UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

EFEITO DE MODELOS PERIODIZADOS EM TREINAMENTO DE FORÇA NAS
ADAPTAÇÕES FUNCIONAIS, MORFOLÓGICAS E MOLECULARES DA
MUSCULATURA ESQUELÉTICA

EDUARDO OLIVEIRA DE SOUZA

SÃO PAULO

2014

EDUARDO OLIVEIRA DE SOUZA

EFEITO DE MODELOS PERIODIZADOS EM TREINAMENTO DE
FORÇA NAS ADAPTAÇÕES FUNCIONAIS, MORFOLÓGICAS E
MOLECULARES DA MUSCULATURA ESQUELÉTICA

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Educação Física.

Área de concentração:
Biodinâmica do Movimento Humano.

Orientador:
Prof. Dr. Carlos Ugrinowitsch

São Paulo
2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Souza, Eduardo Oliveira de
Efeito de modelos periodizados em treinamento de força
nas adaptações funcionais, morfológicas e moleculares da
musculatura esquelética / Eduardo Oliveira de Souza. – São
Paulo :[s.n.], 2014.
72p. ; il.

Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e
Esporte da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ugrinowitsch.

1. Treinamento de força 2. Treinamento esportivo
3. Músculo esquelético 4. Periodização I. Título.

Nome: De Souza, Eduardo Oliveira

Título: Efeito de Modelos Periodizados em Treinamento do Força nas Adaptações
Funcionais, Morfológicas e Moleculares da Musculatura Esquelética

Tese apresentada à Escola de Educação
Física e Esporte da Universidade de São
Paulo, como requisito parcial para
obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Ugrinowitsch, pela convivência saudável, amizade e confiança. Também por ter dividido sua genialidade comigo e ter me proporcionado tudo que estou vivendo nesse momento na minha vida profissional. Vou sentir muita falta das nossas conversas. Muito obrigado por ser minha referência.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Valmor Tricoli, muito obrigado por ter aberto as portas do laboratório para mim. Por toda ajuda, conhecimento e experiência de vida que você me passou nesses dez anos. Feliz daqueles que além do seu orientador tem uma pessoa igual à você para conversar e aprender sobre tudo.

Aos amigos e amigas do laboratório, alguns não participam mais das atividades do laboratório, mas foram extremamente importantes para a minha formação. Ao atual Prof. Dr. Hamilton Roschel por ter me ensinado muita coisa nessa reta final, Carlinha, Anderson, Renatão, Mauro, Gilberto, Léo, Diego, Everton, Lucas, Natalia, Rodrigo. Muito obrigado, porque sem a convivência de vocês eu não seria o que sou hoje.

Carlinha e Giba, vocês dois são anjos na minha vida. OBRIGADO por tudo!

À Prof. Dra. Patrícia Chakur Brum, além de permitir elevar o nível dos meus trabalhos. Por toda ajuda e atenção nesses últimos anos.

À Telma Cunha (Telminha) pela nova parceria, empenho e dedicação. Sua seriedade e determinação são inspiradores. Muito obrigado!

Aos voluntários que literalmente deram o sangue por essa pesquisa e sem o comprometimento deles, nada disso seria possível.

Ao CNPq pelo apoio financeiro que foi fundamental para a conclusão do trabalho e pelo período sanduiche nos EUA.

Aos amigos da secretaria de pós graduação da EEFE. Márcio, Ilza, Paulo e Mariana, como é bom ter o suporte de vocês.

Ao Dr. Manoel Neves, pela maneira sempre ética e profissional que conduziu as biópsias musculares.

Aos meus amigos queridos de longa data, Luiz, Deives, Fábio e Kinho, os momentos que passamos juntos são fundamentais para a minha vida.

Aos meus irmãos Gisele e Alexandre, por terem me dado a oportunidade de ser irmão de pessoas tão inspiradoras e amáveis!

Aos meus pais Hilda e João, obrigado pela formação e amor. Sendo pai, hoje eu entendo tudo. E como é grande o meu amor e admiração por vocês. Posso ser o galho mais distante da árvore, mas não esquecerei jamais das minhas raízes. Amo muito vocês.

Aos meus sobrinhos amados, Duda, Julia, Felipe, Ana Clara, Bia e Henrique, não teve um dia nessa vida que eu não me diverti ao lado de vocês.

Ao meu *puco*, Antonio Bento, obrigado por alimentar a minha vida com esse amor filho. Com a sua chegada, seu sorriso, suas sapequices, o papai já ganhou o maior título que um homem pode ter.

À você Kelly, por ser essa mulher maravilhosa, companheira e linda. Sem o seu amor e apoio, nada disso seria possível. Você é coautora da minha vida. Obrigado por tudo! Te amo.

“Hoje eu entendo meu pai. Um homem precisa viajar.
Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV.
Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu.
Para um dia plantar as suas próprias árvores e dar-lhes valor.
Conhecer o frio para desfrutar o calor. E o oposto.
Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto.
Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa
arrogância que nos faz ver o mundo como imaginamos e não simplesmente como é
ou pode ser; que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando
deveríamos ser alunos e simplesmente ir ver.
Não como admirar um homem -Cousteau, ao comentar o sucesso do primeiro grande
filme:
“Não adianta, não serve para nada, é preciso ir ver”. *Il faut aller voir*.
Pura verdade, o mundo na TV é lindo, mas serve para pouca coisa.
É preciso questionar o que se aprendeu. É preciso ir tocá-lo.”

Amyr Klink

RESUMO

DE SOUZA, E.O. Efeito de Modelos Periodizados em Treinamento de Força nas Adaptações Funcionais, Morfológicas e Moleculares da Musculatura Esquelética. 2014. 72f. Tese (Doutorado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Tem sido sugerido que a periodização do treinamento de força (TF) é uma forma de se otimizar as adaptações induzidas pelo TF. O objetivo do presente estudo foi verificar o efeito de diferentes modelos de TF periodizados (PER) e não periodizado (NPER) nas adaptações funcionais, morfológicas e moleculares da musculatura esquelética. Trinta e quatro indivíduos fisicamente ativos (idade= $24,6 \pm 5,4$ anos) foram divididos aleatoriamente aos grupos controle (C), não periodizado (GNP), periodizado linear (GPL) e periodizado ondulado (GPO) e submetidos a 12 semanas de treinamento. As medidas de força dinâmica máxima (1RM) e área de secção transversa muscular (ASTM) foram feitas nos momentos pré-treinamento, pós seis-semanas e pós 12-semanas. Biópsias musculares foram realizadas em quatro momentos diferentes, pré-treinamento, 24-horas após a primeira sessão de treinamento, 24-horas e 168-horas após a última sessão de treinamento. Após as seis semanas, os grupos GNP e GPO aumentaram os valores de 1RM, ($17,0 \pm 8,7\%$, $p < 0,0001$ e $12,9 \pm 9,9\%$, $p < 0,01$, respectivamente). Após as 12 semanas, os grupos GNP, GPL e o GPO aumentaram os valores de 1RM com relação aos valores pré-teste, ($19,5 \pm 13,2\%$, $p < 0,0001$; $17,9 \pm 13,7\%$, $p < 0,0001$; e $20,4 \pm 9,0\%$, $p < 0,0001$, respectivamente). Todos os grupos experimentais demonstraram ganhos significantes na hipertrofia muscular após seis ($5,1 \pm 2,7\%$, $p < 0,0001$) e doze semanas ($9,5 \pm 4,5\%$, $p < 0,0001$) quando comparados aos valores iniciais. Adicionalmente, o grupo GPL foi o único que demonstrou aumentos na hipertrofia muscular entre as semanas seis e doze foi o GPL ($6,4\%$, $p < 0,0001$). Com relação a expressão proteica conteúdo total e fosforilada, nenhuma das proteínas selecionadas apresentou diferença significativa com relação aos valores pré-treinamento. Esses dados sugerem que quando o volume total é equalizado, os modelos PER e NPER empregados em TF são eficientes em promover ganhos na força e na hipertrofia muscular.

Palavras-chave: periodização, treinamento de força, hipertrofia muscular, resposta molecular

ABSTRACT

De Souza, E.O. Effects of Periodized Strength Training Regimens on Functional, Morphological and Molecular Adaptations of Skeletal Muscle. 2014. 72f. Tese (Doutorado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

It has been suggested that periodized regimens in strength training (ST) might optimize the training-induced adaptations. The purpose of current study was investigate the effects of different periodized (PER) and non-periodized (NPER) regimens on functional, morphological and molecular adaptations of skeletal muscle. Thirty four participants (age=24,6 ±5,4 years) were random allocated into four groups: control (C), non-periodized (GNP), linear periodized (GPL) and undulating periodized (GPO) and underwent 12 weeks of training, twice a week. Maximum dynamic strength (1RM) and quadriceps cross-sectional area (CSA) were evaluated at baseline and after six and 12 weeks. Muscle samples were obtained before, 24 hours after first ST session and 24 and 168 hours after the last training sessions. Only groups GNP (17.0 ± 8.7%, $p < 0.0001$) and GPO (12.9 ± 9.9%, $p < 0.01$) increased 1RM after six weeks. After 12 weeks all groups increased their 1RM from pre-to-post test (19.5 ± 13.2%; $p < 0.0001$), (17.9 ± 13.7%; $p < 0.0001$) and (20.4 ± 9.0%; $p < 0.0001$) for GNP, GPL and GPO, respectively. All experimental groups increased quadriceps CSA after six (5.1 ± 2.7%, $p < 0.0001$) and 12 weeks (9.5 ± 4.5% $p < 0.0001$). Furthermore, only GPL significantly increased quadriceps CSA between six and 12 weeks (6.4%, $p < 0.0001$). There were no significant changes in the selected proteins investigated. These results suggest that PER and NPER seem to induce similar muscle strength and hypertrophic responses in the volume load equated conditions

Keywords: periodization, strength training, muscle hypertrophy, molecular response.

LISTA DE SIGLAS

ACSM	<i>American College of Sports Medicine</i>
AKt	Proteína quinase b
ASTM	Área de secção transversa muscular
dNTPs	Desoxirribonucleotídeos fosfatados
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
EEF	Fatores eucarióticos de alongamento
eIF-4E	Fator de iniciação eucarioto 4E
IGF-I	Fator de crescimento similar à insulina
LKB1	<i>Suppressor gene product</i>
MGF	<i>Mechano growth factor</i>
mTOR	<i>Mammalian target of rapamycin</i>
mTORC1	Mammalian target of rapamycin complex 1
NPER	Não-periodizado
PDK	Proteína dependente de fosfoinositídeos
PER	Periodizado
PI3K	Fosfatidilinositol 3 quinase
PL	Periodizado linear
PO	Periodizado ondulado
p70 ^{S6K1}	70-KD S6 proteinkinase
Ser	Serina
RM	Repetição máxima
SDS	Sulfato lauril de sódio
Thr	Treonina
TF	Treinamento de força
4E-BP1	<i>Eukaryotic initiation factor 4E binding protein 1</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	16
2.1 Objetivos específicos	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1. Organização do treinamento de força	17
3.2. Comparação entre os diferentes modelos de periodização e variações empregadas no treinamento de força	18
3.3. Efeito da modulação da sobrecarga do treinamento de força na resposta molecular	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1. Amostra	32
4.2. Desenho experimental	34
4.3. Acompanhamento do padrão alimentar dos sujeitos	35
4.4. Biópsias musculares	35
4.5. Análise da expressão proteica	36
4.6. Teste de força dinâmica máxima	37
4.7. Área de secção transversa muscular (ASTM).....	38
4.8. Protocolo de treinamento	39
4.9. Análise estatística	40
5. RESULTADOS	41
5.1. Volume total de treinamento	41
5.2. Força dinâmica máxima (1RM)	42
5.3. Área de secção transversa muscular (ASTM).....	43
5.4. Componentes da sinalização celular associados à síntese proteica	46

6. DISCUSSÃO	50
6.1. Efeitos de Modelos Periodizados e Não-periodizados do Treinamento de Força na Produção de Força Muscular.	51
6.2.Efeitos de Modelos Periodizados e Não-periodizados em Treinamento de Força na Hipertrofia Muscular.	55
6.3.Efeitos de Modelos Periodizados e Não-periodizados nos Componentes da Sinalização Celular associados à Síntese Proteica.	60
7. CONCLUSÃO	62
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

1. INTRODUÇÃO

O treinamento de força (TF) é uma ferramenta amplamente utilizada para melhorar o desempenho esportivo (BARTOLOMEI, HOFFMAN, MERNI e STOUT, 2014), o condicionamento físico de indivíduos tanto fisicamente ativos quanto sedentários (CAMPOS, LUECKE, WENDELN, TOMA, HAGERMAN, MURRAY, RAGG, RATAMESS, KRAEMER e STARON, 2002; SILLANPAA, LAAKSONEN, HAKKINEN, KARAVIRTA, JENSEN, KRAEMER, NYMAN e HAKKINEN, 2009), e a qualidade de vida de pessoas afetadas por doenças crônico-degenerativas e pela sarcopenia decorrente do processo de envelhecimento (KENNIS, VERSCHUEREN, BOGAERTS, VAN ROIE, BOONEN e DELECLUSE, 2013; CHEEMA, CHAN, FAHEY e ATLANTIS, 2014) .

Independente da finalidade do TF, sua capacidade em produzir aumentos na força e na hipertrofia muscular parece ser dependente não só do tipo de treinamento empregado, mas também de como a sobrecarga de treino é manipulada ao longo do tempo. De fato, a otimização do estímulo imposto à musculatura esquelética (*i.e.*; estresse fisiológico e mecânico) por meio da manipulação da intensidade e do volume parece ser de suma importância para maximizar as adaptações que resultarão nos aumentos da força e da hipertrofia muscular (CAMPOS *et al.*, 2002; SMITH, MARTIN, SZIVAK, COMSTOCK, DUNN-LEWIS, HOOPER, FLANAGAN, LOONEY, VOLEK, MARESH e KRAEMER, 2014). Nesse sentido, uma estratégia utilizada para maximizar as respostas adaptativas associadas ao TF é a mudança sistemática de variáveis de controle da carga de treinamento como a intensidade e o volume de treinamento, a qual é definida como periodização do TF (RHEA e ALDERMAN, 2004; FLECK, 2011).

Os modelos periodizados (PER) empregados no TF têm como principal característica a manipulação do volume, da intensidade e dos exercícios utilizados no treinamento (RHEA e ALDERMAN, 2004; FLECK, 2011). Apesar do apelo científico e aplicado dos modelos PER, a literatura também reporta modelos de TF nos quais as variáveis do treinamento têm uma variabilidade muito baixa. Esses modelos de treinamento são conhecidos como não periodizados (NPER) e caracterizam-se pela manutenção da intensidade relativa (*i.e.*; repetições máximas ou percentual de 1RM) e do volume (*i.e.*; número de repetições e séries) utilizados durante o período de treinamento (HERRICK e STONE, 1996) .

Dentre os principais modelos de periodização, destacam-se: 1) o linear ou clássico (PL), no qual a carga de treino progride de alto-volume e baixa-intensidade para baixo-volume e alta-intensidade; 2) e o não-linear ou modelo ondulatório (PO), no qual alternam-se sessões de alto-volume e baixa-intensidade com sessões de baixo-volume e alta-intensidade em microciclos diários ou semanais (ACSM, 2009). Apesar de alguns autores sugerirem que os modelos PER possam ser a estratégia mais adequada para maximizar os ganhos de força muscular (RHEA e ALDERMAN, 2004; ACSM, 2009) os resultados encontrados na literatura parecem ser contraditórios quando modelos PER e NPER são comparados. De fato, alguns estudos não encontraram diferenças significantes no ganho de força entre os modelos PER e NPER (HOFFMAN, RATAMESS, KLATT, FAIGENBAUM, ROSS, TRANCHINA, MCCURLEY, KANG e KRAEMER, 2009). Adicionalmente, quando os modelos de periodização foram comparados, alguns autores não reportaram diferenças significantes entre os diferentes modelos empregados (BUFORD, ROSSI, SMITH e WARREN, 2007). Porém, ao comparar diferentes modelos de periodização, uma variável importante, que precisa ser considerada é o volume total de treinamento (*i.e.*; séries • repetições • quilos). Por exemplo, naqueles estudos nos quais o volume total foi equalizado entre as condições, parece não haver efeito adicional dos modelos PER nos ganhos de força máxima (SCHLOTZ, POTTEIGER, HUNTSINGER e DENMARK, 1998; BUFORD *et al.*, 2007; HOFFMAN *et al.*, 2009). Por outro lado, quando os modelos PER produzem maiores quantidades de volume total quando comparados aos modelos NPER, tem sido observado maiores efeitos nos ganhos de força máxima em resposta ao treinamento PER (KRAEMER, RATAMESS, FRY, TRIPLETT-MCBRIDE, KOZIRIS, BAUER, LYNCH e FLECK, 2000; RHEA e ALDERMAN, 2004).

Ainda com relação à força motora, o aumento da capacidade do músculo produzir força máxima está associado, principalmente, ao aumento na área de secção transversa muscular (ASTM) (AAGAARD, ANDERSEN, DYHRE-POULSEN, LEFFERS, WAGNER, MAGNUSSON, HALKJAER-KRISTENSEN e SIMONSEN, 2001; DE SOUZA, TRICOLI, PAULO, SILVA-BATISTA, CARDOSO, BRUM, BACURAU, LAURENTINO, NEVES-JR, AIHARA e UGRINOWITSCH, 2012). Adicionalmente, o *American College of Sports Medicine* (ACSM) tem enfatizado a necessidade de se utilizar modelos PER para promover aumentos na ASTM (ACSM,

2009). Realmente, alguns estudos têm demonstrado que os modelos PER são eficientes em promover aumentos na espessura muscular (SIMAO, SPINETI, DE SALLES, MATTA, FERNANDES, FLECK, RHEA e STROM-OLSEN, 2012), na massa livre de gordura (PRESTES, DE LIMA, FROLLINI, DONATTO e CONTE, 2009) e na redução da gordura corporal (KRAEMER *et al.*, 2000). Embora essas mudanças sugiram - com algum grau de evidência - uma modulação positiva da massa muscular, os estudos supracitados não avaliaram a ASTM. De fato, até o presente momento, apenas um trabalho investigou o efeito de diferentes modelos de PER sobre a ASTM (KOK, HAMER e BISHOP, 2009). Dessa maneira, ainda não é possível afirmar se a hipertrofia induzida pelos modelos PER seria diferente da obtida com os modelos NPER.

Com relação à hipertrofia muscular e os mecanismos envolvidos nesse processo é necessário destacar que, para o crescimento muscular ocorrer, a taxa de síntese de proteínas contráteis precisa ser maior que a taxa de degradação das mesmas para produzir um balanço favorável ao acúmulo de proteínas (PHILLIPS, TIPTON, AARSLAND, WOLF e WOLFE, 1997; MURTON e GREENHAFF, 2013). Adicionalmente, a maior taxa de síntese de proteínas na fase de recuperação após sessões de TF está associada ao aumento da ativação na via de sinalização celular Akt/mTOR/p70^{S6K1} (CUTHBERTSON, BABRAJ, SMITH, WILKES, FEDELE, ESSER e RENNIE, 2006; DREYER, FUJITA, CADENAS, CHINKES, VOLPI e RASMUSSEN, 2006). A ativação dessa via está associada aos eventos chave para o crescimento muscular. Por exemplo, quando ativada, a mTOR estimula o processo de síntese proteica pela modulação da atividade de duas proteínas ribossomais: 1) ela fosforila a proteína 4E-BP1 e previne a interação desta com o fator de iniciação eucarioto 4E (eIF-4E), que é um dos fatores responsáveis pela ligação do ribossomo na extremidade 5' *cap* do RNAm (HARA, YONEZAWA, KOZLOWSKI, SUGIMOTO, ANDRABI, WENG, KASUGA, NISHIMOTO e AVRUCH, 1997); 2) e também a mTOR fosforila a proteína p70^{S6K1}, a qual atua na fosforilação do polipeptídeo ribossomal S6 na subunidade ribossomal 40S, próximo aos fatores de iniciação e do RNAm (KOOPMAN, ZORENC, GRANSIER, CAMERON-SMITH e VAN LOON, 2006). A eficiência de todo esse aparato de tradução, possibilita a sequência de eventos que são fundamentais para a síntese de proteínas contráteis e consequentemente para o crescimento muscular.

Porém, é preciso ressaltar, que apesar de bem conhecida a função da via Akt/mTOR/p70^{S6K1} para o trofismo muscular, ela ainda não foi utilizada como marcadora da síntese proteica e da hipertrofia muscular em resposta aos diferentes modelos PER e NPER que são empregados no TF.

Nesse sentido, a investigação de como os diferentes modelos PER e NPER influenciam a resposta em nível molecular pode trazer luz sobre os possivelmente distintos efeitos crônicos na hipertrofia muscular induzidos pelos modelos de treinamento empregados em TF. Dessa forma, o conhecimento não somente do efeito agudo, mas também da adaptação molecular crônica em resposta aos diferentes modelos empregados em TF pode oferecer suporte teórico para a manipulação das variáveis de controle de carga de treino e os seus efeitos na hipertrofia muscular.

2. OBJETIVO

- Verificar o efeito de diferentes modelos de treinamento de força periodizado e não periodizado na área de secção transversa, na produção de força e na sinalização intracelular da musculatura esquelética.

2.1 Objetivos específicos

- Verificar os efeitos dos modelos periodizados e não periodizado de treinamento de força na força máxima, após seis e 12 semanas de treinamento.

- Verificar os efeitos dos modelos periodizados e não periodizado de treinamento de força na hipertrofia muscular, após seis e 12 semanas de treinamento.

- Verificar os efeitos dos modelos periodizados e não periodizados de treinamento de força na expressão das proteínas mTOR, p70^{S6K1}, 4E-BP1 e 4E-BP1

fosforilada no resíduo Thr70 frente a uma sessão de TF padronizada no início (e.g. agudo-agudo) e ao final dos protocolos treinamento (e.g. agudo-crônico).

3. REVISÃO DE LITERATURA

A sequência de tópicos na presente revisão de literatura teve como objetivo caracterizar os diferentes modelos de treinamentos PER e NPER, assim como as suas implicações para o aumento tanto da força quanto da hipertrofia muscular, e levantar as lacunas associadas à eficiência dos modelos PER na promoção de força e hipertrofia muscular quando comparados aos modelos NPER. Em seguida, descrever os efeitos dos diferentes modelos empregados em TF nas adaptações moleculares agudas e crônicas e as relações com o aumento da massa muscular.

3.1. Organização do treinamento de força

O TF tem sido amplamente utilizado por preparadores físicos e atletas como uma ferramenta importante para o aumento do rendimento em diversas modalidades esportivas (HOFFMAN *et al.*, 2009). Adicionalmente, as adaptações funcionais e morfológicas (e.g.; aumentos na força e na hipertrofia muscular) que são induzidas por esse tipo de treinamento têm uma associação positiva com a saúde e com a qualidade de vida de homens e mulheres de diferentes idades, fazendo com que eles se engajem na prática regular do TF (ACSM, 2009; KENNIS *et al.*, 2013; SATO, IEMITSU, MATSUTANI, KURIHARA, HAMAOKA e FUJITA, 2014).

O TF é baseado no princípio da sobrecarga, que é imposto pela execução de ações musculares (*i.e.*, concêntrica e excêntrica) durante a realização dos exercícios de força. A exposição à essa sobrecarga mecânica promove alterações nos componentes moleculares, neurais e morfológicos que atuam na célula muscular e resultam nos ganhos de força muscular que são observados ao final de um programa

de TF (SALE, 1988; SPANGENBURG e MCBRIDE, 2006; SEYNNES, DE BOER e NARICI, 2007).

Apesar de atualmente não existir um consenso sobre o modelo ideal de TF capaz de maximizar as adaptações funcionais e morfológicas, é amplamente aceito e difundido que alguma forma de organização, ou periodização, do volume e/ou da intensidade da sobrecarga no TF se faz necessária para tal (e.g.; aumento da força e da massa muscular). Tipicamente, dois modelos de treinamento têm sido empregados, o modelo não periodizado (NPER) e o modelo periodizado (PER), com as suas respectivas variações. No modelo NPER, não existe mudanças no volume e na intensidade relativa (i.e.; % da carga máxima) do treinamento. A progressão do treinamento no modelo NPER acontece apenas por aumentos na intensidade absoluta, ou seja, na massa levantada em cada repetição. Por outro lado, nos modelos PER as variáveis do treinamento (e.g.; volume, intensidade relativa ou intensidade absoluta) são alteradas sistematicamente ao longo do período de treinamento.

Devido às diferenças estruturais entre os modelos NPER e PER, existe uma constante discussão sobre a eficiência desses modelos em otimizar os ganhos na força motora. Também, é importante destacar que apesar dos modelos PER demonstrarem evidências positivas para o aumento da massa muscular, não é possível afirmar se o aumento na ASTM induzido pelo treinamento periodizado seria diferente do obtido com os modelos NPER.

3.2. Comparação entre os diferentes modelos de periodização e variações empregadas no treinamento de força

Baseado no princípio da sobrecarga, apenas o aumento gradual da intensidade absoluta (i.e. sobrecarga mecânica) imposto à musculatura esquelética durante o período de treinamento seria capaz de promover adaptações funcionais e morfológicas positivas ao final do treinamento (ACSM, 2009). Dessa maneira, um protocolo de TF sem grandes mudanças estruturais seria capaz de alcançar o seu objetivo com sucesso (HERRICK e STONE, 1996; CAMPOS *et al.*, 2002; SEYNNES, DE BOER e NARICI, 2007).

O modelo NPER se caracteriza justamente pela ausência dessas alterações estruturais nas variáveis controladoras da sobrecarga (*i.e.*, intensidade relativa, intensidade absoluta e volume) durante o período de treinamento. Por exemplo, nesse modelo, um indivíduo treinaria com um número fixo de séries e repetições e a partir do momento que ele fosse capaz de realizar duas repetições a mais do que o planejado (*e.g.*; planejado – 10 RM, executado – 12 RM) a massa levantada deveria ser aumentada para que ele conseguisse realizar apenas 10 RM.

Esse modelo de treinamento, apesar de simples na sua estrutura, tem demonstrado ser eficiente para aumentar a força muscular (HERRICK e STONE, 1996; CAMPOS *et al.*, 2002; SEYNNES, DE BOER e NARICI, 2007). Por exemplo, HERRICK & STONE (1996) submeteram mulheres destreinadas a 15 semanas de treinamento NPER. O protocolo NPER constituiu em três séries de seis repetições máximas (*i.e.* 3x6RM). Ao final do estudo foi observado um aumento de 42,2% na força dos membros superiores e 25,1% na força dos membros inferiores. Em outro modelo mais curto de treinamento NPER, um protocolo de três semanas e com frequência semanal de três sessões no qual os indivíduos executaram 4 X 7 RM para a musculatura extensora do joelho. Os autores observaram uma melhora significativa na força muscular de 38,9% e um aumento na ASTM do quadríceps de 7,4% (SEYNNES, DE BOER e NARICI, 2007). Coletivamente, os dados dos estudos supracitados demonstram que um modelo NPER, sem alterações de variáveis como volume e intensidade, é eficiente em promover aumentos tanto na força quanto na hipertrofia muscular.

Apesar dos modelos NPER produzirem aumentos na força e na hipertrofia muscular, é amplamente aceito e difundido que algum tipo de periodização seja necessário para otimizar os resultados do treinamento (RHEA e ALDERMAN, 2004; BUFORD *et al.*, 2007; FLECK, 2011).

Nesse sentido, a periodização do TF representa as mudanças planejadas das variáveis de treinamento como o volume, a intensidade, os intervalos de descanso entre as séries e os exercícios utilizados (ACSM, 2009). Dentre os modelos de periodização empregados em TF, os mais comuns são o linear ou clássico, o linear reverso e o modelo ondulatório. O modelo linear (PL) consiste em iniciar o treinamento com a intensidade relativa baixa e volume alto (*e.g.*; 4 x 12 RM) e, ao longo do período de treinamento, diminuir o volume e aumentar a intensidade, ou seja, o número de

repetições se torna menor com o concomitante aumento da intensidade (e.g.; 3 x 4 RM). Por outro lado, o modelo de periodização linear reverso, como o próprio nome sugere, segue uma ordem reversa de mudança no volume e na intensidade de treino quando comparado ao modelo linear. Sendo assim, ao invés do aumento na intensidade e a diminuição no volume ao longo do treinamento, no modelo de periodização linear reverso gradualmente aumenta o volume e diminui a intensidade.

Por outro lado, no modelo ondulatório (PO), inicialmente descrito por POLQUIN, 1998, a grande diferença com relação aos modelos lineares, é a maior variação e frequência de mudança das variáveis de controle do treinamento. No modelo PO, essas mudanças proporcionais nas variáveis de treinamento podem ser efetuadas diariamente ou semanalmente. Nesse modelo, seria possível enfatizar o desenvolvimento de vários componentes durante cada microciclo ou mesmo dentro da sessão de treinamento (POLQUIN, 1998). Consequentemente, o indivíduo seria capaz de treinar força, potência e resistência muscular durante um período de treino, permitindo uma maior variabilidade do estímulo e a utilização de maiores cargas absolutas de treinamento (HOFFMAN *et al.*, 2009).

Apesar dos dados conflituosos quando são feitas comparações entre os modelos PER e NPER e os seus efeitos na força máxima (WILLOUGHBY, 1993; MONTEIRO, AOKI, EVANGELISTA, ALVENO, MONTEIRO, PICARRO IDA e UGRINOWITSCH, 2009). Tem sido sugerido que os modelos PER seriam mais eficientes que os modelos NPER em promover aumentos na força muscular. Por exemplo, WILLOUGHBY (1993) comparou três grupos de treinamento durante 16 semanas, dois grupos treinaram com sobrecarga constante, sendo o G1 5 x 10RM e o G2 6 x 8 RM, e o terceiro grupo, denominado G3, adotou o modelo PL com aumentos na intensidade e redução no volume a cada quatro semanas. Ao final do estudo, todos os grupos aumentaram a força muscular dos membros superiores e inferiores, porém os ganhos no grupo que seguiu o modelo PL foram significativamente maiores.

Ainda com relação a periodização do treinamento, também tem sido sugerido que modelos PER visando uma maior variação durante o treinamento, poderiam proporcionar maiores sobrecargas de treino e, conseqüentemente, uma melhor resposta do processo adaptativo visualizado no TF (RHEA e ALDERMAN, 2004) . RHEA *et al.* (2002) recrutaram jovens engajados em TF há pelo menos dois anos antes

do início do estudo e compararam os efeitos dos modelos PL e PO nos ganhos de força muscular. Após um protocolo de treinamento de 12 semanas e com frequência semanal de três sessões, o modelo PO demonstrou maiores ganhos na força muscular dos membros inferiores quando comparado ao modelo PL ($55,8 \pm 22,8\%$ v.s. $25,7 \pm 19,0\%$, respectivamente) (RHEA, BALL, PHILLIPS e BURKETT, 2002). Os autores concluíram que os seus resultados davam suporte para o uso dos modelos PO para otimizar os ganhos de força máxima.

Outra estratégia, buscando maior variabilidade e otimização do estímulo, juntamente com uma recuperação adequada da musculatura entre as sessões é o modelo PER alternado por segmentos corporais. Nesse modelo pode ser adotada a periodização linear ou ondulatória, contudo, diferentes segmentos corporais são treinados em diferentes unidades de treinamento (e.g.; sessão A - membros inferiores nas segundas e quartas e Sessão B - membros superiores nas terças e quintas). MONTEIRO et al. (2009) submeteram indivíduos treinados em TF a 12 semanas de treinamento, eles foram divididos em três grupos, NPER, PL e PO. A frequência semanal foi de quatro sessões, cada sessão específica foi treinada duas vezes na semana (A e B). Após as semanas 4 e 8 de treinamento, o grupo PO foi o único a demonstrar ganhos significantes na força dos membros superiores (14,9% e 21,8%), respectivamente. Ao final do treinamento o único grupo que demonstrou ganhos significantes com relação aos valores iniciais para a força máxima dos membros superiores foi o PO e esses ganhos foram significativamente maiores quando comparados aos ganhos dos grupos NPER e PL (PO:27,7% vs. PL:8,9% e NPER:6,8%), respectivamente. A força de membros inferiores também exibiu um padrão similar para o grupo PO. Por exemplo, após quatro semanas de treinamento, esse modelo foi o único que demonstrou ganhos significantes em relação ao pré-treino e com relação aos grupos NPER e PL (PO:15,5% vs. PL:4,1% e NPER:4,9%), respectivamente. Esse padrão foi mantido até o final do estudo. Somente após oito semanas foi detectado aumento significativo na força de membros inferiores do grupo PL com relação aos valores iniciais, contudo sempre menor do que os ganhos observados no grupo PO (28,7% v.s. 9,9%). Ao final das 12 semanas de treinamento, os grupos PL e PO demonstraram ganhos significantes no 1RM com relação aos valores iniciais, os aumentos de 1RM observados para o grupo PO foram maiores

quando comparados aos valores do grupo PL (30,2% e 13,8%), respectivamente. O aumento de 8,2% do grupo NPER não demonstrou alcançar o nível de significância (MONTEIRO *et al.*, 2009). Os achados do estudo de MONTEIRO *et al.* (2009) podem ser explicados devido ao nível de treinamento dos participantes, uma vez que todos treinavam força há pelo menos quatro anos.

Apesar dos achados de MONTEIRO *et al.* (2009) sugerirem que para a população com maior nível de treinamento, o modelo de periodização com maior variação pode ser mais eficiente para promover ganhos constantes na força máxima dos membros superiores e inferiores. Esses dados precisam ser interpretados com cuidado, pois fazendo uma análise dos dados supracitados, existem evidências sim que estratégias de treinamento nas quais ocorram mudanças na sobrecarga ao longo do período de TF seriam mais eficientes em aumentar os ganhos na força muscular. Diversos autores têm atribuído esses ganhos a maior variabilidade do estímulo que, em tese, proporcionaria maior ativação do *pool* de unidades motoras, maior hipertrofia muscular e menor risco de *overtraining* (RHEA *et al.*, 2002; RHEA e ALDERMAN, 2004; PRESTES *et al.*, 2009). Porém, analisando outros estudos que verificaram os efeitos de diferentes modelos de periodização na força máxima em atletas, os achados não são tão uniformes como os de MONTEIRO *et al.* (2009).

Por exemplo, HOFFMAN *et al.* (2009) compararam três modelos de treinamento (NPER, PL e PO) em atletas de futebol americano fora do período competitivo. Após 15 semanas de treinamento os autores não verificaram diferenças nos ganhos de força para os membros superiores (8,6%, 7,7% e 8,3%) e inferiores (20,4%, 20,7% e 11,1%) entre os grupos NPER, PL e PO, respectivamente (HOFFMAN *et al.*, 2009).

Corroborando com os dados de HOFFMAN *et al.* (2009), APEL *et al.* (2011) submeteram sujeitos com experiência prévia em TF (> 6 meses) a 12 semanas de treinamento com os modelos PL e PO, sendo o PO, ondulado semanalmente e não diariamente como no estudo de RHEA *et al.* (2002). Nos dois modelos de treinamento, os autores utilizaram a rotina alternada por segmentos corporais, sendo que segunda e quinta tinham ênfase nos músculos peitoral, dorsal, tríceps e abdominais e terça e sexta nos músculos dos membros inferiores, ombro e bíceps. Após 8 semanas de treinamento, os grupos PL e PO demonstraram ganhos significantes para os membros superiores (12,8% e 13,0%), que foram avaliados no exercício supino e para os

membros inferiores (36,8% e 22,1%), que foram avaliados no exercício agachamento. Contudo, após a 12ª semana de treinamento, o grupo PL demonstrou ganhos de força significativamente maiores quando comparados ao PO para os exercícios agachamento (53,5% v.s. 33,7%) e supino (23,9% v.s. 18,6%), respectivamente (APEL, LACEY e KELL, 2011).

Mais uma vez, olhando de maneira crítica para os dados sobre periodização e os seus efeitos sobre a força muscular é possível visualizar a quantidade de dados conflituosos sobre essa temática, o que nos impossibilita - até o presente momento, um consenso sobre o melhor programa para promover aumentos na força muscular. Apesar da dificuldade em comparar os diferentes estudos sobre periodização e também em comparar os diferentes modelos de periodização com os modelos NPER e os seus efeitos na força máxima. Existe uma recomendação corrente, que os modelos PER seriam melhores que os modelos NPER para promover ganhos também na hipertrofia muscular apesar da escassez de dados que corroborem com essa sugestão (KRAEMER, HAKKINEN, TRIPLETT-MCBRIDE, FRY, KOZIRIS, RATAMESS, BAUER, VOLEK, MCCONNELL, NEWTON, GORDON, CUMMINGS, HAUTH, PULLO, LYNCH, FLECK, MAZZETTI e KNUTTGEN, 2003; KRAEMER, NINDL, RATAMESS, GOTSHALK, VOLEK, FLECK, NEWTON e HAKKINEN, 2004; ACSM, 2009; PRESTES *et al.*, 2009) .

Nesse sentido, é preciso destacar que os trabalhos que sugerem que os modelos PER seriam melhores que os modelos NPER para promover ganhos na hipertrofia muscular têm utilizado, na maioria das vezes, indicativos indiretos da hipertrofia muscular (KRAEMER *et al.*, 2003; PRESTES *et al.*, 2009; SIMAO *et al.*, 2012). Sendo assim, é importante ressaltar que pouquíssimos estudos avaliaram o crescimento muscular em resposta aos diferentes modelos PER por meio da área de secção transversa muscular (ASTM) e/ou da fibra muscular (KRAEMER *et al.*, 2004; KOK, HAMER e BISHOP, 2009), impossibilitando o estabelecimento de um consenso sobre os efeitos dos modelos PER em TF na hipertrofia muscular.

Dentre os poucos estudos que avaliaram a hipertrofia muscular em resposta aos diferentes modelos PER, os achados também são conflituosos. Por exemplo, KRAEMER *et al.* (2004) submeteram mulheres fisicamente ativas, porém destreinadas em força, a 24 semanas de treinamento periodizado com frequência semanal de três

sessões. Ao final do estudo, os modelos PER foram eficientes em promover a hipertrofia dos membros inferiores. Porém, é importante destacar que os diferentes modelos adotados nesse estudo se diferenciavam pelos segmentos corporais treinados e também não existiu um grupo NPER de treinamento. Essas características do estudo de KRAEMER *et al.* (2004) dificultam estabelecer comparações mais conclusivas, como por exemplo, se a hipertrofia induzida pelos modelos PER seria diferente daquela induzida por um modelo NPER. Também, como não houve a comparação entre os modelos mais utilizados (e.g. PL e PO), não é possível estabelecer se diferentes modelos de periodização iriam produzir mudanças distintas na ASTM (KRAEMER *et al.*, 2004). Nesse sentido, o estudo de KOK *et al.* (2009) traz luz sobre o efeito de diferentes modelos de periodização e os seus efeitos na ASTM. Os autores investigaram qual o efeito que diferentes modelos de periodização promovem na ASTM dos membros inferiores. Vinte mulheres fisicamente ativas que foram submetidas a nove semanas de treinamento PL ou PO com três sessões diárias. Nesse estudo, os autores avaliaram a ASTM do reto femoral e ao final do período experimental, não foram detectadas diferenças entre os ganhos observados nos grupos PL e PO para a hipertrofia muscular (8,6% vs. 14,7%, respectivamente) (KOK, HAMER e BISHOP, 2009).

Recentemente, um estudo realizado por FONSECA *et al.* (2014) com um desenho mais voltado para as comparações apenas entre a variabilidade da sobrecarga do TF e os seus efeitos na hipertrofia muscular e não entre os modelos PER e NPER forneceu informações importantes sobre o efeito que diferentes estratégias de modulação da sobrecarga em TF promovem na ASTM da musculatura do quadríceps. Os autores utilizaram como amostra, homens jovens com experiência prévia em TF que foram submetidos a um macrociclo de 12 semanas de treinamento com mesociclos de quatro semanas e frequência semanal de duas sessões. Além da variação da intensidade, foi adotada a variação dos exercícios utilizados, o estudo contou com cinco grupos; CICE: o qual treinava com intensidade e exercício constantes, VICE: o qual intensidade foi variada ao longo do treinamento, mas o exercício constante, CIVE: o qual a intensidade foi constante e os exercícios variados ao longo do treinamento, VIVE: o qual ambos, exercícios e intensidade foram variados ao longo das 12 semanas e C: o grupo controle. A cada quatro semanas o número de

séries foi aumentado e também a cada quatro semanas aconteciam às mudanças nos exercícios e na intensidade utilizada (TABELA 1). Sendo assim, houve uma progressão de volume e intensidade na mesma direção durante a realização do estudo. Nesse sentido, apenas o volume por meio do número de repetições foi equalizado entre os grupos.

TABELA 1 – Exercícios, número de séries e intensidades das sessões de treino para cada grupo em cada mesociclo. Adaptado de FONSECA et al. 2014.

Semanas 1-4	CICE	CIVE	VICE	VIVE
Exercício/volume/Intensidade	Agachamento: 4 x 8RM	Agachamento: 2 x 8RM Leg press: 2 x 8RM	Agachamento: 2 x 6RM Agachamento: 2 x 10RM	Agachamento: 1 x 6RM Agachamento: 1 x 10RM Agachamento: 1 x 6RM Leg-press: 1 x 10RM
Semanas 5-8	CICE	CIVE	VICE	VIVE
Exercício/volume/Intensidade	Agachamento: 6 x 8RM	Agachamento: 3 x 8RM Lev. Terra: 3 x 8RM	Agachamento: 2 x 6RM Agachamento: 2 x 8RM Agachamento: 2 x 10RM	Agachamento: 1 x 6RM Agachamento: 1 x 8RM Agachamento: 1 x 10RM Lev. Terra: 1 x 6RM Lev. Terra: 1 x 8RM Lev. Terra: 1 x 10RM
Semanas 9-12	CICE	CIVE	VICE	VIVE
Exercício/volume/Intensidade	Agachamento: 9 x 8RM	Agachamento: 3 x 8RM Lev. Terra: 3 x 8RM Afundo: 3 x 8RM	Agachamento: 3 x 6RM Agachamento: 3 x 8RM Agachamento: 3 x 10RM	Agachamento: 1 x 6RM Agachamento: 1 x 8RM Agachamento: 1 x 10RM Lev. Terra: 1 x 6RM Lev. Terra: 1 x 8RM Lev. Terra: 1 x 10RM Afundo: 1 x 6RM Afundo: 1 x 8RM Afundo: 1 x 10 RM

Após o período de treinamento, todos os grupos experimentais demonstraram aumentos significantes na ASTM do quadríceps com relação à condição pré-treinamento. Porém, é preciso ressaltar que quando os músculos que compõem o quadríceps foram analisados individualmente, somente os grupos que variaram os exercícios (*i.e.*; CIVE E VIVE) demonstraram hipertrofia significativa nas quatro

cabeças do quadríceps (FONSECA, ROSCHEL, TRICOLI, DE SOUZA, WILSON, LAURENTINO, AIHARA, DE SOUZA LEO e UGRINOWITSCH, 2014). Apesar dos dados de FONSECA et al (2014) não permitirem a comparação entre os diferentes modelos de periodização, os achados não demonstram nenhum tipo de ganho adicional na ASTM total do quadríceps em função da manipulação da intensidade ao longo do período de treinamento.

Novamente, uma análise crítica sobre os efeitos dos modelos de periodização e da variabilidade da sobrecarga em TF na hipertrofia muscular, não nos permite eleger um modelo de treinamento como o mais apropriado para promover ganhos na ASTM. Basicamente, porque, primeiro: muitos estudos não equalizaram o volume total, o que dificulta a comparação entre os diferentes trabalhos e segundo: a ausência de um grupo NPER impossibilita estabelecer se a hipertrofia induzida por modelos de treinamento PER seria diferente daquela induzida por modelos de treinamento NPER. Isso demonstra que, os efeitos que os diferentes modelos de treinamento que podem ser empregados em TF promovem na hipertrofia muscular ainda carecem de dados científicos sólidos.

3.3. Efeito da modulação da sobrecarga do treinamento de força na resposta molecular

O controle do tamanho do músculo esquelético é fortemente regulado pela interação entre os processos anabólicos (i.e. síntese) e catabólicos (i.e. degradação proteica). A hipertrofia muscular ocorre em resposta ao aumento da demanda funcional que é imposta pelo TF (LEGER, CARTONI, PRAZ, LAMON, DERIAZ, CRETENAND, GOBELET, ROHMER, KONZELMANN, LUTHI e RUSSELL, 2006). Nesse sentido, o aumento da massa muscular ocorre em decorrência do incremento do número e do diâmetro das miofibrilas, resultando no aumento da ASTM. Essa adaptação induzida pelo TF acontece como consequência do acúmulo de proteínas contráteis nas fibras musculares, e que para ocorrer, a taxa de síntese precisa ter maior magnitude do que a taxa de degradação proteica (BODINE, 2006) .

O controle da síntese proteica é fortemente regulado por fatores de crescimento expressos na célula muscular (BAMMAN, SHIPP, JIANG, GOWER, HUNTER, GOODMAN, MCLAFFERTY e URBAN, 2001). Um desses fatores é o fator de

crescimento similar à insulina do tipo 1 (IGF-1). O gene do IGF-1 pode sofrer *splicing* alternativos em diferentes regiões e produzir diferentes RNAm que resultarão nas isoformas de IGF (IGF-1Ea, IGF-1Eb, IGF1-Ec). (HAMEED, LANGE, ANDERSEN, SCHJERLING, KJAER, HARRIDGE e GOLDSPINK, 2004) Adicionalmente, duas isoformas exercem papel determinante no crescimento muscular, a isoforma IGF-1Ea e a isoforma IGF-1Ec também conhecida como MGF (*mechano growth factor*) (BAMMAN, PETRELLA, KIM, MAYHEW e CROSS, 2007). O aumento nas isoformas de IGF-1 tem sido visualizado após 5 semanas de TF, conseqüentemente, o TF estimula todo esse aparato promovendo a ativação da cascata de sinalização celular, pelo recrutamento da fosfatidilinositol 3 quinase (PI3K), da proteína dependente de fosfoinosítídeos (PDK) e da proteína quinase B, também conhecida como Akt.

Quando ativada, esse importante via de sinalização celular exerce um papel determinante na regulação da síntese proteica e, conseqüentemente, da hipertrofia muscular. A ativação da PI3K pelo IGF-1 desloca a Akt para membrana celular, causando uma alteração conformacional da molécula e permitindo que a PDK-1 fosforile a Akt no resíduo ser⁴⁷³. É importante ressaltar que a Akt, quando fosforilada, pode agir em uma variedade de substratos que influenciarão a sobrevivência celular e a síntese de proteínas. Um desses substratos é a *mammalian target of rapamycin* (mTOR), que exerce uma função importante na regulação da hipertrofia muscular. Esse controle exercido pela mTOR, parece depender de sua capacidade de estimular a tradução, processo envolvido na síntese proteica, onde organelas como os ribossomos são essenciais para ligação ao RNAm e a formação das cadeias polipeptídicas (FIGURA 1).

Uma vez ativada, a mTOR estimula o processo de tradução pela modulação da atividade de duas proteínas ribossomais: 1) ela fosforila a proteína 4E-BP1 inibindo a sua interação com o fator de iniciação eucarioto 4E (eIF-4E). Os fatores de iniciação são responsáveis pela ligação do ribossomo à extremidade 5' *cap* do RNAm, ligação que promoverá o início da tradução dos códons. Essa região é reconhecida pelo eIF-4E e a interação da 4E-BP1 com essa extremidade, inibe o processo de tradução; 2) a mTOR fosforila a proteína p70^{S6K1}, a qual atua na fosforilação do polipeptídeo ribossomal S6 na subunidade ribossomal 40S, próximo aos fatores de iniciação e do RNAm.

polissomal de ribossomos. O aumento do agrupamento polissomal por fita de RNAm está associado ao aumento no processo tradução, consequentemente à maior taxa na síntese de proteínas (KUBICA, BOLSTER, FARRELL, KIMBALL e JEFFERSON, 2005; BODINE, 2006). Os dados de KUBICA et al. (2005) evidenciaram que o agrupamento polissomal e o aumento na síntese de proteínas proporcionados pelo exercício de força foram completamente bloqueados naqueles animais submetidos à administração de rapamicina (*i.e.*; inibidor farmacológico de mTOR). Como consequência, a fosforilação nos dois alvos ribossomais da mTOR, a p70^{S6K1} e o 4E-BP1 também foi menor no grupo exercício + rapamicina, quando comparada ao grupo que realizou somente o exercício de força (KUBICA *et al.*, 2005).

Em humanos, sessões agudas de exercícios de força e o TF têm demonstrado aumentos na via Akt/mTOR/ p70^{S6K1} e na taxa de síntese de proteínas (KUMAR, SELBY, RANKIN, PATEL, ATHERTON, HILDEBRANDT, WILLIAMS, SMITH, SEYNNES, HISCOCK e RENNIE, 2009). É importante destacar, que o efeito agudo dos exercícios de força na resposta molecular e sua relação com as adaptações crônicas ainda permanece um pouco controversa. Por exemplo, após 14 semanas de TF, TERZIS et al. (2008) verificaram alterações positivas na via Akt/mTOR/p70^{S6K1} em estudantes de educação física. Um dos principais achados desse estudo foi que o aumento na fosforilação da p70^{S6K1} após a sessão inicial de treinamento demonstrou uma alta relação com as adaptações induzidas pelo treinamento (*e.g.*; ↑ massa magra, ↑ hipertrofia muscular e ↑ força muscular) (TERZIS, GEORGIADIS, STRATAKOS, VOGIATZIS, KAVOURAS, MANTA, MASCHER e BLOMSTRAND, 2008). Por outro lado, MITCHELL et al. (2013) demonstraram uma fraca associação entre a fosforilação da p70^{S6K1} e os aumentos observados na CSA das fibras musculares após 16 semanas de TF em indivíduos jovens (MITCHELL, CHURCHWARD-VENNE, BELLAMY, PARISE, BAKER e PHILLIPS, 2013). Ainda, o mesmo grupo demonstrou uma fraca, mas significativa correlação entre a atividade da 4E-BP1 e a hipertrofia muscular, a ausência de associação entre a resposta aguda na taxa de síntese de proteínas, a fosforilação da mTOR e da p70^{S6K1} com a resposta hipertrófica após 16 semanas de TF (MITCHELL, CHURCHWARD-VENNE, PARISE, BELLAMY, BAKER, SMITH, ATHERTON e PHILLIPS, 2014).

Os dados supracitados evidenciam o quão aleatório pode ser embasar as adaptações crônicas em função da resposta que apenas uma sessão de TF promove na taxa de síntese proteica ou da fosforilação das proteínas da via Akt/mTOR/p70^{S6K1}. Porém, apesar desses dados conflitantes com relação ao efeito agudo do TF na síntese proteica e nas vias de sinalização e a adaptação induzida pelo TF na massa muscular, é importante ressaltar que a via Akt/mTOR/p70^{S6K1} é considerada uma importante moduladora da hipertrofia muscular e a sua ativação é necessária para que ocorra aumento na taxa de síntese de proteínas (BODINE, STITT, GONZALEZ, KLINE, STOVER, BAUERLEIN, ZLOTCHENKO, SCRIMGEOUR, LAWRENCE, GLASS e YANCOPOULOS, 2001; MITCHELL *et al.*, 2014). Dessa maneira, a hipertrofia muscular induzida pelo TF em associação à ativação e/ou aumento da expressão gênica e proteica da via Akt/mTOR/p70^{S6K1} tem sido bem documentada nos últimos anos por diferentes estudos (BODINE *et al.*, 2001; LAMAS, AOKI, UGRINOWITSCH, CAMPOS, REGAZZINI, MORISCOT e TRICOLI, 2010; DE SOUZA, TRICOLI, ROSCHEL, BRUM, BACURAU, FERREIRA, AOKI, NEVES-JR, AIHARA, DA ROCHA CORREA FERNANDES e UGRINOWITSCH, 2013; MITCHELL *et al.*, 2013)

Por outro lado, poucos estudos têm investigado como diferentes protocolos e/ou o uso de diferentes intensidades no TF afetam a resposta aguda e crônica da expressão de proteínas associados ao crescimento muscular, assim como da síntese de proteínas em resposta às diferentes intensidades no TF.

KUMAR *et al.* (2009) com objetivo de verificar a relação dose-resposta na taxa de síntese proteica, submeteram indivíduos jovens e idosos a sessões de TF que foram realizadas com intensidades entre 20 e 90% de 1RM. Os autores relataram um pequeno aumento na taxa de síntese proteica em respostas às intensidades entre 20 e 40%. A 60% de um 1RM houve um aumento mais acentuado da taxa de síntese, porém intensidades acima dessa não produziram aumentos adicionais na taxa. Vale destacar que foi observada uma forte relação entre a ativação da p70^{S6K1} e a taxa de síntese proteica nas intensidades entre 60 e 90% de 1RM (KUMAR *et al.*, 2009). É importante ressaltar que os autores equalizaram o volume entre as sessões com diferentes intensidades e o tempo sob tensão, o que permite atribuir os achados à manipulação da carga realizada.

Em um estudo crônico, MITCHELL et al (2012) submeteram 18 indivíduos destreinados e sem experiência em TF a três protocolos distintos de treinamento em um delineamento intra-sujeito. Cada participante foi designado a treinar ambas as pernas em duas, das três intensidades possíveis. Um grupo foi chamado de 30%-3, no qual uma das pernas foi submetida a três séries a 30% de 1RM até a exaustão. O segundo grupo foi chamado de 80%-3 e realizou três séries a 80% de 1RM até a exaustão em uma das pernas e o terceiro grupo chamado de 80%-1, que realizou uma série a 80% até a exaustão em uma das pernas. Os indivíduos treinaram por 10 semanas e realizaram três sessões de treinamento por semana. Após as 10 semanas de treinamento, a fosforilação da mTOR no resíduo Ser2448 aumentou de maneira semelhante em todas as condições quando comparada à fosforilação pré-exercício. Por outro lado, a fosforilação da p70^{S6K1} no resíduo Thr389 só demonstrou aumento nas condições 80%-3 e 80%-1. Contudo, nesse estudo não houve relação entre a magnitude da fosforilação da p70^{S6K1} e o ganho na hipertrofia muscular (MITCHELL, CHURCHWARD-VENNE, WEST, BURD, BREEN, BAKER e PHILLIPS, 2012). Diferentemente de KUMAR et al. (2009), os autores não equalizaram o volume total de treinamento e é possível que a condição 30%-3 tenha realizado um volume muito maior quando comparado às outras duas condições. Nesse sentido, a falta de equalização do volume total dificulta o entendimento do papel das diferentes intensidades na modulação da via Akt/mTOR/p70^{S6K1} e o seu papel no aumento da massa muscular. Em outro estudo realizado por LAMAS et al. (2010), no qual o volume total foi equalizado, sujeitos jovens com experiência prévia em TF foram alocados em dois grupos distintos de treinamento. Ambos os grupos seguiram um modelo PL, contudo, um grupo treinou objetivando potência muscular (30-40% de 1RM) e o outro (grupo força) treinou com a intensidade entre quatro e 10RM. Após oito semanas de treinamento não houve efeito de interação entre os grupos na expressão gênica associada à plasticidade muscular (raptor, rictor, mTOR, 4EBP-1, calcineurina, calciupressina). A resposta molecular entre os grupos foi similar e sem interação entre os mesmos, ambos os grupos também demonstraram aumentos na AST das fibras musculares, sem interação entre os dois grupos (LAMAS et al., 2010). Apesar do estudo de LAMAS et al. (2010) ter equalizado o volume total, os autores investigaram

a expressão gênica, que reflete a regulação transcricional dos genes, isso dificulta a comparação com os estudos de KUMAR et al (2009) e MITCHELL et al (2012).

Esses dados sugerem que os efeitos das diferentes intensidades utilizadas em TF nas proteínas associadas à síntese proteica têm sido muito similares e a ainda, a hipertrofia muscular também tem sido semelhante entre as diferentes condições, apesar das diferenças no volume total e/ou na intensidade do treinamento. Nesse sentido, o melhor entendimento dos mecanismos que modulam a massa muscular é vital para o desenvolvimento e/ou consolidação de métodos de treinamento utilizados em TF que serão utilizados não somente por atletas, mas como uma ferramenta terapêutica naquelas pessoas que sofrem com a perda de massa muscular decorrente do desuso, do processo de envelhecimento e das doenças crônicas degenerativas. Estudos crônicos que empreguem diferentes modelos PER e enfoque nas vias de sinalização associadas à síntese proteica ainda são escassos. No presente momento, os achados não nos permitem uma caracterização do efeito crônico dos modelos empregados em TF e o efeito na resposta molecular associada à hipertrofia muscular. Outra informação que ainda precisa ser elucidada, é se modelos de TF com volume total equalizados e diferentes estratégias de manipulação do volume e da intensidade ao longo do período podem afetar a sensibilidade da via Akt/mTOR/p70^{S6K1} de maneira distinta após as semanas de treinamento.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Amostra

A amostra foi constituída por 34 indivíduos fisicamente ativos, com idade média de 24,6 ($\pm 5,4$) anos, estudantes do curso de Educação Física e que não estavam realizando treinamento de força ou de resistência aeróbia para os membros inferiores por no mínimo seis meses antes do início do estudo. Indivíduos com histórico recente de lesão na articulação do joelho ou qualquer outro problema neuromuscular e/ou cardiovascular não foram selecionados para participar do estudo.

A alocação dos indivíduos aos grupos experimentais foi realizada de forma balanceada e aleatória, para garantir condições iniciais similares entre os grupos. Porém, a mesma só foi realizada após o pré-teste, seguindo o procedimento descrito a seguir. A partir dos valores obtidos de ASTM da porção medial do músculo quadríceps por meio de ressonância magnética e dos valores de uma repetição máxima no exercício meio agachamento (1RM), os sujeitos foram classificados em quartis. Então, os indivíduos de cada quartil foram aleatoriamente alocados em quatro grupos. Três desses grupos foram submetidos a protocolos distintos de treinamento (GNP, GPL e GPO) e o quarto grupo foi designado como controle (C). Uma ANOVA one-way foi utilizada para verificar a presença de eventuais diferenças entre os grupos no pré-teste tanto para 1RM no meio-agachamento quanto para a ASTM. Os grupos se mostraram adequadamente balanceados para ambos os parâmetros ($p > 0,05$). Os dados antropométricos, a idade, o N, assim como os valores dos testes iniciais de cada grupo se encontram na TABELA 2.

TABELA 2–Características descritivas dos participantes no momento pré-treinamento (Média $\pm$ DP).

	C	GNP	GPL	GPO
N	8	9	9	8
Idade	25,1 ($\pm 3,3$)	25,6 ($\pm 6,3$)	25,0 ($\pm 7,0$)	24,4 ($\pm 5,2$)
Estatura (cm)	173,6 ($\pm 6,8$)	172,8 ($\pm 6,1$)	175,3 ($\pm 5,7$)	176,8 ($\pm 5,3$)
Massa Corporal (kg)	76,8 ($\pm 11,7$)	79,5 ($\pm 13,0$)	76,0 ($\pm 9,9$)	74,9 ($\pm 4,2$)
1RM (kg)	126,8 ($\pm 21,3$)	140,7 ($\pm 23,9$)	141,1 ($\pm 19,5$)	149,5 ($\pm 34,6$)
ASTM CD (mm ²)	8913,3 ($\pm 1041,9$)	8801,4 ($\pm 983,8$)	8738,9 ($\pm 770,8$)	8407,6 ($\pm 1449,0$)

(C) grupo controle, (GNP) grupo não-periodizado, (GPL) grupo periodizado-linear, (GPO) grupo periodizado-ondulado. 1RM – uma repetição máxima no exercício meio-agachamento. ASTM CD – área de secção transversa muscular da coxa direita.

Todos os participantes foram informados dos possíveis riscos, desconfortos e benefícios decorrentes do estudo e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido antes de iniciarem a participação. O projeto foi aprovado pelo comitê de

ética da Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo (Protocolo de Pesquisa n.01506612.5.0000.5391).

4.2. Desenho experimental

Após a primeira coleta do tecido muscular (biópsia muscular) que aconteceu antes de qualquer procedimento (*i.e.*; familiarização e testes iniciais), os voluntários foram submetidos às três sessões de familiarização com os exercícios de força e os procedimentos utilizados nos testes e no treinamento. Após esse período (~ 2 semanas), eles foram submetidos ao exame de ressonância magnética por imagem e teste de força máxima (*i.e.*; 1RM no exercício meio agachamento). A primeira sessão de treinamento para todos os grupos experimentais e o grupo controle consistiu em 5X10RM no exercício de agachamento. Vinte e quatro horas após essa sessão foi coletada a segunda amostra de tecido muscular. O protocolo de treinamento foi iniciado 48 horas após a segunda biópsia muscular e consistiu em 12 semanas. Na metade do período de treinamento (*i.e.*; seis semanas), os participantes foram submetidos aos testes de força máxima e ao exame de ressonância magnética. Esses testes foram realizados 72 horas após a sessão de treinamento de força dos grupos experimentais. Na última sessão de treino, todos os grupos realizaram novamente a sessão de 5X10RM no exercício meio agachamento. A terceira e quarta amostras de tecido muscular foram coletadas vinte e quatro e 168 horas (*i.e.*; sete dias) após essa última sessão de treinamento. A sessão padronizada entre os grupos teve como objetivo garantir que as biópsias realizadas após a primeira e a última sessão de treinamento tivessem o mesmo estímulo para garantir que na ocorrência de diferenças significante, elas fossem em resposta aos diferentes modelos de treinamento empregados. Os testes de força máxima e a ressonância magnética foram realizados 48 horas após a terceira biópsia muscular. Sendo assim, o teste de força máxima foi realizado dentro do intervalo de 168 horas entre as duas biópsias, mas para todos os grupos ele foi realizado no mesmo dia (*i.e.*; segunda-feira), que antecedia a quarta biópsia, realizada no sábado. (FIGURA 2).

FIGURA 2 - Visão geral do desenho experimental

4.3. Acompanhamento do padrão alimentar dos sujeitos

Todos os sujeitos foram questionados quanto o uso de suplementos alimentares e drogas que poderiam afetar os resultados do estudo. Nenhum dos participantes relatou o uso de qualquer substância que pudesse alterar os resultados. Adicionalmente, foi solicitado a todos, a anotação das refeições nos dois dias anteriores à biópsia inicial e posteriormente, foi solicitado a replicação desse padrão alimentar nas biópsias posteriores. No dia das biópsias musculares, um café da manhã padronizado (*i.e.*; ~311 kcal; 63,5 % carboidratos, 21,8 % proteínas, e 14,7 % de gordura) foi solicitado duas horas antes da biópsia muscular, com o objetivo de minimizar qualquer efeito nutricional na expressão proteica das proteínas analisadas.

4.4. Biópsias musculares

Para obtenção das amostras para determinação da expressão proteica total e atividade, foram realizadas biópsias na porção medial do músculo vasto lateral da perna dominante dos voluntários em quatro momentos distintos. Antes da extração do tecido, a área foi tricotomizada e limpa com antisséptico. Uma pequena área, sobre a região selecionada, foi anestesiada com xilocaína à 2%, injetada

subcutaneamente. Após a anestesia, uma pequena incisão, de aproximadamente (0,5 cm de comprimento), foi feita até a fáscia do músculo utilizando bisturi cirúrgico. A agulha de biópsia foi então introduzida no músculo numa profundidade aproximada de três centímetros para obtenção da amostra de tecido muscular (~70 a 100 mg). Após a retirada do tecido, a incisão foi fechada com ponto falso e coberta por bandagens.

A primeira biópsia foi obtida no início do estudo, antes da familiarização e dos procedimentos iniciais. A segunda amostra foi obtida 24 horas após a primeira sessão de treinamento, a terceira biópsia foi obtida 24 horas após a última sessão de treinamento, e por fim, a quarta biópsias foi obtida 168 horas (e.g. 7 dias) após a última sessão de treinamento. As amostras foram limpas (i.e. retirada de sangue e excesso de tecido conectivo) e divididas em duas alíquotas para análises posteriores e imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e conservada à -80°C até o momento das análises.

4.5. Análise da expressão proteica

As amostras coletadas do músculo vasto lateral foram homogeneizadas através de homogeneizador Polytron (PT-K Brinkman Instruments) em volumes (~nove vezes do peso de cada amostra) em tampão de lise hipotônico contendo tampão de fosfato de potássio 50mM (pH 7,0), sucrose 0,3M, DTT 0,5mM, EDTA 1mM (pH 8,0), PMSF 0,3mM, NaF 10mM e coquetel de inibidor de fosfatase (1:100). O processo de homogeneização foi realizado duas vezes durante 15 segundos com intervalos de 20 segundos entre as homogeneizações. Todo o processo foi efetuado a 4°C. O homogenato foi centrifugado a 12000 rpm por 10 minutos a 4 °C. A fração sobrenadante foi transferida para tubos de 1,5 ml e a concentração de proteína nas amostras foi verificada por meio do método de Bradford (Biorad-EUA). As alíquotas dos homogenatos foram armazenadas em freezer -80°C para as análises posteriores.

A análise dos níveis proteicos foi realizada pela técnica de western blotting. Para isso, foi utilizada Eletroforese em Gel de Poliacrilamida (SDS-PAGE 8%-10%) no aparelho para mini gel (Mini Protean). Posteriormente, as proteínas foram transferidas para uma membrana de nitrocelulose (Amersham Biosciences, New Jersey, EUA) do

mesmo modo que foram separadas no SDS-PAGE. As membranas foram coradas com *Ponceau S*, para a verificação das bandas proteicas obtidas pela eletroforese.

A fim de bloquear ligações inespecíficas, a membrana foi incubada em solução contendo caseína por ao menos 2 horas e em seguida, incubada com o anticorpo primário que se liga à proteína que se pretende detectar, formando um complexo anticorpo-proteína. Depois de enxaguar a membrana para remover o anticorpo não ligado, ela foi exposta ao anticorpo secundário conjugado a *horseadish* peroxidase (HRP), direcionado a porções espécies-específicas do anticorpo primário.

Os anticorpos utilizados foram mTOR, p70^{S6K1}, 4E-BP1, p4E-BP1^{Thr70}. Em seguida as mesmas membranas foram lavadas 3x10 min com TBS-T, incubadas por 1 hora com os respectivos anticorpos secundários conjugados à peroxidase. Posteriormente foram visualizadas e quantificadas pelo sistema Image J, fornecido gratuitamente pela NIH (EUA) via internet. O gliceroldeído-3-fosfato desidrogenase (GAPDH) e uma amostra controle foram utilizados como normalizador e controle interno.

4.6. Teste de força dinâmica máxima

A força dinâmica máxima foi avaliada através do teste de uma repetição máxima (1RM) no exercício “meio agachamento (Portico®, São Paulo, Brazil). A realização deste teste seguiu as orientações da “*American Society of Exercise Physiologists*” (ASEP), para testes de 1 RM (BROWN e WEIR, 2001). Antes do teste, os participantes realizaram um aquecimento geral de cinco minutos de duração a 9 km·h⁻¹ na esteira ergométrica. Após o aquecimento geral, os sujeitos realizaram um aquecimento específico consistindo de duas séries de oito e três repetições com cargas ao redor de 50% e 70% da carga estimada para 1RM.

Após o aquecimento específico, um intervalo de três minutos foi dado antes dos sujeitos serem submetidos ao teste. Este teste consistiu na obtenção da máxima quantidade de peso que pode ser levantada em um ciclo completo (i.e. flexão-extensão dos joelhos) do exercício. A carga inicial para o teste máximo foi estimada durante as sessões de familiarização, e a partir disso, o peso levantado foi aumentado até que o sujeito não conseguisse completar uma repetição com aquela carga. O número total

de tentativas para achar o valor de 1RM não foi maior que cinco. Entre cada tentativa houve um intervalo de três minutos. Durante a execução do movimento os avaliadores forneceram encorajamento verbal aos participantes. As avaliações da força dinâmica máxima foram realizadas em três momentos distintos, no início do estudo, na metade (p.ex. 6 semanas) e ao final das doze semanas de treinamento.

4.7. Área de secção transversa muscular (ASTM)

A área de secção transversa muscular (ASTM) do músculo quadríceps femoral de ambas as pernas foi determinada através de ressonância magnética por imagem (RMI). Os sujeitos foram instruídos a deitar no aparelho de ressonância magnética na posição supina com as pernas estendidas. Os dois pés foram mantidos unidos por meio de um velcro para evitar a rotação das pernas que poderia atrapalhar o contorno correto do músculo quadríceps femoral. Uma visualização inicial dos membros inferiores do participante foi efetuada para determinar a distância perpendicular entre o trocanter maior do fêmur e o epicôndilo lateral da tíbia, que para determinar o ponto médio do segmento. Esse ponto foi utilizado como referência para o corte da ASTM. A espessura do corte do escaneamento para a medida da ASTM dos sujeitos foi feita com 0,8 cm realizados na porção medial de ambas as coxas. A extensão do mapeamento foi marcada a cada 50 mm com um tempo de exposição de 3 segundos para aumentar a qualidade de resolução. A imagem e a escala associadas foram então impressas sobre um padrão de transparência de imagem e transferidas para um computador. O corte então foi segmentado em quatro componentes (músculo esquelético, tecido adiposo subcutâneo, osso e tecido residual) e então a ASTM foi tracejada por um pesquisador treinado e cego para os tratamentos (FIGURA 3). A ASTM do músculo quadríceps femoral foi determinada pela subtração da área do osso e da gordura subcutânea usando planimetria computadorizada através de um software de análise de imagens (Advantage Workstation 4.3, GE Health care, Milwaukee, USA). As avaliações da RMI foram realizadas em três momentos distintos, no início do estudo, na metade (p.ex. 6 semanas) e ao final das doze semanas de treinamento. As duas últimas medidas foram realizadas 48 horas após a última sessão de treinamento

realizada na semana. Somente os dados de ASTM da perna direita foram utilizados para análises futuras.

FIGURA 3 - Visualização da demarcação da área de secção transversa do músculo quadríceps femoral.

4.8. Protocolo de treinamento

O protocolo de treinamento de força consistiu em quatro exercícios, sendo dois exercícios principais para musculatura da coxa (*i.e.*; agachamento, cadeira extensora unilateral) e outros dois exercícios acessórios (abdominal e extensão do tronco no banco inclinado). Os dois exercícios acessórios tiveram como objetivo fornecer aos participantes fortalecimento da região abdominal para suportar o treinamento com repetições máximas utilizadas no presente estudo. A quantidade de carga utilizada pelos participantes foi ajustada progressivamente durante toda a duração do estudo. A melhor equalização possível foi utilizada para todas as variáveis de treinamento (*e.g.*, volume total, séries, repetições e intervalo de descanso). O intervalo entre as

séries (i.e. 2 minutos) foi mantido durante toda a duração do estudo, o número total de séries, as repetições e a carga levantada foram controlados semanalmente para evitar distorções entre os grupos na variável no volume total (i.e., [séries • repetições • quilos (agachamento) + séries • repetições • quilos (cadeira extensora)]) TABELA 3.

TABELA 3 - Progressão do volume, da intensidade e dos exercícios utilizados durante as doze semanas de treinamento.

Grupos	Semanas 1-4		Semanas 5-9		Semanas 9-12		Volume	Reps/dia
GNP	Seg	Qui	Seg	Qui	Seg	Qui		
Agachamento	3x8	3x8	3x8	3x8	3x8	3x8		
C.Extensora	2x8	2x8	2x8	2x8	2x8	2x8		
	320 reps		320 reps		320 reps		960	40
GPL	Seg	Qui	Seg	Qui	Seg	Qui		
Agachamento	3x12	2x12	4x8	4x8	3x4	3x4		
C.Extensora	2x12	2x12	2x8	2x8	2x4	2x4		
	423 reps		384 reps		160 reps		967	40,6
GPO	Seg	Qui	Seg	Qui	Seg	Qui		
Agachamento	2x12	4x6	3x10	4x6	2x8	4x4		
C.Extensora	3x12	3x6	2x10	2x6	2x8	2x4		
	408 reps		344 reps		224 reps		976	40,6

GNP-grupo não-periodizado; GPL- grupo periodizado-linear; GPO- grupo periodizado-ondulatório. Reps- repetições. Seg- segunda-feira; Qui- quinta-feira. C.Extensora- cadeira extensora.

4.9. Análise estatística

Técnicas de inspeção visual e o teste de Shapiro-Wilk confirmaram a ausência de observações extremas e a normalidade dos dados. Então, foi utilizado um modelo misto assumindo grupo (quatro níveis) e tempo (três níveis) como fatores fixos e os sujeitos como fator aleatório para cada variável dependente. Na ocorrência de razão de valores F significativa, foi utilizado um ajustamento de Tukey para efeito de comparações múltiplas. O valor de significância adotado foi de $p < 0,05$ e os dados

estão apresentados como média e desvio padrão. Adicionalmente, foram calculados o tamanho do efeito (TE) intragrupo (e.g. médias 6 e 12 semanas - média pré-treinamento/ desvio padrão pré-treinamento) (COHEN, 1988; UGRINOWITSCH, FELLINGHAM e RICARD, 2004).

5. RESULTADOS

5.1. Volume total de treinamento

Ao final do período experimental foi observado um volume total de treino similar entre os grupos GNP, GPL e GPO: $92.598 \pm 15.340\text{kg}$, $92.973\text{kg} \pm 10.760\text{kg}$ e $108.367 \pm 18.316\text{kg}$ ($p > 0,05$, FIGURA 4A e 4B). Em média, os participantes dos grupos experimentais treinaram com um volume total de $4.450,7 (\pm 160\text{kg})$ por sessão de treinamento.

FIGURA 4- A) dados de volume total ([séries x repetições x kg (agachamento) + séries x repetições x kg (cadeira extensora)] para os grupos não-periodizado (GNP), periodizado-linear (GPL) e periodizado-ondulatório (GPO). B) intervalos de confiança das comparações múltiplas do volume total.

5.2. Força dinâmica máxima (1RM)

Na condição pré-treinamento não houve diferença significativa para os valores 1RM entre os grupos C, GNP, GPL e GPO ($p > 0,05$). Apesar de um padrão distinto para os ganhos de força entre os indivíduos dos diferentes grupos experimentais como pode ser observado na FIGURA 6, ao final do protocolo de treinamento não foram detectadas diferenças significantes entre os modelos de treinamento. Após as seis semanas de treinamento, os grupos controle ($0,82 \pm 4,9\%$; TE: 0,04; $p > 1,00$) e GPL ($7,7 \pm 11,0\%$; TE: 0,60; $p > 0,10$) não demonstraram aumentos nos valores de 1RM com relação aos valores pré-teste. Por outro lado, os grupos GNP ($17,0 \pm 8,7\%$, TE: 1,00, $p < 0,0001$) e GPO ($12,9 \pm 9,9\%$, TE: 0,51, $p < 0,01$) demonstraram aumentos significantes para os valores de 1RM após as seis semanas de treinamento, com relação aos valores pré-teste. Após as 12 semanas de treinamento, com exceção do grupo C ($4,7 \pm 9,8\%$; TE: 0,24; $p > 0,99$), todos os grupos experimentais aumentaram a força dinâmica máxima com relação aos valores pré-teste. Foram verificados aumentos de ($19,5 \pm 13,2\%$; TE: 1,26; $p < 0,0001$) para o grupo GNP, ($17,9 \pm 13,7\%$; TE: 1,29, $p < 0,0001$) para o grupo GPL e de ($20,4 \pm 9,0\%$; TE: 0,82; $p < 0,0001$) para o grupo GPO. Não foram detectadas alterações significantes para os valores de 1RM entre as semanas seis e doze para os grupos experimentais ($5,4 \pm 3,4\%$; TE: $0,28 \pm 0,10$; $p > 0,10$), (FIGURA 5).

FIGURA 5 – Valores de força dinâmica máxima (1RM) para o exercício agachamento (média $\pm$ DP). * - $p < 0,05$ diferença significativa com relação aos valores pré-treinamento. GNP- grupo não-periodizado, GPL- grupo periodizado-linear, GPO- grupo periodizado-ondulatório.

FIGURA 6 – Valores individuais de força dinâmica máxima (1RM) para o exercício agachamento nos instantes pré-treinamento (Pré), 6 semanas e 12 semanas. GNP- grupo não-periodizado, GPL- grupo periodizado-linear, GPO- grupo periodizado-ondulatório.

5.3. Área de secção transversa muscular (ASTM)

Na condição pré-treinamento não houve diferença significativa para os valores de ASTM entre os grupos C, GNP, GLP e GPO ($p > 0,05$). Após as seis semanas de treinamento, o grupo controle não demonstrou alteração significativa para os valores de ASTM quando comparados aos valores pré-treinamento ($1,2 \pm 4,0\%$; TE: 0,15; $p > 0,99$). Os grupos GNP ($5,1 \pm 2,1\%$; TE: 0,45; $p < 0,01$) e GPL ($4,6 \pm 3,2\%$, TE: 0,53, $p < 0,02$) demonstraram aumentos significantes para os valores de ASTM, enquanto o grupo GPO demonstrou apenas uma tendência de aumento dos valores de ASTM após

as seis semanas de treinamento ($5,3 \pm 2,9\%$, TE: 0,45; $p < 0,07$). Ao final das 12 semanas de treinamento, com exceção do grupo C ($2,5 \pm 6,2\%$; TE: 0,22; $p > 0,71$), todos os grupos experimentais aumentaram a ASTM com relação aos valores pré-teste. Foram verificados aumentos de ($8,1 \pm 2,6\%$; TE: 0,82, $p < 0,0001$) para o grupo GNP, ($11,3 \pm 6,0\%$; TE: 1,28, $p < 0,0001$) para o grupo GPL e de ($8,7 \pm 3,2\%$, TE: 0,68, $p < 0,0001$) para o grupo GPO. Somente o grupo GPL demonstrou alteração significativa ($6,4 \pm 5,1\%$, TE: 0,65; $p < 0,0002$) para os valores de ASTM entre as semanas seis e doze. Por outro lado, não foram detectadas alterações significantes na ASTM para os outros grupos entre as semanas seis e doze ($2,7 \pm 0,5\%$, TE: $0,22 \pm 0,15$; $p > 0,21$). Adicionalmente, como pode ser visualizado na FIGURA 8, os indivíduos nos diferentes grupos demonstraram um padrão distinto no comportamento da ASTM do músculo quadríceps ao longo do período de treinamento. Após uma análise exploratória, na qual os ganhos percentuais foram ranqueados em quartis, foi possível observar que dos oito indivíduos acima do terceiro quartil (*i.e.*; ganho médio 11,3), cinco eram do grupo GPL (Figura 9).

FIGURA 7 – Valores de área de secção transversa muscular do quadríceps (ASTM) (média $\pm$ DP). * - $p < 0,05$ diferença significantes com relação aos valores pré-treinamento. #- $p < 0,05$ diferença significantes com relação aos valores de seis semanas. GNP- grupo não-periodizado, GPL- grupo periodizado-linear, GPO- grupo periodizado-ondulatório.

FIGURA 8 – Valores individuais de área de secção transversa muscular (ASTM) da musculatura do quadríceps femoral nos momentos pré-treinamento (Pré), 6-semanas e 12-semanas. GNP- grupo não-periodizado, GPL- grupo periodizado-linear, GPO- grupo periodizado-ondulado.

FIGURA 9 – Valores individuais e os respectivos quartis para os ganhos percentuais na ASTM.

5.4. Componentes da sinalização celular associados à síntese proteica

Das proteínas analisadas, nenhuma apresentou diferença significativa pré-treinamento vs. os momentos pós-treinamento ($p > 0,05$) (FIGURAS 10, 11, 12 e 13). Apesar da Figura 13 demonstrar um determinado comportamento, que foi a maior fosforilação da 4E-BP1^{Thr70} para todos os grupos 24 h após a primeira sessão, o modelo misto aplicado não conseguiu identificar essas diferenças, o que indica um baixo poder estatístico.

FIGURA 10 – Expressão proteica da mTOR em relação aos valores pré-treinamento
 —————| 24-horas (A) - agudo-agudo, 24-horas (C) – agudo-crônico, 168-
 horas – 7 dias após a última sessão de treinamento. GNP – Grupo não-periodizado,
 GPL- Grupo periodizado linear, GPO – Grupo periodizado ondulatório.

FIGURA 11 – Expressão proteica da p70^{S6K1} em relação aos valores pré-treinamento ———— 24-horas (A) - agudo-agudo, 24-horas (C) – agudo-crônico, 168-horas – 7 dias após a última sessão de treinamento. GNP – Grupo não-periodizado, GPL- Grupo periodizado linear, GPO – Grupo periodizado ondulatório.

FIGURA 12 – Expressão proteica da 4E-BP1 em relação aos valores pré-treinamento

—————| 24-horas (A) - agudo-agudo, 24-horas (C) – agudo-crônico, 168-horas – 7 dias após a última sessão de treinamento. GNP – Grupo não-periodizado, GPL- Grupo periodizado linear, GPO – Grupo periodizado ondulatório.

FIGURA 13 – Expressão proteica da P.4E-BP1^{Thr70} em relação aos valores pré-treinamento ————— 24-horas (A) - agudo-agudo, 24-horas (C) – agudo-crônico, 168-horas – 7 dias após a última sessão de treinamento. GNP – Grupo não-periodizado, GPL- Grupo periodizado linear, GPO – Grupo periodizado ondulatório.

6. DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo principal verificar o efeito de diferentes modelos de TF periodizados e não periodizado na ASTM e na produção de força

máxima da musculatura esquelética. Adicionalmente, objetivou verificar qual o efeito produzido pelos modelos de treinamento PER e NPER utilizados em TF nos componentes da sinalização celular associados à síntese proteica, frente a uma sessão de TF padronizada no início (*i.e.*; agudo-agudo) e ao final dos protocolos de treinamento (*i.e.*; agudo-crônico). Os resultados demonstraram que, apesar de incrementos distintos ao longo do período de treino, todos os grupos experimentais exibiram ganhos similares na produção de força dinâmica máxima e na hipertrofia muscular após as 12 semanas de treinamento. Adicionalmente, o grupo GPL foi o único a demonstrar aumento significativo na ASTM entre as semanas seis e doze. Além disso, o conteúdo total das proteínas mTOR, p70^{S6K1}, 4E-BP1 E 4E-BP1 fosforilada no resíduo Thr 70 não demonstraram alterações significantes com relação aos valores de expressão visualizados no momento pré-treinamento.

Para facilitar o entendimento da presente discussão, ela foi dividida em três partes.

6.1. Efeitos de Modelos Periodizados e Não-periodizados do Treinamento de Força na Produção de Força Muscular.

Com relação à força dinâmica máxima, apesar de um padrão distinto entre os tratamentos que pode ser visualizado na figura com as respostas individuais (FIGURA 6). Um dos principais achados, é que após as 12 semanas de treinamento, os três grupos experimentais demonstraram ganhos similares na produção de força muscular (~ 20%). Os dados do presente estudo diferem em alguns aspectos, daqueles reportados na literatura sobre os efeitos dos modelos PER nas adaptações musculares. Primeiro, em relação à alteração não significativa no ganho de força do grupo GPL após a primeira metade do estudo (*i.e.*, 6 semanas). E também, com relação aos valores percentuais médios menores que foram observados para os ganhos de força muscular quando comparados aos outros estudos sobre a mesma temática (HERRICK e STONE, 1996; BUFORD *et al.*, 2007; MONTEIRO *et al.*, 2009; APEL, LACEY e KELL, 2011).

Embora os dados do presente estudo demonstrem que os grupos GNP e GPO foram eficientes em promover aumentos na força máxima após as seis semanas

iniciais de treinamento, o grupo GPL não demonstrou alteração significativa após esse período. Esses dados vão de encontro àqueles reportados na literatura, que demonstraram que os modelos PL e PO promovem maiores ganhos na força motora quando comparados aos modelos NPER (HERRICK e STONE, 1996; MONTEIRO *et al.*, 2009). É importante destacar que apesar dos grupos experimentais terem sido equalizados pelo volume total, o grupo GPL treinou com uma intensidade menor que os demais grupos experimentais durante as quatro das seis semanas iniciais de treinamento (*i.e.*; 12RM). Por outro lado, os grupos GNP e GPO realizaram a maioria das sessões durante o primeiro mesociclo e a metade do segundo com intensidades entre 6-8RM. Provavelmente, o fato de ter treinado com menor intensidade, pode ter afetado os ganhos de força na primeira metade do estudo do grupo GPL. Os estudos que utilizaram modelos de PL e que reportaram ganhos de força significantes nas 6-8 semanas iniciais de treinamento sustentam esta argumentação (HERRICK e STONE, 1996; BUFORD *et al.*, 2007; MONTEIRO *et al.*, 2009; APEL, LACEY e KELL, 2011). Por exemplo, no estudo de BUFORD *et al.* (2007), o grupo PL treinou com intensidade variando entre 6-8RM durante as seis semanas iniciais, enquanto no estudo de APEL *et al.* (2011) o grupo PL treinou com variação entre 6-12RM na fase inicial. Apesar de parecida com a intensidade empregada no presente estudo, os indivíduos treinaram mais semanas com intensidades elevadas na primeira metade do protocolo. Em ambos os trabalhos supracitados foram detectados aumentos significantes para os ganhos de força dinâmica máxima na primeira metade dos dois estudos nos grupos que utilizaram o modelo PL. Adicionalmente, os dados do presente estudo nos remetem a um dos mais importantes princípios do treinamento, o da especificidade. Nesse sentido, quando o treinamento é realizado por RMs, os ganhos de força máxima serão específicos ao número de repetições que a quantidade de peso permitir realizar (CAMPOS *et al.*, 2002). Dessa maneira, como os grupos GNP e GPO treinaram nas fases iniciais mais próximos de 1RM quando comparados ao grupo GPL, eles reportaram ganhos significantes na força máxima após as seis semanas de treinamento.

Por outro lado, ao final das doze semanas de treinamento, todos os grupos experimentais demonstraram ganhos similares na força máxima com relação aos valores pré-treinamento. Porém, os valores médios (~20%) reportados no presente

estudo são menores do que os observados na literatura (MARX, RATAMESS, NINDL, GOTSHALK, VOLEK, DOHI, BUSH, GOMEZ, MAZZETTI, FLECK, HAKKINEN, NEWTON e KRAEMER, 2001; BUFORD *et al.*, 2007). Por exemplo, BUFORD *et al.* (2007) compararam os efeitos de três modelos distintos de treinamento PER: um modelo PL e dois PO (ondulação diária ou semanal) nos ganhos de força máxima em indivíduos destreinados. O ganho percentual médio nos valores de 1RM dos três grupos após as nove semanas de treinamento foi de aproximadamente 88%, sem diferenças significantes entre os grupos experimentais. Esse maior efeito observado no estudo de BUFORD *et al.* (2007), quando comparado ao efeito reportado no presente estudo (e.g. 88% vs. 20%), precisa ser analisado com cautela. Primeiro, a ausência de um grupo controle impossibilita a análise da consistência dos testes de 1RM que foram realizados; segundo, os voluntários não foram submetidos à nenhuma familiarização e o efeito de aprendizagem ao teste de 1RM pode ter superestimado os achados para os ganhos de força dinâmica máxima no estudo de BUFORD *et al.* (2007).

Apesar de existir uma relação inversa bem estabelecida entre volume e intensidade, a quantidade de volume total poderia explicar as diferenças observadas entre os diferentes estudos sobre periodização. RHEA e ALDERMAN (2004) demonstraram em sua meta-análise que quando o volume e a intensidade não são controlados, os modelos PER produzem maiores efeitos nos ganhos de força máxima. Os autores também sugerem que esses maiores efeitos observados são devidos aos modelos PER permitirem sessões de treinamento com maiores volume e intensidade sem ocasionar o *overtraining*. De fato, tem sido demonstrado uma forte associação entre o volume total de treinamento e as mudanças nos valores de 1RM para homens e mulheres (e.g., R^2 : 0,95 e 0,97, respectivamente) (PETERSON, PISTILLI, HAFF, HOFFMAN e GORDON, 2011).

BUFORD *et al.* (2007), apesar da duração um pouco menor de treinamento, quando comparado a esse estudo, utilizaram uma frequência maior de treinamento (*i.e.*; três sessões semanais) e também utilizaram o *leg-press* como o exercício principal. Apesar dos autores não reportarem familiarização para os testes de 1RM, essas duas características, que diferem do presente estudo, podem ter gerado um maior volume total de treinamento. O que dá suporte para a afirmação acima sobre o

volume total produzido e os maiores efeitos nos ganhos de força máxima observados nos modelos PER, é que o presente estudo demonstrou valores médios maiores para os ganhos de força máxima quando comparado aos outros de periodização que utilizaram menores volume de treinamento (SCHLOTZ *et al.*, 1998; STONE, POTTEIGER, PIERCE, PROULX, O'BRYANT, JOHNSON e STONE, 2000). Por exemplo, STONE *et al.* (2000) submeteram indivíduos a 12 semanas de intervenção utilizando três modelos distintos de treinamento, sendo dois modelos PER e um modelo NPER. E com o critério de inclusão 1RM inicial > 110kg e > que 1,3 da massa corporal. Os três grupos treinavam o exercício agachamento duas vezes por semanas e o número total de repetições usados pelos grupos de treinamento, foi menor que o número de repetições usado no presente estudo (*e.g.*; 590-732 vs. 970-976 repetições). Ao final do estudo de STONE *et al.* (2000), os modelos PER foram mais eficientes em produzir ganhos na força motora quando comparados ao modelo NPER (*i.e.*; ~15.5 vs. 9.9%), respectivamente. Contudo, os protocolos do presente estudo que treinaram com volumes maiores que os protocolos de STONE *et al.* (2000) produziram maiores efeitos médios nos ganhos de força dinâmica máxima (*i.e.*; 20.0% vs. 13,7%). Ainda com relação ao volume de treinamento e os seus efeitos na força máxima. SCHLOTZ *et al.* (1998) submeteram indivíduos universitários envolvidos em treinamento militar, porém sem experiência em TF, a dois modelos de treinamento, um modelo PL e outro modelo NPER com duração de 10 semanas, sendo que cada grupo muscular era treinado duas vezes por semana. Após as dez semanas de treinamento não houve diferenças significantes entre os grupos para os valores de 1RM no exercício agachamento e os efeitos médios para a força máxima entre os dois grupos foi de 10,4% (SCHLOTZ *et al.*, 1998). Apesar do número de sessões de treinamento ser igual quando comparado ao presente estudo, o efeito médio observado no estudo de SCHLOTZ *et al.* (1998) foi a metade do efeito visualizado nos três grupos experimentais do presente estudo (10,4% vs. 20%), respectivamente. Adicionalmente, quando compara do a esse estudo, o volume total médio do estudo de SCHLOTZ *et al.* (1998) foi praticamente um terço do volume total médio (34,833kg vs. 98,914kg). Coletivamente, os dados acima, juntamente com os achados de BAKER *et al.* (1994) e HOFFMAN *et al.* (2009), indicam que, quando o volume total de treinamento é equalizado, não são observadas diferenças significantes para os ganhos de força

dinâmica máxima entre os diferentes modelos de periodização, assim como entre modelos PER e NPER, tanto em indivíduos destreinados, quanto em indivíduos treinados (BAKER, WILSON e CARLYSON, 1994; SCHIOTZ *et al.*, 1998; BUFORD *et al.*, 2007; HOFFMAN *et al.*, 2009). Contudo, é possível sugerir, que se esses mesmos modelos permitirem maiores volumes de treino ao longo do período de treinamento, poderão ser visualizados maiores efeitos para os ganhos de força máxima, independente do modelo empregado.

6.2.Efeitos de Modelos Periodizados e Não-periodizados em Treinamento de Força na Hipertrofia Muscular.

Com relação aos ganhos na hipertrofia muscular, um dos principais achados do presente estudo é que após as 12 semanas de treinamento todos os grupos experimentais demonstrarem ganhos similares na ASTM (~ 9,5%). Adicionalmente, o único grupo que demonstrou aumento significativo entre as semanas seis e doze foi o grupo GPL. Apesar da falta de interação entre os tratamentos, o TE do GPL após o período de treinamento foi pelo menos 50% maior (TE: 1.28) quando comparado aos grupos GNP e GPO (TE: 0,82 e 0,68, respectivamente). Baseado nessa resposta do grupo GPL, uma análise exploratória foi realizada com o objetivo de entender melhor o comportamento dos dados de ASTM em resposta aos modelos de treinamento empregados. O valor mediano (*i.e.*; segundo quartil) para o aumento da ASTM do quadríceps foi de 8,4%. O terceiro quartil para os dados agrupados foi de 11,3% e oito indivíduos estavam acima do terceiro quartil, sendo cinco deles do grupo GPL. Esses achados são relevantes, uma vez que, os valores de ASTM dos grupos experimentais no momento pré-treinamento eram muito semelhantes.

Alguns autores têm sugerido que os modelos PER seriam mais eficientes que os modelos NPER para promover a hipertrofia muscular. Porém, vale ressaltar que até o presente momento, esses estudos têm utilizado indicativos indiretos do aumento na massa muscular como a massa livre de gordura (KRAEMER *et al.*, 2000; KRAEMER *et al.*, 2003; PRESTES *et al.*, 2009) ou a espessura muscular (SIMAO *et al.*, 2012). É inegável que esses estudos forneceram um indicativo positivo do aumento da massa

muscular favorável aos modelos PER. Contudo, como eles não acessaram diretamente a hipertrofia muscular por meio da ASTM, isso dificulta o conhecimento do efeito induzido por diferentes modelos empregados em TF na ASTM. Por exemplo, PRESTES et al. (2009) demonstraram que após nove semanas de treinamento, o grupo PL demonstrou um aumento significativo de 7,7% na massa magra, enquanto o grupo PL reverso demonstrou um aumento não significativo de 3,1% na massa magra. Baseado nesses achados, os autores concluíram que o modelo PL foi mais eficiente em promover alterações positivas na resposta hipertrófica. Porém, os autores avaliaram apenas a massa magra por meio do método de dobras cutâneas, que é um método duplamente indireto para avaliação da composição corporal. Ainda com relação aos achados de PRESTES et al. (2009), a falta de um grupo de periodização ondulatória e um grupo controle/NPER não permite visualizar se a hipertrofia muscular seria diferente em resposta aos diferentes modelos PER frente à um modelo NPER, por exemplo. Em outro estudo, SIMÃO et al. (2012) compararam os efeitos que os modelos PL e PO produziram na espessura muscular dos flexores e dos extensores do cotovelo após 12 semanas de treinamento. Após o período de treinamento somente o grupo PO demonstrou aumento de 4,2% para a espessura muscular dos flexores do cotovelo e ambos os grupos PL e PO demonstraram aumentos de 9,1% e 5,7%, respectivamente para a espessura muscular dos extensores do cotovelo. É importante ressaltar que esses aumentos não foram significantes, mas ambos os grupos demonstraram valores de espessura muscular, maiores quando comparados aos valores do grupo controle/ não treinado. Apesar da falta de diferença significativa entre os momentos pré e pós-treinamento para ambos os grupos experimentais, baseados nos TE maiores da musculatura flexora do cotovelo para o grupo PO quando comparado ao grupo PL (e.g., 0,61 vs. 0,35), os autores concluíram que o modelo PO foi mais eficiente em otimizar a resposta hipertrófica quando comparado ao modelo PL. Mais uma vez, é importante ressaltar que os TE reportados são considerados trivial-pequeno. E ainda com relação ao método para acessar a hipertrofia muscular no estudo de SIMÃO et al. (2012), a espessura muscular avaliada, que apesar de sugestivo para o incremento de proteínas contráteis, ilustra apenas um plano da mudança que ocorre na musculatura esquelética em resposta ao TF.

Nesse sentido, é preciso ressaltar que até o presente momento esse é o segundo trabalho que avaliou a ASTM do quadríceps (KOK, HAMER e BISHOP, 2009) e o único que utilizou um método considerado padrão ouro para a medida da hipertrofia muscular em resposta aos diferentes modelos PER e NPER empregados em TF.

O primeiro estudo que avaliou o efeito que diferentes modelos PER promovem na ASTM do reto femoral foi de KOK et al. (2009). Nesse estudo, os pesquisadores submeteram mulheres jovens ($20,2 \pm 2$ anos) e que estavam envolvidas em diferentes modalidades esportivas em caráter recreacional a dois modelos distintos de treinamento, um PL e outro PO. A duração do estudo foi de nove semanas, frequência semanal de três sessões e o volume total foi equalizado entre os grupos. Após o período experimental, os grupos PL e PO demonstraram aumentos significantes na ASTM do músculo reto femoral (8,7% e 14,8%, respectivamente), sem diferença entre os grupos. Os autores também relataram que o maior ganho médio na ASTM do reto femoral foi observado durante fase inicial no grupo que utilizou o modelo PL. Por outro lado, na segunda metade do estudo, o maior valor médio na ASTM foi observado em resposta ao modelo PO (KOK, HAMER e BISHOP, 2009). Os achados de KOK et al. (2009) com relação à dinâmica do aumento da ASTM são contrários aos que foram observados no presente estudo.

Coletivamente, esses dados nos levam à uma discussão bem ampla sobre o papel da modulação da intensidade e do volume empregados no TF e os seus efeitos na hipertrofia muscular. Primeiro, é preciso entender o porquê a resposta dos modelos empregados por KOK et al. (2009) foi contrária ao observado no presente estudo. Por exemplo, no presente estudo o grupo GPL foi o que demonstrou o maior valor médio de aumento da ASTM entre as semanas seis e doze. Por outro lado, no estudo de KOK et al. (2009) o grupo PL demonstrou o maior valor médio de aumento da ASTM na primeira metade do estudo. No estudo de KOK et al. (2009), o volume total também foi equalizado entre os grupos PL e PO. Porém, no último mesociclo (*i.e.*; últimas três semanas) do grupo PL, os autores optaram por intensidades menores de treinamento (3X8 30-40% 1RM) e que não foram realizadas até a exaustão. Por outro lado, no mesmo período, as três sessões semanais do grupo PO foram compostas por intensidades mais altas, variando entre 40-90% e volume entre 3x 6-10RM. Uma vez que essas características podem ter produzido um volume total menor, pelo menos

no último período e ainda o fato da amplitude de repetições utilizada pelo grupo PL estar fora da amplitude conhecida em otimizar a síntese proteica (e.g.; < 60%-90% de 1RM). Provavelmente, essas características podem ter influenciado a menor resposta observada na ASTM do grupo PL na segunda metade do estudo supracitado. Os achados de KUMAR et al. (2009) demonstrando que acontece um pequeno aumento na taxa de síntese proteica em respostas às sessões de TF com intensidades entre 20 e 40% de 1RM. E com intensidade a 60% de 1RM ocorre um aumento mais acentuado da taxa de síntese, e um platô na taxa de síntese entre as intensidades de 60-90% de 1RM podem justificar essa menor resposta observada no estudo de KOK et al. (2009), pois como foi destacado acima, os indivíduos do grupo PL treinaram com intensidade ao redor de 40% de 1RM no último mesociclo.

Adicionalmente, os achados acima vão de encontro a evidências recentes que demonstram que a hipertrofia muscular é semelhante quando protocolos de TF com intensidades distintas são comparados (TANIMOTO e ISHII, 2006; MITCHELL *et al.*, 2012). Dessa maneira, com relação ao melhor método ou modelo de periodização para otimizar o crescimento muscular, a literatura corrente ainda não aponta um modelo específico para otimizar os ganhos na ASTM. Por exemplo, MITCHELL et al (2012) observaram ganhos similares na ASTM da coxa em indivíduos submetidos a treinamento com intensidades de 30% e 80% de 1RM (e.g., 30%: 6.8% e 80%: 7.2%). Porém, os autores não equalizaram o volume total de treinamento e provavelmente a perna que treinou com 30% de 1RM, apesar da intensidade menor, realizou um volume total de treino muito maior do que a perna que treinou com 80% de 1RM. Outra informação importante sobre o estudo de MITCHELL et al (2012), foi que os autores ainda tinham mais uma condição experimental na qual a intensidade de 80% foi treinada com somente uma série. É fato, que nessa condição, o volume foi bem menor quando comparado às condições 30% e 80% que foram realizadas em três séries até exaustão. Quando verificado o efeito na hipertrofia muscular na condição uma série-80%, apesar da falta de diferença significativa entre os tratamentos, essa condição reportou metade do efeito para a hipertrofia muscular (3.2%) quando comparado ao efeito produzido nas outras duas condições que treinaram com três séries. Em outro estudo, TANIMOTO e ISHII (2006) comparam os efeitos de três modelos distintos de TF na ASTM da coxa de indivíduos jovens. Os modelos de treinamento foram o LST,

que treinou a 50% de 1RM, sendo três segundos na fase excêntrica, três segundos na concêntrica e um segundo de repouso entre as duas ações musculares. O grupo HN, que treinou a 80% de 1RM e realizou as ações musculares na velocidade de um segundo para cada ação e por fim, o grupo LN que treinou a 50% de 1RM, e também com um segundo para cada ação muscular. Todos os grupos realizaram 3 x 8. Ao final das doze semanas, ambos os grupos LST e HN demonstraram ganhos médios similares para a hipertrofia muscular (~ 4,5%) e ambos os grupos demonstraram ASTM maior que o grupo LN o qual não demonstrou alteração significativa após as 12 semanas de treinamento (TANIMOTO e ISHII, 2006). Os autores concluíram que a baixa intensidade em TF somada à velocidade de execução menor promovem ganhos similares na ASTM. Contudo, novamente os autores não consideraram uma variável importante que pode ter influenciado os seus achados. O tempo sob tensão da musculatura, que foi três vezes maior para o grupo LST, que levava seis segundos para realizar cada repetição comparado ao grupo HN que levava apenas dois segundos para efetuar cada repetição.

Nesse sentido, quando os modelos de intensidades menores empregados no TF produzem ganhos similares às intensidades maiores na hipertrofia muscular, variáveis importantes como o tempo sob tensão e o volume total produzido não são consideradas. Esses achados sobre intensidade e TF são importantes para discutir os dados do presente estudo e de KOK et al (2009). Uma característica comum aos dois estudos que utilizaram modelos PER foi que os maiores efeitos observados na hipertrofia muscular aconteceram naqueles mesociclos nos quais os grupos experimentais treinaram com maior intensidade. Adicionalmente, CAMPOS et al. (2002) em condições com o volume total equalizado, demonstraram alterações significantes para a AST das fibras musculares em resposta aos dois modelos de treinamento que treinaram com intensidade entre 3-11RM, e por outro lado, os autores não detectaram mudanças na hipertrofia com intensidade entre 20-28RM. Coletivamente, os achados apresentados demonstram que pode haver uma relação ótima entre a intensidade e o volume total para promover a hipertrofia muscular. Dessa maneira, é possível sugerir que os modelos PER e os outros modelos que são empregados em TF objetivando a hipertrofia muscular, apesar da eficiência

comprovada, esses modelos ainda não estabeleceram a relação ótima entre o volume total e a intensidade de treinamento para otimizar os ganhos na hipertrofia muscular.

6.3.Efeitos de Modelos Periodizados e Não-periodizados nos Componentes da Sinalização Celular associados à Síntese Proteica.

As expressões das proteínas mTOR, p70^{S6K1}, 4E-BP1 e p.4E-BP1^{Thr70} nos momentos 24 h após a primeira sessão (*i.e.*; agudo-agudo), 24 h (*i.e.*; agudo-crônico) e 168 h (*i.e.*; repouso pós-treinamento) após a última sessão foram comparadas com os valores de expressão proteica no momento pré-treinamento (*i.e.*; repouso-pré). É preciso ressaltar que, o modelo e a quantidade de biópsias adotados tiveram como objetivo, primeiro: identificar as respostas agudas nos componentes da sinalização celular associados à síntese de proteínas contráteis frente à uma sessão padronizada de TF, que foi realizada por grupos que seriam submetidos aos diferentes protocolos de treinamento e ainda, analisar se esse efeito agudo teria associação com o processo adaptativo visualizado ao final dos diferentes protocolos de TF que foram empregados. Segundo: analisar se os diferentes modelos de treinamento empregados (*e.g.*, PER e NPER) poderiam modular a sensibilidade das proteínas analisadas de maneira distinta. Porém, quando comparados aos valores de expressão proteica que foram obtidos na primeira biópsia, não foram observadas diferenças significantes em nenhum dos momentos. Contudo, não é possível afirmar que os diferentes modelos de treinamento empregados no presente estudo não exerceram nenhum efeito nas vias de sinalização celular que foram estudadas. Uma vez que, devido aos fatores temporais induzidos pela alta mortalidade experimental desse estudo, fato diretamente associado ao número de biópsias que foram realizadas em seres humanos e que até o presente momento, foi inédito em nosso país, somente uma parte das amostras disponíveis foi analisada. E também, as proteínas selecionadas nesse estudo têm demonstrado aumentos em seus valores de expressão após protocolos crônicos de TF.

Por exemplo, LEGER et al. (2006) também demonstraram alterações na fosforilação das proteínas Akt e da mTOR nos resíduos Ser473 e Ser 2448 após oito semanas de TF que resultaram em 10% de hipertrofia muscular (LEGER et al., 2006).

Em outro estudo, TERZIS *et al* (2006) demonstraram uma forte associação (*e.g.*, $R=0,82$) entre a fosforilação da $p70^{S6K1}$ no resíduo Thr 389 24 horas após a primeira sessão de TF e o aumento das AST das fibras musculares após as 16 semanas de TF (TERZIS *et al.*, 2008). Esses achados são sugestivos que os componentes da via Akt/mTOR/ $p70^{S6K1}$ estão envolvidos nos eventos que promovem o acréscimo de proteínas contráteis na musculatura esquelética em resposta aos protocolos utilizados em TF.

Ao analisar os dados do presente estudo, é possível identificar um comportamento comum entre os grupos. Por exemplo, 24 horas após a primeira sessão, todos os grupos demonstraram pelo menos, 50% de aumento na fosforilação da 4E-BP1 no resíduo Thr 70 que é fosforilado pela mTOR (FIGURA 13). Apesar da falta de diferença estatística, podemos considerar esse achado importante, uma vez que quando a demanda para a tradução é baixa, o fator de iniciação da tradução eIF4E que é primordial para o processo de tradução do RNA mensageiro (SHAH, ANTHONY, KIMBALL e JEFFERSON, 2000). Nessas condições, o eIF4E é sequestrado pela família das proteínas ligadas ao fator de iniciação eucarioto 4E (*e.g.* 4E-BPs). Por outro lado, a fosforilação da 4E-BP1 pela mTOR é um evento importante para o início da síntese proteica, pois a mTOR inibe a interação da 4E-BP1 com o eIF4E. Adicionalmente, após 16 semanas de TF realizado em homens jovens, apesar dos autores não reportarem correlação entre a taxa de síntese proteica e a fosforilação da 4E-BP1, foi demonstrado uma correlação significativa entre a fosforilação da 4E-BP1 e a hipertrofia muscular induzida pelo TF (MITCHELL *et al.*, 2014). Coletivamente, esses achados sugerem que o nível de fosforilação da 4E-BP1 em resposta à primeira sessão de treinamento, poderia indicar a hipertrofia muscular induzida pelo TF.

Também no presente estudo, não pode ser descartado que o baixo número de amostras utilizadas para a quantificação da expressão proteica pode ter resultado na queda de poder estatístico da análise, uma vez que para as análises de expressão proteica, não foi usado o mesmo N que foi utilizado para as análises das outras variáveis dependentes (*i.e.*, força máxima e ASTM). Esses fatores somados ainda, a alta variabilidade inter-indivíduos podem ter comprometido o poder estatístico do modelo misto que foi empregado dificultando que essas alterações alcançassem significância estatística estabelecida *a priori*.

7. CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo demonstraram que os modelos de treinamento NPER e PER empregados foram eficientes em promover ganhos na força dinâmica máxima e na hipertrofia muscular. Por outro lado, não foram detectadas alterações significantes nas vias de sinalização celular que pudessem estabelecer alguma associação entre o efeito que os modelos de TF promovem na expressão dessas proteínas com a hipertrofia muscular que foi reportada pelo presente estudo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, P.; ANDERSEN, J. L.; DYHRE-POULSEN, P.; LEFFERS, A. M.; WAGNER, A.; MAGNUSSON, S. P.; HALKJAER-KRISTENSEN, J.; SIMONSEN, E. B. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. **J Physiol**, v. 534, n. Pt. 2, p. 613-23, 2001.

ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 3, p. 687-708, 2009.

APEL, J. M.; LACEY, R. M.; KELL, R. T. A comparison of traditional and weekly undulating periodized strength training programs with total volume and intensity equated. **J Strength Cond Res**, v. 25, n. 3, p. 694-703, 2011.

BAKER, D.; WILSON, G.; CARLYSON, R. Periodization: the effect on strength of manipulating volume and intensity. **J Strength Cond Res**, v. 8, n. 4, p. 235-242, 1994.

BAMMAN, M. M.; PETRELLA, J. K.; KIM, J. S.; MAYHEW, D. L.; CROSS, J. M. Cluster analysis tests the importance of myogenic gene expression during myofiber hypertrophy in humans. **J Appl Physiol (1985)**, v. 102, n. 6, p. 2232-9, 2007.

BAMMAN, M. M.; SHIPP, J. R.; JIANG, J.; GOWER, B. A.; HUNTER, G. R.; GOODMAN, A.; MCLAFFERTY, C. L., JR.; URBAN, R. J. Mechanical load increases muscle IGF-I and androgen receptor mRNA concentrations in humans. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 280, n. 3, p. E383-90, 2001.

BARTOLOMEI, S.; HOFFMAN, J. R.; MERNI, F.; STOUT, J. R. A comparison of traditional and block periodized strength training programs in trained athletes. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 4, p. 990-7, 2014.

BODINE, S. C. mTOR signaling and the molecular adaptation to resistance exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38, n. 11, p. 1950-7, 2006.

BODINE, S. C.; STITT, T. N.; GONZALEZ, M.; KLINE, W. O.; STOVER, G. L.; BAUERLEIN, R.; ZLOTCHENKO, E.; SCRIMGEOUR, A.; LAWRENCE, J. C.; GLASS, D. J.; YANCOPOULOS, G. D. Akt/mTOR pathway is a crucial regulator of skeletal muscle hypertrophy and can prevent muscle atrophy in vivo. **Nat Cell Biol**, v. 3, n. 11, p. 1014-9, 2001.

BROWN, L. E.; WEIR, J. P. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. **JEPonline**, v. 4, p. 1-21, 2001.

BUFORD, T. W.; ROSSI, S. J.; SMITH, D. B.; WARREN, A. J. A comparison of periodization models during nine weeks with equated volume and intensity for strength. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 4, p. 1245-50, 2007.

CAMPOS, G. E.; LUECKE, T. J.; WENDELN, H. K.; TOMA, K.; HAGERMAN, F. C.; MURRAY, T. F.; RAGG, K. E.; RATAMESS, N. A.; KRAEMER, W. J.; STARON, R. S. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, n. 1-2, p. 50-60, 2002.

CHEEMA, B. S.; CHAN, D.; FAHEY, P.; ATLANTIS, E. Effect of Progressive Resistance Training on Measures of Skeletal Muscle Hypertrophy, Muscular Strength

and Health-Related Quality of Life in Patients with Chronic Kidney Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Med**, 2014.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. Second. Hillsdale, N.J: 1988.

CUTHBERTSON, D. J.; BABRAJ, J.; SMITH, K.; WILKES, E.; FEDELE, M. J.; ESSER, K.; RENNIE, M. Anabolic signaling and protein synthesis in human skeletal muscle after dynamic shortening or lengthening exercise. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 290, n. 4, p. E731-8, 2006.

DE SOUZA, E. O.; TRICOLI, V.; PAULO, A. C.; SILVA-BATISTA, C.; CARDOSO, R. K.; BRUM, P. C.; BACURAU, A. V.; LAURENTINO, G.; NEVES-JR, M.; AIHARA, A. Y.; UGRINOWITSCH, C. Multivariate analysis in the maximum strength performance. **Int J Sports Med**, v. 33, n. 12, p. 970-4, 2012.

DE SOUZA, E. O.; TRICOLI, V.; ROSCHEL, H.; BRUM, P. C.; BACURAU, A. V.; FERREIRA, J. C.; AOKI, M. S.; NEVES-JR, M.; AIHARA, A. Y.; DA ROCHA CORREA FERNANDES, A.; UGRINOWITSCH, C. Molecular adaptations to concurrent training. **Int J Sports Med**, v. 34, n. 3, p. 207-13, 2013.

DREYER, H. C.; FUJITA, S.; CADENAS, J. G.; CHINKES, D. L.; VOLPI, E.; RASMUSSEN, B. B. Resistance exercise increases AMPK activity and reduces 4E-BP1 phosphorylation and protein synthesis in human skeletal muscle. **J Physiol**, v. 576, n. Pt 2, p. 613-24, 2006.

FLECK, S. J. Non-linear periodization for general fitness & athletes. **J Hum Kinet**, v. 29A, p. 41-5, 2011.

FONSECA, R. M.; ROSCHEL, H.; TRICOLI, V.; DE SOUZA, E. O.; WILSON, J. M.; LAURENTINO, G. C.; AIHARA, A. Y.; DE SOUZA LEO, A. R.; UGRINOWITSCH, C. Changes in exercises are more effective than in loading schemes to improve muscle strength. **J Strength Cond Res**, 2014.

HAMEED, M.; LANGE, K. H.; ANDERSEN, J. L.; SCHJERLING, P.; KJAER, M.; HARRIDGE, S. D.; GOLDSPINK, G. The effect of recombinant human growth hormone and resistance training on IGF-I mRNA expression in the muscles of elderly men. **J Physiol**, v. 555, n. Pt 1, p. 231-40, 2004.

HARA, K.; YONEZAWA, K.; KOZLOWSKI, M. T.; SUGIMOTO, T.; ANDRABI, K.; WENG, Q. P.; KASUGA, M.; NISHIMOTO, I.; AVRUCH, J. Regulation of eIF-4E BP1 phosphorylation by mTOR. **J Biol Chem**, v. 272, n. 42, p. 26457-63, 1997.

HERRICK; STONE. The Effects of Periodization Versus Progressive Resistance Exercise on Upper and Lower Body Strength in Women. **J Strength Cond Res** v. 10, p. 72-76, 1996.

HOFFMAN, J. R.; RATAMESS, N. A.; KLATT, M.; FAIGENBAUM, A. D.; ROSS, R. E.; TRANCHINA, N. M.; MCCURLEY, R. C.; KANG, J.; KRAEMER, W. J. Comparison between different off-season resistance training programs in Division III American college football players. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 1, p. 11-9, 2009.

KENNIS, E.; VERSCHUEREN, S. M.; BOGAERTS, A.; VAN ROIE, E.; BOONEN, S.; DELECLUSE, C. Long-term impact of strength training on muscle strength characteristics in older adults. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 94, n. 11, p. 2054-60, 2013.

KOK, L. Y.; HAMER, P. W.; BISHOP, D. J. Enhancing muscular qualities in untrained women: linear versus undulating periodization. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 9, p. 1797-807, 2009.

KOOPMAN, R.; ZORENC, A. H.; GRANSIER, R. J.; CAMERON-SMITH, D.; VAN LOON, L. J. Increase in S6K1 phosphorylation in human skeletal muscle following resistance exercise occurs mainly in type II muscle fibers. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 290, n. 6, p. E1245-52, 2006.

KRAEMER, W. J.; HAKKINEN, K.; TRIPLETT-MCBRIDE, N. T.; FRY, A. C.; KOZIRIS, L. P.; RATAMESS, N. A.; BAUER, J. E.; VOLEK, J. S.; MCCONNELL, T.; NEWTON, R. U.; GORDON, S. E.; CUMMINGS, D.; HAUTH, J.; PULLO, F.; LYNCH, J. M.; FLECK, S. J.; MAZZETTI, S. A.; KNUTTGEN, H. G. Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players. **Med Sci Sports Exerc**, v. 35, n. 1, p. 157-68, 2003.

KRAEMER, W. J.; NINDL, B. C.; RATAMESS, N. A.; GOTSHALK, L. A.; VOLEK, J. S.; FLECK, S. J.; NEWTON, R. U.; HAKKINEN, K. Changes in muscle hypertrophy in women with periodized resistance training. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36, n. 4, p. 697-708, 2004.

KRAEMER, W. J.; RATAMESS, N.; FRY, A. C.; TRIPLETT-MCBRIDE, T.; KOZIRIS, L. P.; BAUER, J. A.; LYNCH, J. M.; FLECK, S. J. Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. **Am J Sports Med**, v. 28, n. 5, p. 626-33, 2000.

KUBICA, N.; BOLSTER, D. R.; FARRELL, P. A.; KIMBALL, S. R.; JEFFERSON, L. S. Resistance exercise increases muscle protein synthesis and translation of eukaryotic initiation factor 2Bepsilon mRNA in a mammalian target of rapamycin-dependent manner. **J Biol Chem**, v. 280, n. 9, p. 7570-80, 2005.

KUMAR, V.; SELBY, A.; RANKIN, D.; PATEL, R.; ATHERTON, P.; HILDEBRANDT, W.; WILLIAMS, J.; SMITH, K.; SEYNNES, O.; HISCOCK, N.; RENNIE, M. J. Age-related differences in the dose-response relationship of muscle protein synthesis to resistance exercise in young and old men. **J Physiol**, v. 587, n. Pt 1, p. 211-7, 2009.

LAMAS, L.; AOKI, M. S.; UGRINOWITSCH, C.; CAMPOS, G. E.; REGAZZINI, M.; MORISCOT, A. S.; TRICOLI, V. Expression of genes related to muscle plasticity after strength and power training regimens. **Scand J Med Sci Sports**, v. 20, n. 2, p. 216-25, 2010.

LEGER, B.; CARTONI, R.; PRAZ, M.; LAMON, S.; DERIAZ, O.; CRETENAND, A.; GOBELET, C.; ROHMER, P.; KONZELMANN, M.; LUTHI, F.; RUSSELL, A. P. Akt signalling through GSK-3beta, mTOR and Foxo1 is involved in human skeletal muscle hypertrophy and atrophy. **J Physiol**, v. 576, n. Pt 3, p. 923-33, 2006.

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**, v. 33, n. 4, p. 635-43, 2001.

MITCHELL, C. J.; CHURCHWARD-VENNE, T. A.; BELLAMY, L.; PARISE, G.; BAKER, S. K.; PHILLIPS, S. M. Muscular and systemic correlates of resistance training-induced muscle hypertrophy. **PLoS One**, v. 8, n. 10, p. e78636, 2013.

MITCHELL, C. J.; CHURCHWARD-VENNE, T. A.; PARISE, G.; BELLAMY, L.; BAKER, S. K.; SMITH, K.; ATHERTON, P. J.; PHILLIPS, S. M. Acute post-exercise myofibrillar protein synthesis is not correlated with resistance training-induced muscle hypertrophy in young men. **PLoS One**, v. 9, n. 2, p. e89431, 2014.

MITCHELL, C. J.; CHURCHWARD-VENNE, T. A.; WEST, D. W.; BURD, N. A.; BREEN, L.; BAKER, S. K.; PHILLIPS, S. M. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. **J Appl Physiol** (1985), v. 113, n. 1, p. 71-7, 2012.

MONTEIRO, A. G.; AOKI, M. S.; EVANGELISTA, A. L.; ALVENO, D. A.; MONTEIRO, G. A.; PICARRO, C.; UGRINOWITSCH, C. Nonlinear periodization maximizes strength gains in split resistance training routines. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 4, p. 1321-6, 2009.

MURTON, A. J.; GREENHAFF, P. L. Resistance exercise and the mechanisms of muscle mass regulation in humans: acute effects on muscle protein turnover and the gaps in our understanding of chronic resistance exercise training adaptation. **Int J Biochem Cell Biol**, v. 45, n. 10, p. 2209-14, 2013.

PETERSON, M. D.; PISTILLI, E.; HAFF, G. G.; HOFFMAN, E. P.; GORDON, P. M. Progression of volume load and muscular adaptation during resistance exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 111, n. 6, p. 1063-71, 2011.

PHILLIPS, S. M.; TIPTON, K. D.; AARSLAND, A.; WOLF, S. E.; WOLFE, R. R. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. **Am J Physiol**, v. 273, n. 1 Pt 1, p. E99-107, 1997.

POLQUIN, C. Five steps to increase the effectiveness of your strength training program. **NSCA Journal**, v. 10, n. 3, p. 34-39, 1998.

PRESTES, J.; DE LIMA, C.; FROLLINI, A. B.; DONATTO, F. F.; CONTE, M. Comparison of linear and reverse linear periodization effects on maximal strength and body composition. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 1, p. 266-74, 2009.

RHEA, M. R.; ALDERMAN, B. L. A meta-analysis of periodized versus nonperiodized strength and power training programs. **Res Q Exerc Sport**, v. 75, n. 4, p. 413-22, 2004.

RHEA, M. R.; BALL, S. D.; PHILLIPS, W. T.; BURKETT, L. N. A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for strength. **J Strength Cond Res**, v. 16, n. 2, p. 250-5, 2002.

SALE, D. G. Neural adaptation to resistance training. **Med Sci Sports Exerc**, v. 20, p. 135-145, 1988.

SATO, K.; IEMITSU, M.; MATSUTANI, K.; KURIHARA, T.; HAMAOKA, T.; FUJITA, S. Resistance training restores muscle sex steroid hormone steroidogenesis in older men. **FASEB J**, 2014.

SCHIOTZ, M. K.; POTTEIGER, J. A.; HUNTSINGER, P. G.; DENMARK, D. C. The Short-Term Effects of Periodized and Constant-Intensity Training on Body Composition, Strength, and Performance. **J Strength Cond Res**, v. 12, n. 3, p. 173-178, 1998.

SEYNNES, O. R.; DE BOER, M.; NARICI, M. V. Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. **J Appl Physiol (1985)**, v. 102, n. 1, p. 368-73, 2007.

SHAH, O. J.; ANTHONY, J. C.; KIMBALL, S. R.; JEFFERSON, L. S. 4E-BP1 and S6K1: translational integration sites for nutritional and hormonal information in muscle. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 279, n. 4, p. E715-29, 2000.

SILLANPAA, E.; LAAKSONEN, D. E.; HAKKINEN, A.; KARAVIRTA, L.; JENSEN, B.; KRAEMER, W. J.; NYMAN, K.; HAKKINEN, K. Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. **Eur J Appl Physiol**, v. 106, n. 2, p. 285-96, 2009.

SIMAO, R.; SPINETI, J.; DE SALLES, B. F.; MATTA, T.; FERNANDES, L.; FLECK, S. J.; RHEA, M. R.; STROM-OLSEN, H. E. Comparison between nonlinear and linear periodized resistance training: hypertrophic and strength effects. **J Strength Cond Res**, v. 26, n. 5, p. 1389-95, 2012.

SMITH, R. A.; MARTIN, G. J.; SZIVAK, T. K.; COMSTOCK, B. A.; DUNN-LEWIS, C.; HOOPER, D. R.; FLANAGAN, S. D.; LOONEY, D. P.; VOLEK, J. S.; MARESH, C. M.; KRAEMER, W. J. The effects of resistance training prioritization in NCAA Division I Football summer training. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 1, p. 14-22, 2014.

SPANGENBURG, E. E.; MCBRIDE, T. A. Inhibition of stretch-activated channels during eccentric muscle contraction attenuates p70S6K activation. **J Appl Physiol (1985)**, v. 100, n. 1, p. 129-35, 2006.

STONE, M. H.; POTTEIGER, J. A.; PIERCE, K. C.; PROULX, C. M.; O'BRYAN, H. S.; JOHNSON, R. L.; STONE, M. E. Comparison of the Effects of Three Different Weight-Training Programs on the One Repetition Maximum Squat. **J Strength Cond Res**, v. 14, n. 3, p. 332-337, 2000.

TANIMOTO, M.; ISHII, N. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. **J Appl Physiol (1985)**, v. 100, n. 4, p. 1150-7, 2006.

TERZIS, G.; GEORGIADIS, G.; STRATAKOS, G.; VOGIATZIS, I.; KAVOURAS, S.; MANTA, P.; MASCHER, H.; BLOMSTRAND, E. Resistance exercise-induced increase in muscle mass correlates with p70S6 kinase phosphorylation in human subjects. **Eur J Appl Physiol**, v. 102, n. 2, p. 145-52, 2008.

UGRINOWITSCH, C.; FELLINGHAM, G. W.; RICARD, M. D. Limitations of ordinary least squares models in analyzing repeated measures data. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36, n. 12, p. 2144-8, 2004.

WILLOUGHBY, D. S. The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength. **J Strength Cond Res**, v. 7, n. 1, p. 2-8, 1993.