), using the following formulas:

$$(2) \quad \mathbf{VO_{2TE} (L) = \Sigma VO_{2E} (L.min^{-1})}$$
$$(3) \quad \mathbf{VO_{2TEPOC} (L) = \Sigma VO_{2EPOC} (L.min^{-1})}$$

Legend:

VO_{2TE} (L) = total oxygen uptake during exercise
VO_{2TEPOC} (L) = total oxygen uptake post-exercise
ΣVO_{2E} (L.min⁻¹) = sum of the oxygen uptake per minute during exercise
ΣVO_{2EPOC} (L.min⁻¹) = sum of the oxygen uptake per minute during post-exercise period

From these values we obtained the absolute values of VO₂ during exercise (4) and during post-exercise (5), by subtracting the resting values:

$$(4) \quad \mathbf{VO_{2E} (L) = VO_{2TE} (L) - (VO_{2R} (L.min^{-1}) \times t_E (min))}$$
$$(5) \quad \mathbf{VO_{2EPOC} (L) = VO_{2TEPOC} (L) - (VO_{2R} (L.min^{-1}) \times t_{EPOC} (min))}$$

Legend:

VO_{2E} (L) = oxygen uptake during exercise
VO_{2EPOC} (L) = oxygen uptake during post-exercise
T_E = duration of exercise session
t_{EPOC} = duration of post-exercise period (60 minutes)

The total VO₂, considering the exercise and the post-exercise period, was obtained with the formula (6):

$$(6) \quad \mathbf{VO_{2T} = VO_{2E} (L) + VO_{2EPOC} (L)}$$

Legend:

VO_{2T} = total oxygen uptake

The total EE was estimated multiplying the VO_{2T} values for 4.82kcal (Burleson et al., 1998; Morgan et al., 2003; Paulsen et al., 2003).

Lactate

The data collection procedures followed those described previously (Hunter et al., 2003). Two blood samples (15 micro liters - μ L) were collected of the fingertip at two moments: immediately after the 15 minutes period of rest (pre-exercise) and immediately after the last set of exercise (post-exercise). Samples were obtained with ribbons lactate (Boehringer Mannheim, Germany) and analyzed by a portable lactimeter (Accusport, Boehringer Mannheim GmbH, Germany). Lactate levels (mmol.L^{-1}) were considered in the exercise session EE, subtracting the resting values of post exercise values (7) and converted to oxygen equivalent (Scott, 2006b) (8)

$$(7) \quad \text{La} = \text{La}_{\text{post}} (\text{mmol}) - \text{La}_{\text{pre}} (\text{mmol})$$

$$(8) \quad \text{La}_{\text{O}_2} = [\text{La} (\text{mmol}) \times 3\text{ml}] / \text{BM} (\text{kg})$$

Legend:

La = lactate

La_{post} = lactate post-exercise

La_{pre} = lactate pre-exercise

BM = body mass

Statistical procedures

Data are expressed as means and standard deviations. The normality and homogeneity were verified by Shapiro-Wilk and Levene tests, respectively. The reproducibility of all variables was verified with the intraclass correlation coefficient (ICC) and coefficient of variation (CV). Whenever normality assumptions were warranted, comparisons of numerical means between groups (workout time, total work, VO_2 , Kcal and lactate) were made through an independent t test. For all analyses significance was considered as $p \leq 0.05$. Analyses were conducted by using the Statistical Package for the Social Sciences version 18.0.

Results

Twenty subjects completed the study, ten in each training group (SE and GE). One individual from each group was excluded due to the impossibility of using your VO₂ data.

During the GE and SE sessions, groups did not differ in the total work (GE: 11972.5 ± 2158.94 kg x SE: 12022.88 ± 1812 kg) and session lengths (GE: 35min04seg ± 03min14seg x SE: 34min58seg ± 2min21seg), between the two protocols. These results are fundamental for only the order of exercises act as a possible influential of EE.

During the exercise, the EE was greater in SE (GE: 123.8 ± 14.36kcal vs. SE: 131.77 ± 20.91kcal), when compared with GE. Interestingly, that pattern was changed during the post-exercise period, since GE induced greater EE (GE: 25.12 ± 7.86kcal vs. SE: 19.76 ± 5.53kcal), when compared with SE. (Figure 2, Table 2). However, the exercise sequence did not influence overall EE (GE: 148.92 ± 18.72kcal vs. SE: 151.53 ± 17.97kcal, p=0.920) (Table 2). There was no difference between changes in lactate concentrations between SE and GE sessions (Table 2).

Table 2 – Mean and standard deviations (mean ± SD) of the variables related to energetic expenditure in groups with grouped exercises (GE) and separated exercises (SE). *: Values higher in SE compared with GE; #: Values lower in SE compared with GE.

Variables	Group	
	GE (n=10)	SE (n=10)
Total work (kg)	11972.5 ± 2158.94	12022,88 ± 1812
Total time (min:sec)	35:04 ± 03:14	34:58 ± 02:21
VO ₂ exercise (L) / (kcal)	25.17 ± 4.10 / (121.33 ± 14.36) #	26.55 ± 4.56 / (127.98 ± 20.91)
VO ₂ exercise.min ⁻¹ / (kcal.min ⁻¹)	0.72 ± 0.12 / (3.47 ± 0.56) #	0.76 ± 0.13 (3.66 ± 0.63)
EPOC (L) / (kcal)	5.21 ± 1.63 / (25.12 ± 7.86) *	4.1 ± 1.15 / (19.76 ± 5.53)
VO ₂ total (L) / (kcal)	30.90 ± 3.88 / (148.92 ± 18.72)	31.44 ± 3.73 / (151.53 ± 17.97)
Lactate (mmol.L ⁻¹) / (kcal)	7.05 ± 1.83 / (1.37 ± 0.25)	6.52 ± 1.83 / (1.27 ± 0.41)

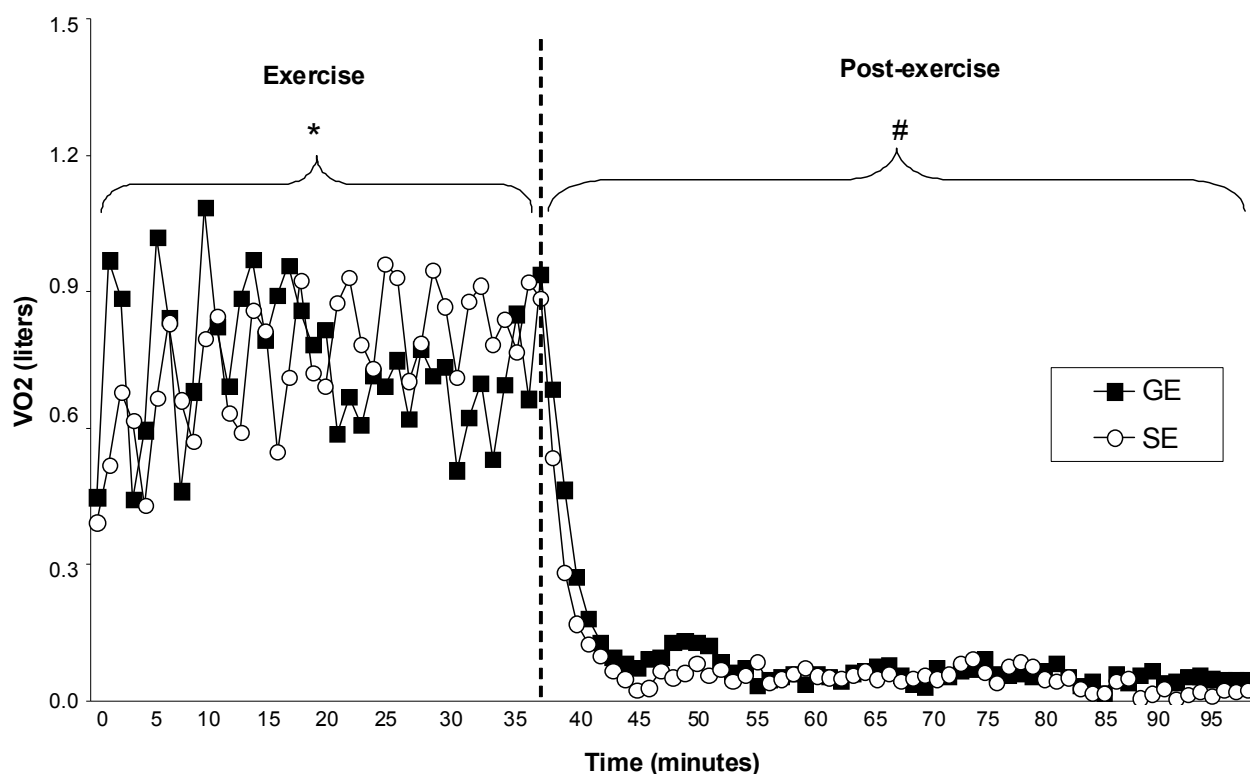


Figure 2 – Oxygen consumption during the exercise due to exercises performed grouped (GE) and separated (SE).

*: Values higher in SE compared with GE ($p < 0.05$).

#: Values lower in SE compared with GE ($p < 0.05$).

Discussion

The main finding of this study was same pattern of EE according to the order of exercises during typical sessions of strength training. Nonetheless, contrary to our hypothesis, the overall EE was not different between the two experimental sessions.

Studies have shown that training intensity (i.e., percentage of 1RM) and explosive movements are crucial to reach greater values of VO_2 , EPOC and EE in ST (Melanson et al., 2002; Thornton and Potteiger, 2002). The order of exercises, which is also an indicator of exercise intensity, was investigated only in two studies (Farinati et al., 2009; Da Silva et al., 2010). Farinati et al. showed that the within-exercise energy cost is altered by its order, since a higher EE is

observed when the same exercise is performed towards the end of the session (Farinati et al., 2009). However, the total session EE for upper limbs is not affected by the sequence utilized (Farinati et al., 2009). Similarly, considering only the EPOC, the order of exercise have no influence in untrained women (Da Silva et al., 2010).

Underscoring that the two studies cited above included only women, we aimed to extend the knowledge investigating the effect of exercise order in men, both during and post-exercise. We expected that the exercises for the same muscle group performed grouped within the session would induce a higher level of fatigue during exercise, promoting greater increases in the overall EE. In fact, a previous work (Ratames et al., 2007) showed that short rest intervals (30 seconds and 1 minute) produce a greater EE compared to longer intervals (2 to 5 minutes) between sets of the same exercise (bench press) performed with 5 sets of 5 repetitions (75% 1RM) or 10 repetitions (85% 1RM). Furthermore, their findings showed a direct relationship of fatigue rate [expressed by resistance/volume of set 1 – set 5/set 1 (x100)] with the metabolic response and an inverse relationship between the rest interval between sets and the acute metabolic response (VO_2 and EE). Similarly, Scott and Earnest (Scott and Earnest, 2011) showed that performing exercises with muscle fatigue induced by contraction failure during sets of strength exercises promotes greater EE in the bench press, compared with this exercise performed without fatigue (7-21 reps with 50% of 1RM).

The training volume is an important determinant of EE during ST. Higher volumes promotes a greater EE during the exercise session (Haddock and Wilkin, 2006). However, when EPOC is accounted into the metabolic response induced by the session, results are controversial (Haddock and Wilkin, 2006; Benton and Swan, 2009). While Haddock and Wilkin showed no influence of ST volume (1 x 3 sets) on EPOC, Benton and Swan found a positive relationship of the total volume (total work in kg) of super-sets with 90 minutes of EPOC. However, the “higher volume” proposed (Benton and Swan, 2009) means higher loads performed with the same repetitions (8RM-12RM). Thus, it seems that the “intensity” is the main factor involved with a greater EPOC. Moreover, intervals between the sets of models with higher volume (multiple sets) may promote a decreased contribution of EPOC, due the recovery (rest periods)

between the multiple sets (Benton and Swan, 2009). Since our study involved 3-minute intervals between sets of exercises performed in the two training sessions, such characteristic could have attenuated differences between the GE and SE training sessions.

The type of exercises and speed of execution could affect EE. The latter, however, has been shown not to influence the EE during the similar training sessions to those used in our study. Regarding the chosen exercise, it seems that lower-limb exercises promote greater EPOC than upper-limb exercises in sessions where the EE of each exercise was controlled (Lyons et al., 2007). In our study, we used exercises for large muscle groups of the lower and upper limbs. However, as we have used super-sets and not isolated strength exercises, our experimental design does not provide insight in possible specific effects of each exercise in the behavior of EE during or after the training session.

Conclusion

In summary, the present study indicates that the exercise order during a typical ST session does not interfere in the total EE of physically active men, considering the values obtained during and post-exercise. Thus, the manipulation of that variable appears to have little significance in the prescription when we consider the EE induced by ST.

References

1. Augustsson, J., Thomeé, R., Hornstedt, P., Lindblom, J., Karlsson, J. and Grimby, G. (2003) Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17(2), 411–416.
2. Barreto, A.N., Maior, A.S., Menezes, P., Willardson, J.M., Silva, A.J., Reis, V.M., Simão, R. and Novaes, J. (2010) Effect of different resistance exercise repetition velocities on excess post-exercise oxygen consumption and energetic expenditure. *International SportMed Journal* 11(1), 235-243.

3. Beltman, J.G., Sargeant, A.J., Ball, D., Maganaris, C.N. and Haan, A. (2003) Effect of antagonist muscle fatigue on knee extension torque. *Pflugers Archives* 446(6), 735–741.
4. Benton, M.J., Swan, P.D. (2009) Influence of resistance exercise volume on recovery energy expenditure in women. *European Journal of Sport Science* 9(4), 231–218.
5. Binzen, C.A. Swan, P.D. and Manore, M.M. (2001) Post-exercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in woman. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33(6), 932–938.
6. Burleson, Majr., O'Bryant, H.S., Stone, M.H., Collins, M.A. and Triplett-Mcbride, T. (1998) Effect of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30(4), 518–522.
7. Campos, G.E.R., Luecke, T.J., Wendeln, H.K., Toma, K., Hagerman, F.C., Murray, T.F., Ragg, K.E., Ratamess, N.A. and Staron, R.S. (2002) Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology* 88(1-2), 50–60.
8. Costa, R.F. (2001) *Composição Corporal Teoria e Prática da Avaliação*. Manole, São Paulo.
9. Da Silva, R.L., Brentano, M.A. and Krueel, L.F.M. (2010) Effects of different strength training methods on postexercise energetic expenditure. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24(8), 2255-2260.
10. Farinatti, P.T.V., Simão, R., Monteiro, W.B. and Fleck, S.J. (2009) Influence of exercise order on oxygen uptake during strength training in young women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(3), 1037-1044.
11. Fleck, J.F. and Kraemer WJ. (2006) *Fundamentos do Treinamento de Força Muscular*, 3th edition. ArtMed, Porto Alegre.
12. Garfinkel, S. and Cafarelli, E. (1992) Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24(11), 1220–1227.
13. Garrandes, F., Colson, S.S., Pensini, M., Seynnes, O. and Legros, P. (2007) Neuromuscular fatigue profile in endurance-trained and power-trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39(1), 149–158.

14. Haddock, B.L. and Wilkin, L.D. (2006) Resistance training volume and post exercise energy expenditure. *International Journal Sports Med* 27(2),143–148.
15. Halton, R.W., Kraemer, R.R., Sloan, R.A., Hebert, E.P., Frank, K. and Tryniecki, J.L. (1999) Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31(11), 1613–1618.
16. Hassani, A., Patikas, D., Bassa, E., Hatzikotoulas, K., Kellis, E. and Kotzamanidis C. (2006) Agonist and antagonist muscle activation during maximal and submaximal isokinetic fatigue tests of knee extensors. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 16(6), 661–668.
17. Hunter, G.R., Seelhorst, D. and Snyder S. (2003) Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow vs. traditional resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17(1), 76–81.
18. Jackson, A.S. and Pollock, M.L. (1978) Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition* 40(3), 497-504.
19. Kellis, E. and Baltzopoulos, V. (1996a) Agonist and antagonist EMG-angle relationship during isokinetic eccentric and concentric exercise. *Isokinetics and Exercise Science* 6, 79-87.
20. Kellis, E. and Baltzopoulos, V. (1996b) The effects of normalization method on antagonist activity during concentric and eccentric isokinetic knee extension and flexion. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 6(4), 235–245.
21. Lyons, S., Richardson, M., Bishop, P., Smith, J., Heath, H. and Giesen, J. (2007) Excess post-exercise oxygen consumption in untrained men following exercise of equal energy expenditure: comparison of upper and lower body exercise. *Diabetes, Obesity and Metabolism* 9(6), 889-894.
22. Mazzetti, S., Douglass, M., Yocum, A. and Harber, M. (2007) Effect of explosive versus slow contractions and exercise intensity on energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39(8), 1291-1301.
23. Melanson, E.L., Sharp, T.A., Seagle, H.M., Donahoo, W.L., Grunwald, G.K., Peters, J.C., Hamilton, J.T. and Hill, J.O. (2002) Resistance and aerobic

- exercise have similar effects on 24-h nutrient oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34(11), 1793–1800.
24. Melby, C.L., Tincknell, T. and Schmidt, W.D. (1992) Energy expenditure following a bout of non-steady state resistance exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 32(2), 128–135.
25. Morgan, B., Woodruff, S.J., Tiidus, P.M. (2003) Aerobic energy expenditure during recreational weight training in females and males. *Journal of Sports Science and Medicine* 2(3), 117–122.
26. Paulsen, G., Mykkestad, D. and Raastad, T. (2003) The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17(1), 115–120.
27. Pichon, C.E., Hunter, G.R., Morris, M., Bond, R.L. and Metz J. (1996) Blood pressure and heart rate response and metabolic cost of circuit versus traditional weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 10(3), 153–156.
28. Pincivero, D.M. and Campy, R.M. (2004) The effects of rest interval length and training on quadriceps femoris muscle. Part I: knee extensor torque and muscle fatigue. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 44(2), 111–118.
29. Ratamess, N.A., Falvo, M.J., Mangine, G.T., Hoffman, J.R., Faigenbaum, A.D. and Kang, J. (2007) The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *European Journal of Applied Physiology* 100(1), 1–17.
30. Scott, C.B. (1998) Re-interpreting anaerobic metabolism: an argument for the application of both anaerobic glycolysis and excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) as independent sources of energy expenditure. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 77(3), 200–205.
31. Scott, C.B. (2005) Contribution of anaerobic energy expenditure to whole body thermogenesis. *Nutrition and Metabolism* 2(1), 14–22.
32. Scott, C.B. (2006a) Estimating energy expenditure for brief bouts of exercise with acute recovery. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 31(2), 144–149.

33. Scott, C.B. (2006b) Contribution of blood lactate to the energy expenditure of weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 20(2), 404–411.
34. Scott, C.B. and Kemp, R.B. (2005) Direct and indirect calorimetry of lactate oxidation: implications for whole-body energy expenditure. *Journal of Sports Sciences* 23(1), 15–19.
35. Scott, C.B. and Earnest, C.P. (2011) Resistance exercise energy expenditure is greater with fatigue as compared to non-fatigue. *Journal of Exercise Physiology* 14(1), 1–10.
36. Sedlock, D.A., Fissinger, J.A. and Melby, C.L. (1989) Effect of exercise intensity and duration on postexercise energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21(6), 662–666.
37. Sedlock, D.A. (1990) Effect of exercise intensity on post-exercise energy expenditure in women. *British Journal of Sports Medicine* 25(1), 38–40.
38. Simão, R., Farinatti, P.T., Polito, M.D., Maior, A.S. and Fleck, S.J. (2005) Influence of exercise order on the number of repetitions performed and perceived exertion during resistance exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19(1), 152–156.
39. Simão, R., Farinatti, P.T., Polito, M.D., Viveiros, L. and Fleck, S.J. (2007) Influence of exercise order on the number of repetitions performed and perceived exertion during resistance exercise in women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(1), 23–28.
40. Siri, W.E. (1961) Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: *Techniques for Measuring Body Composition*. Brozek, J and Henschel, A, eds. Washington, DC: National Academy of Sciences, 223–244, 1961.
41. Thornton, M.K. and Potteiger, J.A. (2002) Effects of Resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34(4), 715–722.
42. Uchida, M.C., Charro, M.A., Bacurau, R.F.P., Navarro, F. and Pontes Júnior, F.L. (2003) *Manual de musculação: uma abordagem teórico-prática ao treinamento de força*. Phorte, São Paulo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados nossos estudos permitem sugerir alguns aspectos relevantes relacionados à manipulação da ordem de exercícios de força. Os resultados obtidos com a atividade muscular e os marcadores indiretos de dano muscular permitem sugerir que super-séries de pré-exaustão promovem maior esforço muscular e dano muscular, acarretando em maior período necessário para a recuperação de sessões com exercícios de força que contenham esse modelo de treino. No entanto, os nossos resultados sustentam parcialmente as hipóteses 1, 2 e 3, uma vez que nem todos os grupos musculares e marcadores indiretos de dano tiveram esse comportamento. Os nossos achados permitem inferir que essas super-séries sejam administradas com intervalos maiores entre as sessões semanais, quando comparadas a modelos sem essa prática.

Entretanto, sessões sucessivas de treino de força com as mesmas características promovem um “efeito protetor”, que acarreta na menor resposta de marcadores indiretos de dano muscular ao longo do tempo. No nosso estudo, temos a resposta de apenas uma sessão de treino com super-séries. É provável que, em sessões posteriores, a resposta desses marcadores seja atenuada, como já observado em sessões de treino que manipulam outras variáveis do treinamento de força (tempo de intervalo, tipo de contração, etc.). Dessa forma, inferir que a técnica de pré-exaustão promove maior dano e período de recuperação, por tempo indeterminado, é uma afirmação com sustentação frágil. Estudos com sessões sucessivas utilizando esse modelo de treino auxiliarão na análise do comportamento dos marcadores indiretos de dano muscular utilizados no nosso estudo.

Quanto ao dispêndio energético, a ordem de execução de exercícios de força promove pouca ou nenhuma influência no dispêndio energético total da sessão de treino, considerando a avaliação durante e após uma hora do término dessa sessão. Esses achados refutam a hipótese 4. Conforme os trabalhos citados na discussão do capítulo 4, a intensidade (cargas utilizadas) parece ter o papel mais relevante no dispêndio energético induzido pelo treinamento de força. Como as cargas relativas, o trabalho total e o tempo de exercício das duas sessões de treino foram equiparados, não houve diferença

na intensidade nas sessões de exercício propostas, assim como em outras variáveis que interferem no dispêndio energético decorrente de exercícios de força. Sendo assim, super-séries de pré-exaustão, embora pareçam mais intensas devido ao agrupamento de exercícios para o mesmo grupo muscular, não são suficientes para promover um maior dispêndio energético em homens fisicamente ativos, quando comparadas ao modelo com exercícios para o mesmo grupo muscular sendo realizadas de forma separada.

Por outro lado, esse parece ser o primeiro trabalho analisando o dano muscular, o período de recuperação e o dispêndio energético com esse modelo de super-série. Nesse contexto, existe uma vasta área de estudo que pode acrescentar maior robustez aos nossos achados, analisando outros grupos musculares, outros marcadores de dano muscular e, principalmente, outros públicos alvo; particularmente indivíduos altamente treinados.

6. ANEXOS

ANEXO 1

Tabela 4 – Cálculo amostral das principais variáveis: concentração de lactato (LA), amplitude do sinal eletromiográfico durante ação agonista (EMG_{ago}), creatina quinase (CK) e dispêndio energético (Kcal).

Variável	DP 1	DP 2	Diferença esperada	N	Referência
LA	1,5	0,8	1mmol.L ⁻¹	8	Zafeiridis et al., 2003
EMG _{ago}	30	20	15%	11	Youdas et al., 2007
CK	700	550	350UI.L ⁻¹	11	Chen et al., 2007
Kcal	41,86	35,6	32,8kcal	8	Melanson et al., 2002

Referências:

1. CHEN, T.C.; NOSAKA, K.; SACCO, P. Intensity of eccentric exercise, shift of optimum angle, and the magnitude of repeated-bout effect. *J Appl Physiol* (2007) 102: 992 – 999.
2. MELANSON, E.L.; SHARP, T.A.; SEAGLE, H.M.; DONAHO, W.L.; GRUNWALD, G.K.; PETERS, J.C.; HAMILTON, J.T.; HILL, J.O. Resistance and aerobic exercise have similar effects on 24-h nutrient oxidation. *Med Sci Sports Exerc* (2002) 34: 1793 – 1800.
3. YODAS, J.M.; HOLLMAN, J.H.; HITCHCOCK, J.R.; HOYME, G.J.; JOHNSEN, J.J. Comparison of hamstring and quadriceps femoris electromyographic activity between men and women during single-limb squat on both a stable and labile surface. *J Strength Cond Res* (2007) 21: 105 – 111.
4. ZAFEIRIDIS, A.; SMILIOS, I.; CONSIDINE, R.V. Serum leptine responses after acute resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* (2003) 94: 591 – 597.

ANEXO 2

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

Termo de consentimento livre e esclarecido

Eu entendo que participarei como sujeito do estudo intitulado “RESPOSTAS NEUROMUSCULARES E FISIOLÓGICAS EM EXERCÍCIOS DE FORÇA COM E SEM PRÉ-EXAUSTÃO MUSCULAR EM INDIVÍDUOS FÍSICAMENTE ATIVOS”, que envolverá 3 (três) sessões de treinamento de força. Entendo que os testes que realizarei são parte desse estudo e terão a finalidade de possibilitar a análise os efeitos agudos de diferentes tipos de séries de musculação em algumas variáveis relacionadas à atividade, à lesão muscular, e ao dispêndio energético.

Eu, por meio desta, autorizo Luiz Fernando Martins Krueel, Michel Arias Brentano, bolsistas ou profissionais selecionados para realizar os seguintes procedimentos:

- a. Comparecer na Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 12 ocasiões para os procedimentos de familiarização e coleta dos dados necessários;
- b. Familiarizar-me com (quatro) exercícios de musculação, com pesos que aumentam progressivamente, em duas ocasiões;
- d. Aplicar-me um teste de 10 repetições máximas (10RM) em cada um dos 4 (quatro) exercícios de musculação;
- e. Aplicar-me um teste de torque isométrico máximo nos movimentos de extensão de joelhos e flexão horizontal dos ombros;
- f. Exercitar-me em 4 (quatro) exercícios de musculação, em três ocasiões diferentes, durante, aproximadamente, 20 minutos.
- g. Coletar 4 (quatro) amostras de sangue do lóbulo da orelha e 14 (catorze) amostras de sangue na região antecubital;
- h. Coletar os gases inspirados e expirados através de uma máscara colocada no rosto antes, durante e após o exercício;
- i. Coletar o sinal eletromiográfico dos músculos peitoral maior, deltóide anterior, deltóide posterior, vasto lateral, vasto medial e bíceps femoral do lado direito do corpo, através eletrodos de superfície.

Eu entendo que nos testes de 10RM e de toque máximo:

1. Eu serei submetido ao máximo nível de esforço, nos exercícios selecionados.
2. Estão envolvidos os seguintes riscos e desconfortos: dor e cansaço muscular temporário.
3. Existe a possibilidade de dor muscular dos grupos musculares exercitados nos dias seguintes ao teste.

Eu entendo que durante as sessões de exercício:

1. Eu estarei respirando através de uma máscara, na qual estará anexado um analisador de gases;
2. Estão envolvidos os seguintes riscos e desconfortos: dor e cansaço muscular temporário;
3. Existe a possibilidade de dor muscular dos grupos musculares exercitados nos dias seguintes a sessão de exercício.

Eu entendo que na coleta do sinal eletromiográfico:

1. Terei parte da região da coxa, do peito e do ombro depilados com gilete descartável, e a pele limpa por abrasão feita com algodão com álcool, com a finalidade de colocar os eletrodos de medida da ativação muscular.

2. No processo de limpeza da pele, poderá ocorrer “ardência” e vermelhidão temporária, no local do procedimento.

3. Serão realizadas algumas marcas com tinta na coxa, na tíbia, no peito, no ombro e na clavícula onde os eletrodos serão posicionados, que deverão permanecer durante todo o período de avaliação (3 a 4 semanas).

4. Todos os materiais envolvidos nas coletas são descartáveis, não sendo re-utilizados com outros indivíduos.

Eu entendo que nas coletas de sangue:

1. Estão envolvidos os seguintes riscos e desconfortos: dor local.
2. Todos os materiais envolvidos nas coletas são descartáveis, não sendo re-utilizados com outros indivíduos.

Eu entendo que na coleta dos gases inspirados e expirados:

1. Os gases inspirados e expirados são apenas os contidos no ar ambiente.
2. Não haverá a administração de qualquer composto de inalação ou substância tóxica.
3. Pode haver desconforto e sensação de falta de ar.

- a. Os procedimentos expostos acima têm sido explicados para mim por Luiz Fernando Martins Krueel e/ou seus orientandos, Michel Arias Brentano e bolsistas selecionados;
- b. Eu entendo que Luiz Fernando Martins Krueel e/ou Michel Arias Brentano e bolsistas, irão responder qualquer dúvida que eu tenha em qualquer momento relativo a esses procedimentos;
- c. Eu entendo que todos os dados relativos a minha pessoa irão ficar confidenciais e disponíveis apenas sob minha solicitação escrita. Além disso, eu entendo que no momento da publicação, não irá ser feita associação entre os dados publicados e a minha pessoa;
- d. Eu entendo que não há compensação financeira pela minha participação neste estudo;
- e. Eu entendo que posso fazer contato com o orientador do estudo Professor Doutor Luiz Fernando Martins Krueel, e seu orientando, Professor Michel Arias Brentano, para quaisquer problemas referentes a minha participação no estudo ou se eu sentir que há uma violação dos meus direitos, através dos telefones (051) 3308-5820 ou (051) 2101-8085, respectivamente. Ou ainda, entrar em contato como o Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital de Clínicas de Porto Alegre através do telefone (051)2101-8304.

Porto Alegre _____ de _____ de 20__.

Nome em letra de forma: _____

Assinatura: _____

ANEXO 3

a. Posicionamento dos eletrodos de superfície:

Músculo vasto lateral: colocados a 25% da distância do côndilo lateral da tíbia e da espinha íliaca anterior.

Músculo reto femoral: colocados no ponto médio entre a espinha íliaca anterior e a borda superior da patela.

Músculo vasto medial: colocados a 20% da distância entre a linha medial da articulação do joelho e a espinha íliaca anterior.

Músculo peitoral maior: colocados a 33% da distância entre o aspecto anterior do acrômio e o processo xifóide.

Músculo deltóide anterior: as primeiras referências anatômicas são o acrômio e do epicôndilo lateral do úmero. Traça-se uma linha entre esses pontos e 1/5 da medida é o primeiro valor de referência central de posicionamento dos eletrodos. O segundo ponto de referência é obtido traçando uma linha entre o acrômio e a incisura jugular, sendo que 1/5 dessa medida (partindo-se do acrômio) é o segundo ponto de referência, que determina a direção do posicionamento, levando em consideração a linha formada com o primeiro ponto de referência.

b. Posicionamento dos indivíduos para a execução das CVMs:

Músculos vasto lateral, vasto medial e reto femoral: o indivíduo é posicionado no exercício “extensão de joelhos”, com os quadris e os joelhos fletidos 80 graus. Nessa posição, é oferecida resistência mecânica para a extensão dos joelhos.

Músculos peitoral maior e deltóide posterior: o indivíduo é posicionado no exercício “voador”, com o ombro direito abduzido e rotado 90° e o cotovelo direito flexionado 90°. Nessa posição é oferecida resistência mecânica para a flexão horizontal do ombro.

7. APÊNDICES

Apêndice 1 – Carta de Aprovação do Projeto



HCPA - HOSPITAL DE CLÍNICAS DE PORTO ALEGRE
Grupo de Pesquisa e Pós-Graduação
COMISSÃO CIENTÍFICA E COMISSÃO DE PESQUISA E ÉTICA EM SAÚDE

A Comissão Científica e a Comissão de Pesquisa e Ética em Saúde, que é reconhecida pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP)/MS como Comitê de Ética em Pesquisa do HCPA e pelo Office For Human Research Protections (OHRP)/USDHHS, como Institutional Review Board (IRB00000921) analisaram o projeto:

Projeto: 08-474

Versão do Projeto: 15/08/2008

Versão do TCLE: 11/09/2008

Pesquisadores:

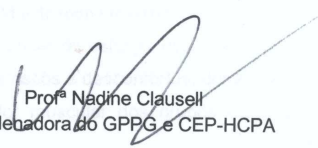
LUIZ FERNANDO MARTINS KRUEL

MICHEL ARIAS BRENTANO

Título: RESPOSTAS NEUROMUSCULARES E FISIOLÓGICAS EM EXERCÍCIOS DE FORÇA COM E SEM PRÉ-EXAUSTÃO MUSCULAR EM INDIVÍDUOS FÍSICAMENTE ATIVOS

Este projeto foi Aprovado em seus aspectos éticos e metodológicos, inclusive quanto ao seu Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, de acordo com as Diretrizes e Normas Internacionais e Nacionais, especialmente as Resoluções 196/96 e complementares do Conselho Nacional de Saúde. Os membros do CEP/HCPA não participaram do processo de avaliação dos projetos onde constam como pesquisadores. Toda e qualquer alteração do Projeto, assim como os eventos adversos graves, deverão ser comunicados imediatamente ao CEP/HCPA. Somente poderão ser utilizados os Termos de Consentimento onde conste a aprovação do GPPG/HCPA.

Porto Alegre, 11 de setembro de 2008.


Profª Nadine Clausell
Coordenadora do GPPG e CEP-HCPA

Apêndice 2 – A reprodutibilidade dos instrumentos de medida

A fim de comparar as respostas neuromusculares e fisiológicas obtidas em diferentes ocasiões, essa etapa visou analisar a reprodutibilidade dos principais instrumentos de medida utilizados na coleta dos marcadores indiretos de dano muscular e do dispêndio energético.

7.1 Amostra

A amostra é não-probabilística voluntária e foi constituída por 11 homens aleatoriamente selecionados dos 22 envolvidos nos experimentos dos capítulos 3 e 4. A variabilidade de cada variável dependente foi obtida através da revisão da literatura e a diferença adotada baseou-se em valores considerados fisiologicamente diferentes, na eventual ocorrência de diferenças estatisticamente significativas entre os métodos de treino (Anexo I).

7.2 Variáveis

7.2.1 Variáveis dependentes

⇒ Dano muscular

- torque isométrico de extensores de joelho (T_{EJ});
- torque isométrico de flexores horizontais de ombro (T_{FHO});
- concentração plasmática de creatina quinase (CK);
- amplitude articular do ombro (AMP_O);
- amplitude articular do joelho (AMP_J).

⇒ Dispêndio energético

- consumo de oxigênio (VO_2);
- concentração plasmática de lactato (La).

7.2.2 Variável independente

⇒ Tempo.

7.3 TRATAMENTO DA VARIÁVEL INDEPENDENTE

A reprodutibilidade das variáveis de interesse foi verificada através de duas medidas realizadas em ocasiões separadas por, aproximadamente, 48 horas.

7.3.1 Procedimentos

Foram utilizados instrumentos do Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da UFRGS. Os instrumentos utilizados, assim como os procedimentos de coleta serão descritos separadamente.

7.3.1.1 Torque isométrico

Cada indivíduo foi posicionado na cadeira do dinamômetro isocinético (CYBEX, New York, EUA) fixado através de faixas que passam pelo tórax e pelve. Para a avaliação dos extensores do joelho, os quadris permaneceram no ângulo 110° (Hakinen et al., 1996) e o torque máximo foi avaliado no ângulo de 70° de flexão do joelho e de 30° de flexão horizontal do ombro, para a avaliação dos flexores horizontais do ombro, visando o posicionamento de maior produção de torque desses grupos musculares (Smith et al., 1997). Em todas as avaliações as articulações avaliadas foram alinhadas com o eixo de rotação do dinamômetro. No protocolo propriamente dito, cada contração teve a duração de 3 segundos, com intervalos de descanso de 1 minuto entre cada CVM para evitar os efeitos da fadiga muscular. Após, aproximadamente, 48 horas os mesmos procedimentos foram repetidos.

7.3.1.2 Concentração de creatina quinase

Foi solicitado a cada indivíduo que não realizasse atividades físicas nas últimas 48 horas e não consumisse álcool e cafeína pelas últimas 24 horas. No repouso, amostras de 5ml de sangue venoso foram coletadas da região antecubital. Após as coletas, as amostras de sangue foram armazenadas sob refrigeração até a centrifugação (ALC *International* SRL - PK 120R, Itália). As amostras de soro foram separadas e mantidas congeladas em -70°C (freezer -85° NUAIRE, Plymouth, USA) até serem analisadas para verificar a atividade

da creatina quinase total, no equipamento de automação em bioquímica (Modular P), com kit enzimático da Roche Diagnóstica (São Paulo, Brasil). Os procedimentos de análise foram realizados no Serviço de Patologia Clínica do Hospital de Clínicas de Porto Alegre.

Após, aproximadamente, 48 horas os mesmos procedimentos foram repetidos.

7.3.1.3 Amplitude articular

Um flexímetro analógico (Sanny, São Paulo, Brasil) foi utilizado para medir a amplitude de movimento da articulação do ombro (extensão horizontal) e do joelho (flexão) dos segmentos exercitados. O posicionamento de cada indivíduo seguiu as normas descritas pelo fabricante, enquanto para a obtenção dos valores de amplitude articular, foram adotados os procedimentos descritos por Ahmadi et al., (2007) *Ombro*: cada indivíduo foi posicionado em decúbito dorsal, sobre uma maca, com os joelhos flexionados e pés apoiados na maca. Inicialmente os ombros ficavam fletidos (90°), com as palmas das mãos encostadas. O flexímetro era colocado no braço, acima do cotovelo, com o mostrador voltado para o avaliador que estava posicionado acima (posição anatômica) do indivíduo avaliado. Esse ponto foi utilizado como o “zero anatômico”. A partir dessa posição, foi realizada a extensão horizontal passiva. *Joelho*: em decúbito ventral em uma maca, o indivíduo era posicionado de forma que os tornozelos ficassem suspensos para fora da maca. O flexímetro foi posicionado aproximadamente sobre o maléolo lateral do tornozelo, com o mostrador voltado para o avaliador. Esse ponto foi utilizado como o “zero anatômico”. A partir dessa posição, foi realizada a flexão passiva. A amplitude articular foi considerada como a diferença entre a posição de extensão/flexão e flexão horizontal/extensão horizontal do joelho e ombro, respectivamente. Cada avaliação foi repetida três vezes e a média dessas medidas foi considerada posteriormente. Após, aproximadamente, 48 horas os mesmos procedimentos foram repetidos.

7.3.1.4 Dispendio energético

O dispêndio energético foi obtido através da análise de gases, mais especificamente VO_2 e das concentrações de lactato. Esses procedimentos serão descritos separadamente.

7.3.1.4.1 Análise de gases

Foi utilizado um analisador de gases (Medical Graphics Corporation, modelo *Cardiopulmonary Exercise System Cpx*, St. Paul, EUA). Aproximadamente 60 minutos antes do início da aquisição dos dados, o analisador de gases foi ligado. Após esse período ele era calibrado e informações referentes à pressão atmosférica (em mmHg) e relacionadas ao indivíduo (idade, estatura e gênero) foram inseridas no analisador. Inicialmente, cada indivíduo foi colocado em decúbito dorsal durante 15 minutos, a fim de alcançar o estado de repouso. Posteriormente, foi colocada a máscara no indivíduo para que o VO_2 (em litros) fosse mensurado durante 15 minutos. Após, aproximadamente, 48 horas os mesmos procedimentos foram repetidos.

7.3.1.4.2. Concentrações de lactato

Os procedimentos de coleta seguiram os descritos por Hunter et al., (2003), com amostras de sangue de $15\mu\text{L}$ sendo coletadas na ponta do dedo direito durante os 15 minutos de repouso descrito no item 7.3.1.6.1. As amostras foram obtidas com fitas de lactato (Boehring, Boehringer Mannheim, Alemanha) e foram analisadas através de um lactímetro (Accusport, Boehringer Mannheim, Alemanha) que forneceu os valores de lactato em mmol.L^{-1} . Após, aproximadamente, 48 horas os mesmos procedimentos foram repetidos.

7.3.2 Procedimentos estatísticos

Foi utilizada estatística descritiva (médias e desvios-padrão). Uma análise de correlação intraclassa de Pearson foi utilizada para a verificação da reprodutibilidade das variáveis analisadas, além do coeficiente de variação, em cada uma das ocasiões. Para todas as análises foi considerado um erro inferior a 5% ($p \leq 0,05$). A comparação das variáveis foi realizada através do pacote estatístico SPSS versão 18.0.

7.4 RESULTADOS

Os instrumentos de medida utilizados mostraram-se reprodutíveis, com níveis de correlação intraclassa variando entre 0.903 e 0.979, e coeficientes de variação entre 7.3 e 28.5% (Figura 1, Tabela 1).

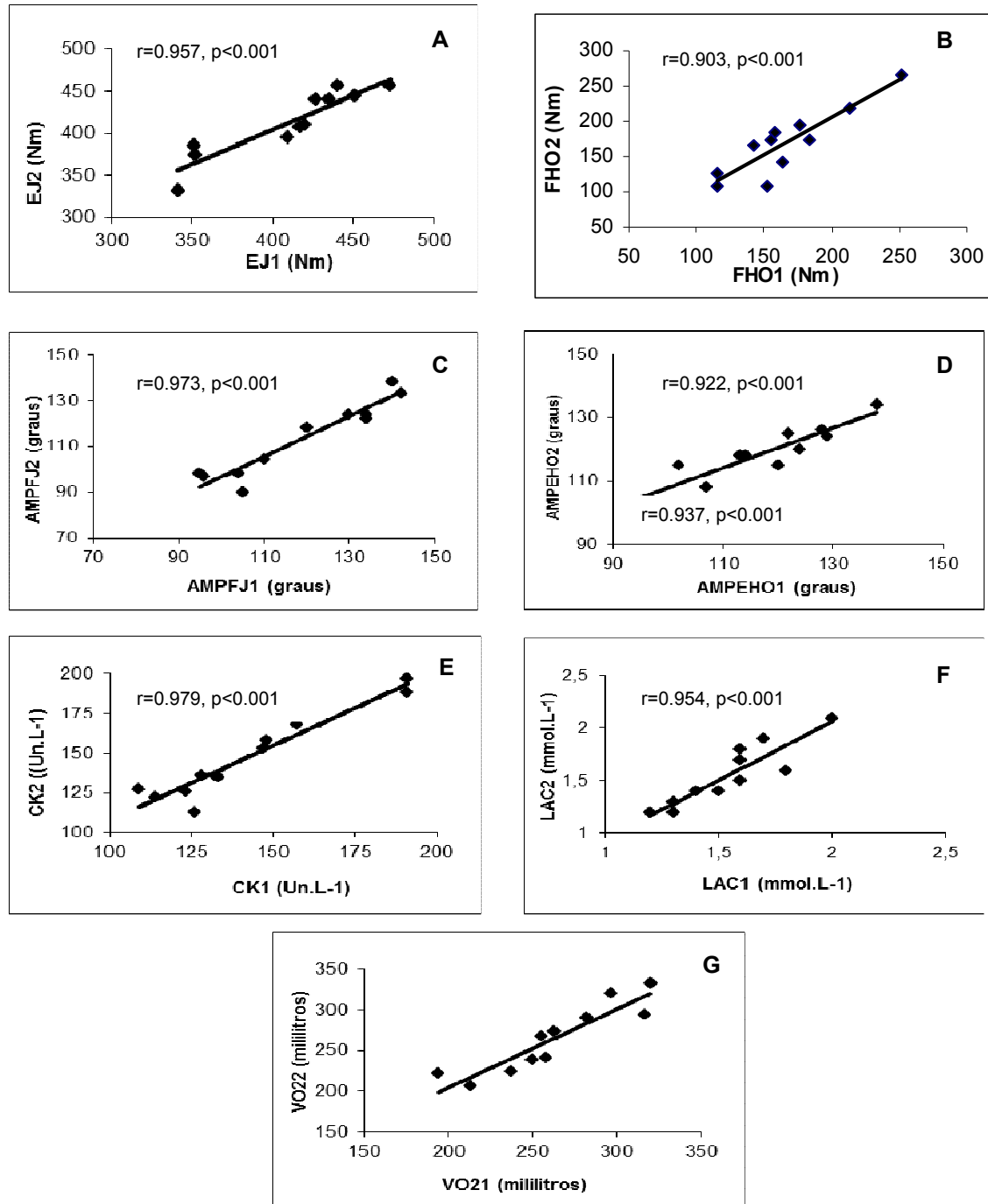


Figura 1 – Gráficos representativos das correlações (r) das medidas de torque dos extensores do joelho (EJ1 e EJ2 – A) e flexores horizontais do ombro (FHO1 e FHO2 – B) em Newton.metro (Nm); amplitude de movimento da articulação do joelho (AMPFJ1 e AMPFJ2 – C) e do ombro (AMPEHO1 e AMPEHO2 – D); concentrações plasmáticas de creatina quinase (CK1 e CK2 – E) em unidades/litro ($Un.L^{-1}$); concentrações plasmáticas de lactato (LAC1 e LAC2 – F) em milimols/litro ($mmol.L^{-1}$) e consumo de oxigênio (VO₂₁ e VO₂₂ – G).

Tabela 1 – Dados descritivos da primeira (1) e da segunda (2) medida do torque dos flexores horizontais do ombro e extensores de joelho, em Newton.metros (Nm); amplitude de movimento da articulação do joelho (flexão) e do ombro (extensão horizontal); concentrações plasmáticas de creatina quinase, em unidades/litro (Un.L⁻¹); concentrações plasmáticas de lactato, em milimoles/litro (mmol.L⁻¹) e consumo de oxigênio.
N – número de indivíduos avaliados; DP – desvio-padrão; CV – coeficiente de variação.

Variáveis	N	Média	DP	CV	Mínimo	Máximo
Extensão de joelhos 1 (N.m)	11	410.5	43.8	10.7%	341.0	473.0
Extensão de joelhos 2 (N.m)	11	413.3	39.3	9.5%	332.0	457.0
Flexão horizontal de ombros 1 (N.m)	11	166.2	40.2	24.2%	115.0	352.0
Flexão horizontal de ombros 2 (N.m)	11	169.3	48.2	28.5%	107.0	366.0
Amplitude articular - flexão de joelhos 1 (graus)	11	119.1	17.7	14.9%	95.0	142.0
Amplitude articular - flexão de joelhos 2 (graus)	11	113.3	16.4	14.5%	90.0	138.0
Amplitude articular – extensão horizontal do ombro 1 (graus)	11	117.4	12.9	11.0%	94.0	138.0
Amplitude articular – extensão horizontal do ombro 2 (graus)	11	118.6	8.8	7.4%	102.0	134.0
Creatina Quinase 1 (Un.L ⁻¹)	11	142.5	28.8	19.7%	109.0	191.0
Creatina Quinase 2 (Un.L ⁻¹)	11	147.5	27.7	18.7%	113.0	197.0
Lactato 1 (mmol.L ⁻¹)	11	1.5	0.2	15.4%	1.2	2.0
Lactato 2 (mmol.L ⁻¹)	11	1.5	0.3	18.9%	1.2	2.1
Consumo de oxigênio 1 (mililitros)	11	262.4	39.8	15.2%	194.0	320.0
Consumo de oxigênio 2 (mililitros)	11	264.7	41.9	15.8%	206.0	333.0

**Apêndice 3 – A review on strength exercise-induced muscle damage:
Applications, adaptation mechanisms and limitations
(*J Sports Med Phys Fitness* (2011) 51:1-10)**

A REVIEW ON STRENGTH EXERCISE-INDUCED MUSCLE DAMAGE:
APPLICATIONS, ADAPTATION MECHANISMS AND LIMITATIONS

MICHEL ARIAS BRENTANO¹, LUIZ FERNANDO MARTINS KRUEL²

¹Hospital de Clínicas de Porto Alegre, ²Grupo de Pesquisa em Atividades Aquáticas e Terrestres (GPAT),
Laboratório de Pesquisa do Exercício, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil,

Corresponding author: Michel Arias Brentano, Serviço de Medicina Ocupacional, UFRGS, Rua Ramiro Barcelos, 2350 90035-903. Porto Alegre, RS – Brasil. Phone: 555133598085 - E-mail: michel.brentano@bol.com.br

Running head: muscle damage induced by strength training.

Keywords: MUSCLE DAMAGE, REPEATED BOUT EFFECT, ECCENTRIC EXERCISE.

ABSTRACT

This study aims to review the main aspects that induce muscle damage, and at discussing the adaptations of this phenomenon, applications and limitations of this study area. Damage induced by strength training has been utilized for two purposes: (1) verification of the recovery period required between training sessions, which has a direct influence on designing exercise programs; and (2) as indication for higher training intensity, mainly in studies on the “repeated bout effect”. There is some speculation about the role of muscle damage in inducing hypertrophy. However, studies show that exercise-induced muscle damage may not be a consistent indicator of higher chronic hypertrophic response, because hypertrophy also occurs in training strategies with very low mechanical overloads. In addition, aerobic exercise, also induces muscle damage, exhibits no hypertrophic response after training. The remodeling process induced by muscle damage promotes alterations to strength x length relationship for stretched positions, indicating an increased number of sarcomeres in series, due to strength exercises. Therefore, the study on strength exercise-induced damage seems to be adequate for implementing adequate rest periods to recovery from different sessions of strength training, and not to suggest chronic hypertrophy. **Key words:** MUSCLE DAMAGE, REPEATED BOUT EFFECT, ECCENTRIC EXERCISE, TENSION-LENGTH RELATIONSHIP.