UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

O efeito de diferentes volumes de treinamento de força nas adaptações funcionais e morfológicas da musculatura esquelética em indivíduos treinados

Diego Barretti

São Paulo

2016

DIEGO BARRETTI

O efeito de diferentes volumes de treinamento de força nas adaptações funcionais e morfológicas da musculatura esquelética em indivíduos treinados

VERSÃO CORRIGIDA

(versão original disponível no Serviço de Biblioteca)

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

Área de Concentração: Biodinâmica do Movimento Humano

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ugrinowitsch

São Paulo

2016

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.

Barretti, Diego

O efeito de diferentes volumes de treinamento de força nas adaptações funcionais e morfológicas de musculatura esquelética em indivíduos treinados / Diego Barretti. – São Paulo : [s.n.], 2016.

55p

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

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ugrinowitsch

1. Treinamento de força 2. Hipertrofia 3. Músculo esquelético I. Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: BARRETTI, Diego

Título: O efeito de diferentes volumes de treinamento de força nas adaptações funcionais e morfológicas da musculatura esquelética em indivíduos treinados.

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

Data:___/___/___

Banca Examinadora

Prof. Dr.:_____

Instituição:_____Julgamento:_____

Prof. Dr.:_____

Instituição:_____Julgamento:_____

Prof. Dr.:_____

Instituição:_____Julgamento:_____

Prof. Dr.:_____

Instituição:_____Julgamento:_____

Prof. Dr.:_____

Instituição:_____Julgamento:_____

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Carolina, que sempre esta ao meu lado me apoiando e incentivando em todas as decisões por mim escolhidas. A você, meu amor e gratidão!

Aos meus dois filhos, Luísa e Caio, que embora ainda pequenos me dão muita força nos momentos difíceis da minha vida, transmitindo todo o amor sincero de uma criança inocente. Amo muito vocês!

À minha mãe, que sempre me apoiou nos meus caminhos aconselhando e comemorando minhas conquistas.

Ao Prof. Dr. Valmor Tricoli e ao Prof. Dr. Hamilton Roschel que auxiliaram na construção do projeto e que sempre me proporcionaram um ambiente de aprendizado no laboratório, transmitindo conhecimento e experiência de vida.

Aos amigos e amigas do laboratório, que de uma forma ou de outra ajudaram no desenvolvimento do projeto, e me proporcionaram um ambiente agradável de amizade.

Aos amigos e familiares por ai espalhados, uns mais próximos, outros nem tanto, mas sempre perguntando como ia o andamento do doutorado.

Aos voluntários pela dedicação e comprometimento ao longo do projeto.

RESUMO

BARRETTI, D. **O efeito de diferentes volumes de treinamento de força nas adaptações funcionais e morfológicas da musculatura esquelética em indivíduos treinados.** 2016. 55f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2016.

O objetivo desse estudo foi verificar o efeito de diferentes volumes de treinamento de força na força máxima de membros inferiores e na hipertrofia do reto femoral e do vasto lateral após quatro, oito e doze semanas em indivíduos treinados em força. Vinte e seis indivíduos jovens saudáveis do sexo masculino (idade 23,6 ± 4,6 anos, massa corporal 76,6 ± 7,5 kg, estatura 1,75 ± 0,1 cm), com tempo médio de treinamento de força (4,7 ± 4,1 anos) foram divididos em três grupos experimentais, treinamento de força alto volume (TFAV, n = 8), treinamento de força médio volume (TFMV, n = 9) e treinamento de força baixo volume (TFBV, n = 9). As medidas de força dinâmica máxima (1RM) e de área de secção transversa muscular (ASTM) do reto femoral (RF) e do vasto lateral (VL) foram realizadas nos momentos pré-treinamento, pós quatro semanas, pós oito semanas e pós-treinamento. O volume total de treinamento apresentou aumento estatístico para todos os grupos TFAV ($p < 0,0001$), TFMV ($p < 0,0001$) e TFBV ($p < 0,0001$) ao longo do período experimental. Os valores de 1RM aumentaram de maneira significativa após a oitava semana de treinamento TFAV (11,8 ± 4,7%; $p < 0,0001$) e TFMV (12,1 ± 8,5%; $p < 0,0001$) e TFBV (9,6 ± 7,3%; $p < 0,001$) e no pós-treinamento TFAV (13,9 ± 3,9%; $p < 0,0001$), TFMV (16,7 ± 10,8%; $p < 0,0001$) e TFBV (14,0 ± 8,1%; $p < 0,0001$) para todos os grupos, porém não foi observado diferença entre os grupos. A ASTM do RF apresentou aumento estatístico no pós-treinamento somente para o grupo TFAV (15,0 ± 11,9%; $p < 0,0001$). Apenas o grupo TFAV aumentou estatisticamente a ASTM do VL após quatro semanas de treinamento (7,71 ± 4,42%; $p < 0,0001$), porém todos os grupos aumentaram significativamente a ASTM do VL após oito semanas de treinamento TFAV (11,37 ± 3,88%; $p < 0,0001$), TFMV (9,68 ± 9,36%; $p < 0,0001$) e TFBV (7,26 ± 3,15%; $p < 0,01$) e no pós-treinamento TFAV (14,54 ± 4,07%; $p < 0,0001$), TFMV (14,77 ± 8,24%; $p < 0,0001$) e TFBV (8,66 ± 3,97%; $p < 0,001$), porém não foi observado diferença entre os grupos. Os resultados do presente estudo demonstraram que, independente do volume adotado, os ganhos de força máxima foram semelhantes. Por outro lado, a ASTM foi influenciada pelo volume de treinamento, dado que o grupo TFAV foi o único que apresentou aumento significativo da ASTM do RF no pós-treinamento e aumentou a ASTM do VL com apenas quatro semanas de treinamento.

Palavras-chave: força; hipertrofia; volume de treinamento; indivíduos treinados.

ABSTRACT

BARRETTI, D. **The effect of different strength training volumes in the functional and morphological adaptations of skeletal muscle in trained individuals.** 2016. 55f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2016.

The aim of this study was to investigate the effects of different strength training volumes on muscle strength and hypertrophy of the lower limbs after four, eight and twelve weeks of strength training in strength-trained individuals. Twenty-six healthy young males (age 23.6 ± 4.6 years, body mass 76.6 ± 7.5 kg, height 1.75 ± 0.1 cm), with an average experience of strength training (4.7 ± 4.1 years) were divided into three groups, high-volume strength training (TFAV, n = 8), mid-volume strength training (TFMV, n = 9) and low-volume strength training (TFBV, n = 9). Maximum dynamic strength (1RM) and muscle cross-sectional area (MCSA) of the rectus femoris (RF) and vastus lateralis (VL) were measured at baseline, after four weeks, after eight weeks and post-training. The total training volume significantly increased for the groups TFAV ($p < 0.0001$), TFMV ($p < 0.0001$) and TFBV ($p < 0.0001$) throughout the experimental period. The 1RM values increased after the eighth weeks of training, compared to baseline values, for the TFAV (11.8 ± 4.7%; $p < 0.0001$), TFMV (12.1 ± 8.5%; $p < 0.0001$), and TFBV (9.6 ± 7.3%; $p < 0.001$) groups, and post-training TFAV (13.9 ± 3.9%; $p < 0.0001$), TFMV (16.7 ± 10.8%; $p < 0.0001$) and TFBV (14.0 ± 8.1%; $p < 0.0001$) for all groups, with no difference between groups. Only TFAV group presented higher RF MCSA values at post-training (15.0 ± 11.9%; $p < 0.0001$). Furthermore, only TFAV significantly increased the VL MCSA after four weeks of training (7.71 ± 4.42%; $p < 0.0001$). All of the groups presented significantly greater VL MCSA than baseline values at eight weeks TFAV (11.37 ± 3.88%; $p < 0.0001$), TFMV (9.68 ± 9.36%; $p < 0.0001$) and TFBV (7.26 ± 3.15%; $p < 0.01$) and at post-training TFAV (14.54 ± 4.07%; $p < 0.0001$), TFMV (14.77 ± 8.24% ; $p < 0.0001$) and TFBV (8.66 ± 3.97%; $p < 0.001$), with no difference between groups. The results of this study demonstrated that, regardless of the adopted volume, the muscle strength gains were similar. On the other hand , MCSA was influenced by the training volume, since the TFAV was the only group that showed significant increase of RF MCSA post- training and increased VL MCSA with only four weeks of training.

Keywords: strength; hypertrophy; training volume; trained individuals.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9
2 OBJETIVO 12
3 REVISÃO DE LITERATURA 13
3.1 VOLUME DE TREINAMENTO E FORÇA MOTORA 14
3.2 VOLUME DE TREINAMENTO E HIPERTROFIA MUSCULAR 20
3.2.1 Volume de treino e respostas agudas 20
3.2.2 Volume de treinamento e respostas crônicas..... 25
4 MATERIAIS E MÉTODOS 29
4.1 AMOSTRA 29
4.2 DESENHO EXPERIMENTAL 31
4.3 MEDIDA DA FORÇA DINÂMICA MÁXIMA (1RM) 32
4.4 ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA MUSCULAR (ASTM) 33
4.5 PROTOCOLO DE TREINAMENTO 35
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... 36
5 RESULTADOS..... 38
5.1 VOLUME DE TREINAMENTO..... 38
5.2 FORÇA DINÂMICA MÁXIMA (1RM)..... 39
5.3 ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA MUSCULAR (ASTM) 40
6 DISCUSSÃO 42
6.1 O EFEITO DE DIFERENTES VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA NA PRODUÇÃO DA FORÇA. 42
6.2 O EFEITO DE DIFERENTES VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA NA HIPERTROFIA MUSCULAR. 46
7 CONCLUSÃO 49
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 51

1 INTRODUÇÃO

De acordo com as recomendações do *American College Sports Medicine* (ACSM), todo indivíduo adulto saudável deve realizar o treinamento de força (TF) (GARBER, BLISSMER, DESCHENES, FRANKLIN, LAMONTE, LEE, NIEMAN, SWAIN & AMERICAN COLLEGE OF SPORTS, 2011). Sua recomendação deve-se ao fato de que o aumento de força e massa muscular decorrente do (TF) melhora a qualidade de vida e o desempenho atlético, e diminui o tempo de recuperação após lesões músculo esqueléticas (ALFREDSON, PIETILA, JONSSON & LORENTZON, 1998; BEATTIE, KENNY, LYONS & CARSON, 2014; DESCHENES & KRAEMER, 2002). No entanto, afim de otimizar essas adaptações, as variáveis do TF (e.g., ação muscular, frequência, intensidade e volume) devem ser manipuladas ao longo do processo de treinamento (FARTHING & CHILIBECK, 2003; KRIEGER, 2010; MCLESTER, BISHOP & GUILLIAMS, 2000; PETERSON, RHEA & ALVAR, 2004). Dentre as variáveis citadas acima, o volume de treinamento (i.e., séries x repetições x intensidade [Kg]) tem sido amplamente estudado pela comunidade científica (BURD, HOLWERDA, SELBY, WEST, STAPLES, CAIN, CASHABACK, POTVIN, BAKER & PHILLIPS, 2010a; GALVAO & TAAFFE, 2005; GONZALEZ-BADILLO, GOROSTIAGA, ARELLANO & IZQUIERDO, 2005; HASS, GARZARELLA, DE HOYOS & POLLOCK, 2000; HUMBURG, BAARS, SCHRODER, REER & BRAUMANN, 2007; KRIEGER, 2010; MANGINE, HOFFMAN, GONZALEZ, TOWNSEND, WELLS, JAJTNER, BEYER, BOONE, MIRAMONTI, WANG, LAMONICA, FUKUDA, RATAMESS & STOUT, 2015; MARSHALL, MCEWEN & ROBBINS, 2011; NACLERIO, FAIGENBAUM, LARUMBE-ZABALA, PEREZ-BIBAO, KANG, RATAMESS & TRIPLETT, 2013; OSTROWSKI, 1997; PETERSON, RHEA & ALVAR, 2005; RHEA, ALVAR, BURKETT & BALL, 2003; SOONESTE, TANIMOTO, KAKIGI, SAGA & KATAMOTO, 2013; STARKEY, POLLOCK, ISHIDA, WELSCH, BRECHUE, GRAVES & FEIGENBAUM, 1996; WERNBOM, AUGUSTSSON & THOMEE, 2007).

De fato, diversos estudos têm investigado o efeito da manipulação do volume de treinamento nos ganhos de força muscular e de área de secção transversa muscular (ASTM), para indivíduos adultos destreinados e treinados (CARPINELLI &

OTTO, 1998; KRIEGER, 2010; OSTROWSKI, 1997; PETERSON, RHEA & ALVAR, 2005; WOLFE, LEMURA & COLE, 2004). Em linhas gerais, apesar de ainda controverso, tanto indivíduos destreinados quanto treinados parecem ter maiores ganhos de força quando realizam o TF com maiores volumes (i.e., série simples vs. séries múltiplas) (MARSHALL, MCEWEN & ROBBINS, 2011; PETERSON, RHEA & ALVAR, 2005; WOLFE, LEMURA & COLE, 2004).

Em relação aos ganhos de massa muscular, os estudos em sua maioria indicam que indivíduos destreinados têm maiores aumentos de ASTM com o uso de séries múltiplas (KRIEGER, 2010; RONNESTAD, EGELAND, KVAMME, REFSNES, KADI & RAASTAD, 2007; SOONESTE et al., 2013; WERNBOM, AUGUSTSSON & THOMEE, 2007). Já para indivíduos treinados, pouco se sabe a respeito da relação entre o efeito de diferentes volumes de TF e o aumento da ASTM, dado que até o momento a literatura conta com apenas um estudo (OSTROWSKI, 1997). No referido estudo, foi demonstrado que independente do volume adotado (i.e., 3-séries, 6-séries e 12-séries semanais) o aumento da ASTM foi semelhante. Entretanto, apenas a ASTM do reto femoral (RF) foi avaliada, o que pode ter limitado os achados, uma vez que as diferentes cabeças do músculo quadríceps femoral parecem responder de maneira diferenciada ao TF (EARP, NEWTON, CORMIE & BLAZEVICH, 2015; EBBEN, FELDMANN, DAYNE, MITSCHE, ALEXANDER & KNETZGER, 2009; EMA, WAKAHARA, MIYAMOTO, KANEHISA & KAWAKAMI, 2013; FONSECA, ROSCHEL, TRICOLI, DE SOUZA, WILSON, LAURENTINO, AIHARA, DE SOUZA LEAO & UGRINOWITSCH, 2014; NARICI, HOPPELER, KAYSER, LANDONI, CLAASSEN, GAVARDI, CONTI & CERRETELLI, 1996). Por exemplo, Earp et al. (2015), utilizaram o exercício agachamento e verificaram que a ASTM do RF não aumentou após oito semanas de treinamento de força para nenhuma das regiões avaliadas (i.e., proximal, medial e distal), enquanto que a ASTM do vasto lateral (VL) aumentou para todas as regiões avaliadas, sugerindo que o efeito do volume de treinamento no aumento da ASTM possa ser músculo-dependente.

Adicionalmente, pouco se sabe a respeito do aumento da ASTM ao longo do processo de TF em indivíduos treinados. De modo geral, os estudos que avaliaram a temporalidade do aumento da ASTM ao longo do processo de treinamento foram realizados em sua maioria com indivíduos destreinados (ABE, DEHOYOS,

POLLOCK & GARZARELLA, 2000; DEFREITAS, BECK, STOCK, DILLON & KASISHKE, 2011; NARICI et al., 1996; OGASAWARA, THIEBAUD, LOENNEKE, LOFTIN & ABE, 2012; SEYNNES, DE BOER & NARICI, 2007). Nessa população específica, aumentos significantes da ASTM têm sido observados entre a terceira e quarta semana de treinamento (DEFREITAS et al., 2011; OGASAWARA et al., 2012; SEYNNES, DE BOER & NARICI, 2007). Por outro lado, no que refere-se a indivíduos treinados, apenas um estudo avaliou a temporalidade do aumento da ASTM (AHTIAINEN, PAKARINEN, ALEN, KRAEMER & HAKKINEN, 2005). Entretanto, Ahtiainen et al. (2005), realizaram a primeira avaliação da ASTM apenas após três meses de protocolo, o que dificulta extrapolar os achados para períodos mais curtos de treinamento (i.e., 1-mês). Além disso, não há estudos que investigaram a temporalidade do aumento da ASTM, com diferentes volumes de treinamento, em indivíduos treinados em força.

2 OBJETIVO

Verificar o efeito de diferentes volumes de treinamento de força na força máxima de membros inferiores e na hipertrofia do reto femoral e do vasto lateral após quatro, oito e doze semanas em indivíduos treinados em força.

3 REVISÃO DE LITERATURA

O TF, através da manipulação de suas variáveis (e.g., seleção dos exercícios, intervalo de descanso, tempo de execução das ações musculares, frequência, intensidade e volume de treinamento), ocasiona sobrecarga ao sistema muscular, produzindo adaptações como aumento da força e da ASTM (BIRD, TARPENNING & MARINO, 2005; FOLLAND & WILLIAMS, 2007). Dentre as variáveis citadas acima, o volume de treinamento está entre as mais estudadas pela comunidade cientifica (GONZALEZ-BADILLO et al., 2005; HASS et al., 2000; HUMBURG et al., 2007; KRIEGER, 2010; MANGINE et al., 2015; MARSHALL, MCEWEN & ROBBINS, 2011; MCBRIDE, BLAAK & TRIPLETT-MCBRIDE, 2003; NACLERIO et al., 2013; OSTROWSKI, 1997; PAULSEN, MYKLESTAD & RAASTAD, 2003; PETERSON, RHEA & ALVAR, 2004; 2005; RADAELLI, FLECK, LEITE, LEITE, PINTO, FERNANDES & SIMAO, 2015; RHEA, ALVAR, BALL & BURKETT, 2002a; RHEA, ALVAR & BURKETT, 2002; RHEA et al., 2003; RONNESTAD et al., 2007; SOONESTE et al., 2013; STARKEY et al., 1996; WERNBOM, AUGUSTSSON & THOMEE, 2007).

O volume de treinamento é obtido pelo produto do número total de repetições para determinado grupo muscular multiplicado pela carga levantada em quilos (i.e., séries x repetições x Kg) (WERNBOM, AUGUSTSSON & THOMEE, 2007). De maneira geral, os estudos manipulam o volume de treinamento através da modificação do número de séries executadas (HASS et al., 2000; HUMBURG et al., 2007; MARSHALL, MCEWEN & ROBBINS, 2011; MCBRIDE, BLAAK & TRIPLETT-MCBRIDE, 2003; NACLERIO et al., 2013; OSTROWSKI, 1997; PAULSEN, MYKLESTAD & RAASTAD, 2003; RADAELLI et al., 2015; RHEA et al., 2002a; RONNESTAD et al., 2007; SOONESTE et al., 2013; STARKEY et al., 1996). Nesse sentido, estudos que comparam a resposta de diferentes séries em TF têm demonstrado uma associação positiva entre o volume e as respostas agudas de vias de síntese proteica e/ou na taxa de síntese proteica miofibrilar (BURD et al., 2010a; BURD, WEST, STAPLES, ATHERTON, BAKER, MOORE, HOLWERDA, PARISE, RENNIE, BAKER & PHILLIPS, 2010b; KUMAR, ATHERTON, SELBY, RANKIN, WILLIAMS, SMITH, HISCOCK & RENNIE, 2012). De maneira semelhante, embora um pouco controverso, os estudos crônicos também têm demonstrado que maiores

volumes otimizam o ganho de força e de massa muscular (MARSHALL, MCEWEN & ROBBINS, 2011; PETERSON, RHEA & ALVAR, 2005; RADAELLI et al., 2015; RONNESTAD et al., 2007; SOONESTE et al., 2013). Assim, dada a importância do volume de treinamento na produção de força e aumento da massa muscular, compreender seus efeitos não tem apenas implicação científica mas também prática tanto para treinadores quanto para professores de Educação Física que trabalham com TF, podendo auxiliar na otimização do ganho de força e massa muscular.

3.1 VOLUME DE TREINAMENTO E FORÇA MOTORA

A relação entre o volume de treinamento e a força motora tem sido amplamente estudada pela comunidade cientifica (BAKER, DAVIES, COOPER, WONG, BUCHAN & KILGORE, 2013; CARPINELLI & OTTO, 1998; GONZALEZ-BADILLO et al., 2005; HASS et al., 2000; HUMBURG et al., 2007; KELLY, BROWN, COBURN, ZINDER, GARDNER & NGUYEN, 2007; KEMMLER, LAUBER, ENGELKE & WEINECK, 2004; MANGINE et al., 2015; MARSHALL, MCEWEN & ROBBINS, 2011; MCBRIDE, BLAAK & TRIPLETT-MCBRIDE, 2003; MITCHELL, CHURCHWARD-VENNE, WEST, BURD, BREEN, BAKER & PHILLIPS, 2012; MUNN, HERBERT, HANCOCK & GANDEVIA, 2005; NACLERIO et al., 2013; PETERSON, RHEA & ALVAR, 2005; RADAELLI et al., 2015; RHEA et al., 2002a; RHEA et al., 2003; RONNESTAD et al., 2007; SCHLUMBERGER, STEC & SCHMIDTBLEICHER, 2001; SOONESTE et al., 2013; WOLFE, LEMURA & COLE, 2004). No entanto, divergências em relação aos achados ainda existem, uma vez que alguns autores demonstraram ser mais vantajoso treinar com séries múltiplas (KEMMLER et al., 2004; KRIEGER, 2010; MARSHALL, MCEWEN & ROBBINS, 2011; MITCHELL et al., 2012; MUNN et al., 2005; RADAELLI et al., 2015; RHEA et al., 2002a; SCHLUMBERGER, STEC & SCHMIDTBLEICHER, 2001; SOONESTE et al., 2013), enquanto outros não tem observado vantagens no ganho de força muscular quando se compara os efeitos do treinamento com séries múltiplas com os com série simples (BAKER et al., 2013; CARPINELLI & OTTO, 1998; HASS et al., 2000; LAURSEN, MARSH, JENKINS & COOMBES, 2007; RONNESTAD et al., 2007; WOLFE, LEMURA & COLE, 2004). Os diferentes resultados podem ser

atribuídos principalmente às diferenças metodológicas dos diversos estudos, como: modelo de periodização, grupos musculares avaliados, desenho experimental e nível de treinamento.

Exemplo disso, pode ser observado quando compara-se o estudo de Rhea et al. (2002), com o de Baker et al., (2013). Rhea et al. (2002), observaram que séries múltiplas (i.e., 3-séries) foram mais eficientes em promover ganhos de força quando comparado com série simples tanto para membros inferiores (56% vs. 26%, respectivamente) quanto para membros superiores (33% vs. 20%, respectivamente). Por outro lado, Baker et al. (2013), verificaram que a força máxima de membros superiores aumentou na mesma magnitude para séries simples (i.e., 1-série) e múltiplas (i.e., 3-séries). O aumento relatado foi de 20,71% para o grupo séries múltiplas e de 21,98% para o grupo série simples. Tanto o estudo de Rhea et al. (2002), quanto de Baker et al. (2013), foram realizados com indivíduos treinados e tiveram o protocolo de treinamento com duração (i.e., 8 semanas) e frequência semanal (i.e., 3 sessões) semelhantes. Entretanto, os estudos adotaram diferentes modelos de periodização, enquanto que Rhea et al. (2002), adotaram um modelo de periodização ondulado diário com repetições que variavam entre 4 e 10 RM, Baker et al. (2013), utilizaram um modelo não periodizado, sendo que os grupos treinaram do começo ao fim do protocolo com o mesmo número de repetições (i.e., 6 RM). Os diferentes modelos de periodização adotados pelos estudos de Rhea et al. (2002), e de Baker et al. (2013), podem ter contribuído nas divergências dos resultados encontrados, uma vez que, embora ainda não exista consenso na literatura, tem sido sugerido que modelos de periodização ondulatória podem promover maiores ganhos de força em indivíduos treinados (MONTEIRO, AOKI, EVANGELISTA, ALVENO, MONTEIRO, PICARRO IDA & UGRINOWITSCH, 2009; PRESTES, FROLLINI, DE LIMA, DONATTO, FOSCHINI, DE CASSIA MARQUETI, FIGUEIRA & FLECK, 2009; RHEA, BALL, PHILLIPS & BURKETT, 2002b). Adicionalmente, no estudo de Rhea et al. (2002), os indivíduos treinaram em algumas séries com maior intensidade quando comparado ao estudo de Baker et al. (2013), (i.e., 4 RM vs. 6 RM, respectivamente) o que também pode ter contribuído no aumento de força mais significativo no grupo que realizou três séries no estudo de Rhea et al., (2002).

Divergências também têm sido observadas nos estudos que avaliaram tanto a força para os membros superiores quanto para os membros inferiores. Nesse

sentido, Paulsen, Myklestad e Raastad (2003), com o objetivo de comparar o ganho de força com série simples versus séries múltiplas (i.e., 3-séries), avaliaram a força dinâmica máxima em seis exercícios, sendo três deles para os membros superiores (i.e., supino reto, puxada frontal e desenvolvimento ombro) e três para os membros inferiores (i.e., agachamento, cadeira extensora e flexora). O treinamento foi realizado com indivíduos destreinados e teve duração de seis semanas com três sessões semanais. Os resultados demonstraram que para os membros superiores o ganho de força foi semelhante para ambos os grupos (i.e., série simples e séries múltiplas) nos três exercícios avaliados. Por outro lado, para os membros inferiores séries múltiplas foram mais eficientes em promover ganhos de força para o agachamento e a cadeira extensora. Em outro estudo mais recente, Radaelli et al. (2015), compararam o efeito de três diferentes volumes (i.e., 1-série, 3-séries e 5-séries) no ganho de força tanto dos membros superiores quanto dos membros inferiores. Para isso, indivíduos destreinados, foram submetidos a seis meses de TF com três sessões semanais. Os exercícios avaliados para os membros superiores foram: supino reto, puxada frontal e desenvolvimento ombro e para os membros inferiores foi utilizado o *leg press*. A força dos membros superiores foi maior para os grupo que treinou com cinco séries quando comparado com os outros dois grupos, enquanto que a força no *leg press* aumentou de maneira semelhante entre os grupos. Contudo, é preciso ressaltar que Radaelli et al. (2015), avaliaram a força através do teste de 5 RM. Assim, quando comparados os resultados entre os estudos de Paulsen, Myklestad e Raastad (2003) e de Radaelli et al. (2015), observa-se diferentes resultados. Identificar a razão dessa divergência é difícil, dado que o desenho experimental adotado foi bem diferente entre os estudos tanto na duração (i.e., 6-semanas vs. 6-meses) quanto na avaliação da força (1 RM vs. 5 RM), e nos exercícios avaliados (ie., agachamento, cadeira extensora vs. *leg press*) o que dificulta as comparações.

O nível de treinamento também é outro fator importante que pode levar a divergências nas comparações entre os estudos. Ressalta-se que ainda é bastante controverso a relação entre volume e ganho de força em indivíduos destreinados, com estudos demonstrando que tanto série simples quanto séries múltiplas produzem ganhos de força semelhantes (CARPINELLI & OTTO, 1998; MCBRIDE, BLAAK & TRIPLETT-MCBRIDE, 2003; PAULSEN, MYKLESTAD & RAASTAD, 2003;

RADAELLI et al., 2015; RONNESTAD et al., 2007; SOONESTE et al., 2013; STARKEY et al., 1996; STOCK, OLINGHOUSE, DRUSCH, MOTA, HERNANDEZ, AKALONU & THOMPSON, 2016; WOLFE, LEMURA & COLE, 2004) e estudos mostrando que séries múltiplas são mais eficientes (HUMBURG et al., 2007; MCBRIDE, BLAAK & TRIPLETT-MCBRIDE, 2003; MUNN et al., 2005; NACLERIO et al., 2013; PAULSEN, MYKLESTAD & RAASTAD, 2003; RADAELLI et al., 2015; RHEA, ALVAR & BURKETT, 2002; RHEA et al., 2003; RONNESTAD et al., 2007).

Por outro lado, de maneira geral, indivíduos treinados parecem ganhar mais força com séries múltiplas quando comparado com série simples (KELLY et al., 2007; KEMMLER et al., 2004; MARSHALL, MCEWEN & ROBBINS, 2011; PETERSON, RHEA & ALVAR, 2005; RHEA et al., 2002a; RHEA et al., 2003; SCHLUMBERGER, STEC & SCHMIDTBLEICHER, 2001; WOLFE, LEMURA & COLE, 2004).

Nesse sentido, uma metanálise realizada por Wolfe, LeMura e Cole (2004), comparou o tamanho do efeito (TE) entre série simples e séries múltiplas de acordo com o nível de treinamento (i.e., destreinado e treinado). Inicialmente, os resultados demonstraram que indivíduos destreinados tiveram maior magnitude no ganho de força quando comparados com indivíduos treinados (TE = 1,71 vs. TE = 0,50; $p < 0,001$), independente do número de séries adotado, indicando que indivíduos destreinados ganham mais força quando comparado com indivíduos treinados.

Adicionalmente verificou-se que a magnitude do ganho de força não diferiu para o grupo destreinado, quando comparado série simples e múltiplas (TE = 1,69 vs. TE = 1,73; $p > 0,05$), enquanto que para a população treinada a magnitude do ganho de força foi maior para séries múltiplas em comparação a série simples (i.e., TE = 0,70 vs. TE = 0,30; $p < 0,05$), confirmando que a magnitude do ganho de força em indivíduos treinados é maior com maior número de séries.

Por outro lado, Rhea et al. (2003), em outra metanálise verificaram o efeito dose-resposta para o ganho de força partindo de série simples indo até seis séries por grupo muscular tanto em indivíduos destreinados quanto em indivíduos treinados. Observou-se que existe um efeito dose-resposta no ganho de força, sendo que o TE aumenta de acordo com o número de séries atingindo seu maior valor com quatro séries, tanto para os indivíduos destreinados quanto para os treinados. Os valores de TE relatados para os indivíduos destreinados foram de: TE

= 1,16 para uma série e TE = 2,28 para quatro séries. Já para os indivíduos treinados foram de: TE = 0,47 para uma série e TE = 1,17 para quatro séries. Adicionalmente, foi observado que acima de quatro séries o TE diminui para os indivíduos destreinados, sugerindo que volumes elevados podem ser prejudicial para essa população. Os dados do presente estudo em parte vão ao encontro da metanálise de Wolfe, LeMura e Cole (2004), a qual demonstrou que indivíduos destreinados tem maior TE quando comparados com indivíduos treinados.

Entretanto, diferente de Wolfe, LeMura e Cole (2004), Rhea et al. (2003), observaram que mesmo indivíduos destreinados aumentam a força com maior magnitude para séries múltiplas quando comparados com série simples sendo observado o dobro do efeito para quatro séries quando comparados com uma série. No entanto, o fato de Wolfe, LeMura e Cole (2004), não diferenciarem o número de séries para os estudos com séries múltiplas pode ter contribuído para essa divergência nos resultados, uma vez que de acordo com Rhea et al. (2003), valores acima de quatro séries produzem menor TE.

Adicionalmente Peterson, Rhea e Alvar (2004), verificaram o efeito de dose-resposta no ganho de força em indivíduos altamente treinados. O efeito dose-resposta foi comparado desde uma até dezesseis séries por grupo muscular. O maior TE observado foi para oito séries (TE = 1,22), sendo que acima de oito séries quanto maior o número de séries menor foi o TE (i.e., 16-séries; TE = 0,41).

Assim, de acordo com as metanálises, parece existir um efeito dose-resposta de acordo com o nível de treinamento, contudo observa-se que volumes muito elevados podem diminuir o TE prejudicando o ganho de força tanto para indivíduos destreinados quanto para indivíduos altamente treinados.

Considerar as metanálises acima descritas, tem grande implicação prática, dado que os estudos originais em sua maioria comparam apenas pequenas diferenças nos volumes (i.e., 1-série vs. 3-séries) e/ou utilizam poucos indivíduos por grupo o que aumenta a chance de erro do tipo II. De fato em estudo mais recente, Marshall, McEwen e Robbins (2011), avaliaram um maior número de séries na produção de força máxima em indivíduos treinados. Foi demonstrado ganhos mais significativos com oito séries (19%) comparado a quatro (13%) e a uma série (10%), enquanto que quatro séries não foi estatisticamente diferente de uma série, indicando que pequenas alterações no volume usualmente adotada na maioria dos

protocolos, pode não ser suficiente para produzir diferenças estatísticas, especialmente quando a população é treinada em TF. Outro dado importante do estudo de Marshall, McEwen e Robbins (2011), diz respeito a temporalidade do ganho de força. Nesse caso, além dos diferentes volumes, também foi avaliado o efeito do tempo de treino nos ganhos de força máxima (i.e., 3-semanas, 6-semanas e 10-semanas). Verificou-se que apenas o grupo que realizou oito series apresentou aumento significativo após três semanas de treinamento, indicando que maiores volumes também podem influenciar na temporalidade do ganho de força.

Portanto, coletivamente, embora ainda um pouco controverso, sugere-se que exista uma relação entre o volume de treinamento e o ganho de força. No entanto, muitos dos estudos são realizados com séries que limitam-se entre uma e três. Devido a isso, o entendimento da relação entre maiores volumes de treinamento e o ganho de força ainda é limitado. Adicionalmente, indivíduos treinados parecem necessitar de maiores volumes para otimizar o ganho de força quando comparados com indivíduos destreinados, indicando a necessidade de estudos que comparem a relação de maiores volumes no ganho de força nessa população. Ainda, parece que volumes mais elevados podem promover ganhos mais rápidos de força em indivíduos treinados. Dessa forma, entender a relação de diferentes volumes, porém mais elevados, no ganho de força, bem como na sua temporalidade em indivíduos treinados é de fundamental importância para a literatura corrente relacionada ao TF, uma vez que ampliará o conhecimento nessa área.

3.2 VOLUME DE TREINAMENTO E HIPERTROFIA MUSCULAR

Diferentemente da relação entre os estudos de volume e ganhos de força máxima, os estudos que compararam o efeito de diferentes volumes de treinamento na hipertrofia muscular são mais escassos. Além disso, os estudos podem ser divididos em estudos agudos que mensuraram a atividade das proteínas relacionadas a sinalização da síntese de proteínas musculares e/ou mensuraram a taxa de síntese proteica mista ou miofibrilar após uma sessão de TF e estudos crônicos que observaram a relação do volume de treinamento com a hipertrofia muscular.

Dessa forma, primeiro será discutida a relação do volume com a resposta aguda e depois o efeito do volume de treinamento no aumento da ASTM.

3.2.1 Volume de treino e respostas agudas

Embora ainda não tenha sido demonstrado uma correlação elevada entre as respostas moleculares na célula muscular (e.g., atividade ou expressão das proteínas sinalizadoras de síntese proteica, taxa de síntese proteica mista ou miofibrilar e expressão gênica) decorrentes da sessão de TF, qualitativamente essas alterações parecem estar alinhadas com o aumento da ASTM (KUMAR et al., 2012; MITCHELL, CHURCHWARD-VENNE, PARISE, BELLAMY, BAKER, SMITH, ATHERTON & PHILLIPS, 2014). Nesse sentido, apesar de ainda escassas as evidências moleculares, considerá-las podem auxiliar no entendimento do efeito do volume na ASTM.

Conforme já mencionado, poucos são os estudos que verificaram os efeitos de diferentes volumes de treino nas vias de sinalização proteica muscular e/ou na taxa de síntese proteica mista ou miofibrilar após uma sessão de TF (BURD et al., 2010a; KUMAR et al., 2012; TERZIS, SPENGOS, MASCHER, GEORGIADIS, MANTA & BLOMSTRAND, 2010). Adicionalmente, as diferenças metodológicas (e.g., tipo de análise, tempo adotado da biópsia após a sessão, protocolo de treinamento e nível de treinamento) adotadas pelos diferentes estudos dificultam a comparação entre eles.

Assim, dos três estudos acima citados, dois deles foram realizados com indivíduos destreinados e os achados foram conflitantes. Terzis et al. (2010), analisaram a atividade de proteínas relacionadas as vias de sinalização da síntese proteica (e.g., *protein Kinase B* (AKT); *mammalian target of rapamycin* (mTOR) e 70-kDa S6 *protein Kinase* ($p70^{S6k}$) frente a três volumes diferentes de TF na sessão (i.e., 1-série, 3-séries e 5-séries) com uma intensidade de 6 RM no exercício *leg press*. Quando comparado com os valores de repouso, não foi observado aumento da atividade da AKT, enquanto que a atividade da mTOR e da $p70^{S6k}$ aumentaram para os três volumes.

No entanto, na comparação entre as condições a atividade da mTOR não diferiu, enquanto que a atividade da $p70^{S6k}$ apresentou aumento dependente do volume da sessão, sendo que sua atividade para a sessão de 5 x 6 RM foi estatisticamente maior comparado a sessão de 3 x 6 RM que por sua vez foi maior que a sessão de 1 x 6 RM.

Contudo, é preciso ressaltar que embora de grande importância, o estudo de Terzis et al. (2010), o mesmo não avalia a correlação entre a atividade das proteínas sinalizadoras da síntese proteica muscular com o aumento da taxa de síntese proteica miofibrilar, fato que não permite concluir se existe uma relação entre o aumento da atividade de proteínas sinalizadoras de síntese proteica com o aumento da taxa de síntese proteica miofibrilar. De fato, em estudo mais recente, Kumar et al. (2012), avaliaram a atividade da $p70^{S6k}$, bem como a taxa de síntese proteica miofibrilar em três diferentes momentos (i.e., 1-hora, 2-horas e 4-horas) após duas sessões de TF (3 x 8 vs. 6 x 8 repetições a 75% do RM) em indivíduos destreinados. Foi observado que embora a área sobre a curva da atividade da $p70^{S6k}$ tenha apresentado aumento significativo para a sessão de 6 x 8 quando comparado com a sessão de 3 x 8 repetições, o mesmo resultado não foi observado para a área sobre a curva da taxa de síntese proteica miofibrilar, sendo que as sessões com 3 x 8 e 6 x 8 apresentaram aumentos semelhantes, indicando que não existe uma correspondência entre o aumento da atividade da $p70^{S6k}$ e a taxa de síntese proteica miofibrilar.

Adicionalmente, o fato de Kumar et al. (2012), não terem incluído uma sessão com apenas uma série, impossibilita saber se a taxa de síntese proteica miofibrilar seria diferente para menores volumes como usualmente tem sido empregado em

estudos crônicos com indivíduos destreinados que comparam o efeito de diferentes volumes (i.e., 1-série vs. 3-séries) e sua relação com o aumento da ASTM. De qualquer forma, parece que para essa população, três séries seriam suficientes para elevar a taxa de síntese proteica miofibrilar após uma sessão de TF.

Por outro lado, em se tratando de indivíduos treinados, a literatura conta com apenas um estudo que avaliou o efeito de diferentes volumes frente uma sessão de TF. Nesse sentido, Burd et al. (2010), compararam a resposta aguda a uma sessão de TF sob a atividade de proteínas sinalizadoras de uma via de síntese muscular (e.g., $p70^{S6k}$), bem como a taxa de síntese proteica miofibrilar frente a dois diferentes volumes (i.e., 1-série e 3-séries com uma intensidade de 70% do RM executado até a falha). Os resultados mostraram que a atividade da $p70^{S6k}$ e a taxa de síntese proteica miofibrilar foi maior após o protocolo com três séries comparado ao protocolo com apenas uma série. Os aumentos observados foram aproximadamente 3 vezes maiores, cinco horas após o término da sessão e 2,3 vezes maiores vinte e nove horas após a mesma. De acordo com os resultados desse estudo, observa-se que existe uma relação positiva entre o volume da sessão e o aumento da atividade da $p70^{S6k}$ e da taxa de síntese proteica miofibrilar em indivíduos treinados.

No entanto, apesar do aumento da taxa de síntese proteica miofibrilar ser um indicativo do possível aumento da ASTM, o volume adotado por Burd et al. (2010), é menor do que o volume recomendado e usualmente praticado por indivíduos treinados, sendo este mais compatível para indivíduos destreinados. Adicionalmente, indivíduos treinados parecem ter uma atenuação da síntese proteica muscular quando comparado com indivíduos destreinados frente o mesmo protocolo de treinamento (PHILLIPS, TIPTON, FERRANDO & WOLFE, 1999). Dessa forma, comparações entre sessões de TF com volumes que se limitam entre uma e três séries para indivíduos treinados limita o entendimento da resposta aguda para essa população. Nesse contexto, Phillips et al. (1999), compararam a taxa de síntese proteica muscular mista após uma sessão de TF entre indivíduos treinados e destreinados. A sessão de TF adotada foi semelhante para ambos os grupos (i.e., 8 x 10 repetições na cadeira extensora). A taxa de síntese proteica muscular mista avaliada quatro horas após a sessão de TF apresentou menor aumento nos indivíduos treinados quando comparado com os destreinados (i.e., 49% vs. 118%). Contudo, é importante notar que o protocolo da sessão de treino foi semelhante para

ambos os grupos, o que possivelmente gerou menor estresse fisiológico nos indivíduos treinados contribuindo para uma menor resposta nesses indivíduos.

Adicionalmente, Tang et al. (2008), com o propósito de identificar a diferença na resposta aguda em um situação destreinada e treinada submeteu dez indivíduos destreinados a um protocolo de treinamento de oito semanas (i.e., 6 x 8-10 RM; ~ 80% do RM). Entretanto, apenas uma perna foi treinada, enquanto a outra permaneceu destreinada. Assim, ao final das oito semanas de treinamento cada perna (i.e., destreinada e treinada) realizou uma sessão de TF afim de avaliar a resposta da taxa de síntese proteica mista em ambas as pernas em dois diferentes momentos (i.e., 4-horas e 28-horas após o término da sessão). Os resultados observados demonstraram que após quatro horas do término da sessão, a perna treinada obteve maiores aumentos da taxa de síntese proteica muscular mista, comparado a perna controle (i.e., 162% vs. 108%). Por outro lado, vinte e oito horas após a sessão, apenas a perna destreinada permaneceu com a taxa de síntese proteica muscular mista elevada enquanto que a taxa de síntese da perna treinada já havia retornado para os valores de repouso, demonstrando uma cinética diferente de resposta entre a perna treinada e a perna não treinada.

No entanto, dois pontos principais precisam ser discutidos. O primeiro, é que a perna foi treinada apenas por oito semanas, tempo esse bem menor do usualmente utilizado pelos estudos que avaliaram indivíduos treinados (i.e., > 1 ano de treinamento), segundo, a taxa de síntese proteica muscular mista não é um indicativo direto do aumento da síntese proteica miofibrilar, uma vez que, outras proteínas musculares podem aumentar sua atividade e/ou expressão frente a uma sessão de TF (KIM, STARON & PHILLIPS, 2005; WILKINSON, PHILLIPS, ATHERTON, PATEL, YARASHESKI, TARNOPOLSKY & RENNIE, 2008). Dessa forma, apenas dois estudos até o momento mensuraram a taxa de síntese proteica miofibrilar em indivíduos treinados. Nesse sentido, Kim et al. (2005), com um protocolo semelhante ao adotado por Tang et al. (2008), no qual os indivíduos treinaram apenas uma perna enquanto a outra permaneceu destreinada, observaram que apenas a perna destreinada aumentou a taxa de síntese proteica mista enquanto que a miofibrilar aumentou na mesma magnitude para ambas as pernas. Contudo é preciso ressaltar que no presente estudo a perna treinada realizou a sessão com um volume 78% maior comparado a perna destreinada.

Assim quando comparado os estudos de Phillips et al. (1999), e de Kim et al. (2005), observa-se que embora indivíduos treinados apresentem menor taxa de síntese proteica mista, a miofibrilar permanece a mesma, pelo menos quando maiores volumes na sessão são praticados por indivíduos treinados, sugerindo que maiores volumes de treino sejam necessários afim de aumentar a resposta de síntese proteica miofibrilar, que por sua vez pode estar relacionada ao aumento da ASTM.

Portanto, de acordo com as evidências acima descritas, observa-se que a manipulação do volume de maneira aguda está relacionada ao aumento da atividade das proteínas relacionadas as vias de sinalização proteica, bem como, com o aumento da taxa de síntese proteica miofibrilar. Além disso, quando comparado a resposta aguda em indivíduos destreinados com treinados, que realizaram protocolos semelhantes na sessão a mesma parece ser menor para indivíduos treinados. Por outro lado, quando comparadas sessões com maiores volumes para indivíduos treinados com sessões com menor volume em indivíduos destreinados os aumentos na taxa de síntese proteica miofibrilar são semelhantes. Isso posto, sugere-se que para indivíduos treinados, maiores volumes na sessão de treino devem ser adotados, afim de se estimular com uma maior magnitude a resposta aguda.

Por fim, é importante notar que embora de maneira qualitativa parece existir uma associação entre o aumento da taxa de síntese proteica e o aumento da ASTM, não tem sido observado uma correlação direta entre o aumento da taxa de síntese proteica muscular e a ASTM. Nesse sentido, Mitchell et al. (2014), demonstraram que a taxa de síntese proteica miofibrilar avaliada uma, três e seis horas após uma sessão de TF, não possuí relação direta com o aumento da ASTM avaliada após dezesseis semanas de treinamento. Por outro lado, os dados de Mitchell devem ser avaliados com cautela, uma vez que a taxa de síntese proteica miofibrilar foi medida apenas no momento pré-treinamento, limitando o entendimento do seu comportamento ao longo das dezesseis semanas de treinamento, tendo em vista que ela pode ser alterada ao longo do processo. Adicionalmente, sabe-se que o aumento da ASTM é um processo que ocorre ao longo do treinamento e pode ser influenciado por outros fatores (e.g., nutrição, hormônios e manipulação das variáveis do treinamento). Assim, embora de grande importância, os estudos que

avaliaram a resposta aguda nas vias de síntese proteica e/ou na taxa de síntese proteica miofibrilar a relevância prática dos mesmos ainda é bastante limitada, dado que pouco se sabe do comportamento dessas medidas ao longo do processo de treinamento.

3.2.2 Volume de treinamento e respostas crônicas

A relação entre o volume de treinamento e a hipertrofia muscular tem sido estudada por diversos autores (BAKER et al., 2013; GALVAO & TAAFFE, 2005; HASS et al., 2000; KEMMLER et al., 2004; KRIEGER, 2010; MCBRIDE, BLAAK & TRIPLETT-MCBRIDE, 2003; MITCHELL et al., 2012; MUNN et al., 2005; OSTROWSKI, 1997; RADAELLI et al., 2015; RHEA et al., 2002a; RONNESTAD et al., 2007; SOONESTE et al., 2013; STARKEY et al., 1996; WERNBOM, AUGUSTSSON & THOMEE, 2007).

Entretanto, as diversas técnicas de avaliação, os diferentes protocolos de treinamento, os diferentes grupos musculares avaliados bem como o nível de treinamento têm gerando divergência nos achados. Starkey et al. (1996), avaliaram o efeito de dois diferentes volumes (i.e., 1-série vs. 3-séries entre 8 a 12 repetições até a falha) de treinamento em indivíduos destreinados. Os indivíduos treinaram por um período de quatorze semanas na cadeira extensora e flexora de joelho com uma frequência de três sessões semanais. A espessura do RF e do VL foram avaliadas nas regiões: proximal, medial e distal e o vasto medial apenas na região distal pela técnica de ultrassonografia (US). Além disso, duas regiões do bíceps femoral (i.e., medial e distal) também foram avaliadas. Não foi observado aumento da espessura em nenhuma das regiões do RF e do VL para nenhum dos grupos quando comparado com o grupo controle. Apenas o grupo que realizou três séries aumentou a espessura do vasto medial, enquanto que o bíceps femoral aumentou na mesma magnitude para ambos os grupos nas duas regiões avaliadas.

Posteriormente, Ronnestad et al. (2007), compararam o efeito de uma versus três séries realizadas entre sete e dez repetições máximas em indivíduos destreinados com uma frequência de três sessões semanais. Os autores compararam as mudanças na ASTM por ressonância magnética de imagem da musculatura do quadríceps femoral, da musculatura dos isquiotibiais e do músculo

trapézio superior, sendo observado diferentes resultados entre os grupos musculares avaliados. Inicialmente, verificou-se que a ASTM do quadríceps femoral e dos isquiotibiais aumentou em maior magnitude para o grupo que realizou três séries. Por outro lado, a ASTM do trapézio superior não apresentou diferença estatística entre os diferentes volumes.

As diferenças encontradas entre o estudo de Ronnestad et al. (2007), e Starkey et al. (1996), para os músculos do quadríceps femoral, podem ser atribuídas em parte aos diferentes volumes adotados por esses estudos, dado que a intensidade, o nível de treinamento e a frequência foram semelhantes. Nesse sentido, enquanto Starkey et al. (1996), utilizou apenas dois exercícios (i.e., extensão e flexão de joelho), os indivíduos do estudo de Ronnestad et al. (2007), treinaram o membro inferior com três exercícios (i.e., *leg pres*, extensão e flexão de joelho) Por outro lado, Ronnestad et al. (2007), não observou diferenças na ASTM para a musculatura do trapézio. Dois fatores podem ter contribuído para esses achados. Primeiro, os exercícios realizados (i.e., puxada frontal, remada sentada e desenvolvimento de ombro) não são exercícios no qual o trapézio superior é considerado um músculo motor primário, o que pode ter contribuído para uma menor solicitação desse músculo. Segundo, dos dez indivíduos, apenas cinco de cada grupo foram avaliados para a ASTM do trapézio superior, fato que pode ter prejudicado a análise, aumentando a chance de ocorrência de erros do tipo II, haja vista que percentualmente o grupo que realizou três séries obteve maior aumento percentual comparado ao grupo uma série (13,9% vs. 9,7%, respectivamente).

Por outro lado, diferentemente do observado por Ronnestad et al. (2007), estudos mais recentes têm observado que o aumento da ASTM de outras regiões musculares do membro superior também são dependentes do volume de treinamento (RADAELLI et al., 2015; SOONESTE et al., 2013). Nesse sentido, Sooneste et al. (2013), treinaram por doze semanas oito indivíduos destreinados. Cada indivíduo realizou diferentes volumes em cada braço (i.e., 1-série vs. 3-séries), a escolha do braço foi feita de maneira aleatória e randomizada. Após doze semanas de treinamento observou-se maior aumento da ASTM dos músculos bíceps braquial e braquial, no braço que realizou três séries comparado com o braço que realizou uma série a 80% do RM até a falha (13,3% vs. 8,0%, respectivamente). Adicionalmente, Radaelli et al. (2015), comparam o efeito de três diferentes volumes

(i.e., 1-série, 3-séries e 5-séries) com uma frequência de três sessões semanais em indivíduos destreinados em TF. Nesse estudo, foi avaliado a espessura da musculatura dos flexores do cotovelo (i.e., bíceps braquial + braquial), bem como dos extensores do cotovelo (i.e., tríceps braquial cabeça longa + tríceps braquial cabeça média) por US. Inicialmente, foi observado que a musculatura flexora do cotovelo aumentou apenas para os grupos que treinaram com três e cinco séries e que o grupo que treinou com cinco séries obteve maior aumento quando comparado ao grupo que treinou com três séries. Já para a musculatura extensora do cotovelo, apenas o grupo que treinou com cinco séries apresentou aumento na espessura.

Assim, embora ainda um pouco controverso, os estudos sugerem que mesmo indivíduos destreinados obtêm maiores ganhos de massa muscular tanto para membros superiores quanto para membros inferiores quando adotam maiores volumes de treinamento. No entanto, observa-se que cada região muscular responde de maneira diferenciada frente aos diferentes protocolos de treinamento. Ainda considerando o estudo de Radaelli et al. (2015), é preciso ressaltar que embora os indivíduos não tivessem experiência em TF, os mesmos eram marinheiros e praticavam exercícios com o próprio peso corporal (e.g., barra e flexão de braço), o que pode ter contribuído para que apenas os grupos que realizaram maior número de séries (i.e., 3-séries e 5-séries) tenham hipertrofiado as musculaturas extensora e flexora do braço, dado que essas musculaturas são bastante solicitadas nos exercícios de barra e flexão de braço. Além disso, esses resultados sugerem que indivíduos que possuem uma musculatura mais adaptada ao TF necessitam de maiores volumes de treinamento.

De fato, tem sido sugerido que quanto maior for o nível de treinamento maior deverá ser o estresse fisiológico imposto ao organismo afim de se otimizar os ganhos de massa muscular (AMERICAN COLLEGE OF SPORTS, 2009; KRAEMER & RATAMESS, 2004). Assim, considerar o nível de treinamento e sua relação com o volume de treinamento parece ser outro ponto importante. No entanto, até o momento, apenas um estudo avaliou o efeito de diferentes volumes na ASTM com indivíduos treinados. Ostrowsky et al. (1997), avaliaram a ASTM do RF em indivíduos treinados (i.e., 1-4 anos). Para isso os indivíduos foram divididos em três diferentes grupos, sendo: grupo baixo volume (3 séries semanais), grupo médio volume (6 séries semanais) e grupo alto volume (12 séries semanais). Foi observado

que independente do volume, o aumento da ASTM do RF foi semelhante entre os grupos. Entretanto, o fato de ter avaliado apenas a ASTM do RF pode ter limitado os achados, uma vez que as quatro cabeças do quadríceps femoral aumentam a ASTM de maneira diferenciada (EARP et al., 2015; FONSECA et al., 2014; NARICI et al., 1996).

Nesse sentido, em estudo recentemente publicado, Earp et al. (2015), avaliaram três regiões do quadríceps femoral (i.e., proximal, medial e distal) bem como suas quatro cabeças (i.e., vasto lateral, vasto intermédio, vasto medial e reto femoral) frente a três protocolos de treinamento por um período de oito semanas. Para isso, os indivíduos foram divididos em quatro grupos. Agachamento paralelo de alta intensidade (i.e., 75-90% RM), salto de baixa intensidade (i.e., 0-30% RM) sendo executado ate que a coxa ficasse paralela ao chão, porém executado na maior velocidade possível, salto contra movimento de baixa intensidade (i.e., 0-30% RM) e profundidade livre e grupo controle. Os resultados demonstraram que a somatória da ASTM, das diferentes regiões e das diferentes cabeças, aumentou de maneira semelhante para os grupos. Entretanto, quando analisado separadamente as cabeças foi observado que o RF não apresentou aumento da ASTM para nenhuma das regiões avaliadas, em nenhum dos grupos. Adicionalmente o vasto medial não aumentou na região proximal para nenhum dos grupos avaliados. Por outro lado, tanto o vasto intermédio quanto o lateral apresentaram aumento para todas as regiões avaliadas. Assim, de acordo com os dados do presente estudo, sugere-se que avaliar apenas uma cabeça do quadríceps femoral, pode limitar o entendimento da resposta adaptativa frente ao TF.

Sumarizando, o conjunto dos achados provenientes de estudos agudos e crônicos sugere que de maneira aguda, embora ainda exista poucas evidências, o volume pode influenciar na resposta da taxa de síntese proteica miofibrilar. Da mesma maneira, os resultados dos estudos crônicos têm sugerido que maiores volumes de TF promovem aumentos da ASTM em maior magnitude quando comparado com menores volumes. Contudo, comparações entre diferentes volumes no ganho da ASTM quando se realiza o treinamento com volumes elevados ainda são escassas em indivíduos treinados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 AMOSTRA

Vinte e seis indivíduos jovens saudáveis do sexo masculino (idade 23,6 ± 4,6 anos, massa corporal 76,6 ± 7,5 kg, estatura 1,75 ± 0,1 cm), com um tempo médio de TF de 4,7 ± 4,1 anos fizeram parte da amostra. Os indivíduos que possuíam histórico recente de lesão nas articulações do joelho e quadril ou qualquer outro problema neuromuscular e cardiovascular não foram selecionados para o estudo. Além disso, como critério de inclusão foram selecionados apenas os indivíduos que já praticavam TF para membros inferiores a pelo menos um ano, com experiência no exercício agachamento e que conseguissem realizar uma repetição máxima (1RM) no meio agachamento guiado com um peso maior ou igual 2 vezes da sua massa corporal.

Os sujeitos foram distribuídos em três grupos, treinamento de força alto volume (TFAV, n = 8), treinamento de força médio volume (TFMV, n = 9) e treinamento de força baixo volume (TFBV, n = 9). A distribuição foi realizada de maneira aleatória e balanceada pela carga máxima inicial levantada no meio agachamento e pelos valores iniciais de ASTM do RF. A aleatorização e o balanceamento foram realizados da seguinte forma: depois de realizado as avaliações de 1RM no meio agachamento e da ASTM do RF, os indivíduos foram divididos em quartis para cada variável acima descrita. Em seguida, novamente os indivíduos foram divididos de acordo com a proximidade entre os quartis de cada variável, ou seja, os indivíduos que estavam dentro do mesmo quartil para as duas variáveis ficaram dentro do grupo 1, os indivíduos que possuíam um quartil de diferença entre as variáveis foram para o grupo 2, os indivíduos que estavam a dois quartis de diferença foram para o grupo 3 e os indivíduos que tinham mais de dois quartis de diferença foram para o grupo 4. Então, somente depois de realizado essa divisão, os sujeitos que estavam em cada um dos quatro grupos acima descritos foram alocados de maneira aleatória para cada um dos três grupos: TFAV, TFMV e TFBV.

Antes de iniciar o protocolo de pesquisa foi realizada uma ANOVA de uma via para verificar a presença de eventuais diferenças entre o 1RM no meio agachamento bem como da ASTM do RF. Assim, foi observado que os grupos estavam adequadamente balanceados, sendo que nenhuma diferença estatística foi observada ($p > 0,05$). Os valores iniciais de cada grupo para massa corporal, estatura, tempo médio de prática de TF, 1RM, bem como sua relação pela massa corporal e ASTM do RF, encontram-se na (Tabela 1).

Tabela 1 - Características descritivas dos participantes no pré-treinamento (Média ± DP).

	TFAV	TFMV	TFBV
N	8	9	9
Idade	24,0 (±4,4)	22,6 (±5,4)	24,3 (±4,1)
Massa corporal (Kg)	80,6 (±8,7)	71,9 (±5,9)	78,0 (±5,6)
Estatura (metros)	1,8 (±0,1)	1,7 (±0,1)	1,7 (±0,0)
Tempo médio de TF (anos)	6,1 (±4,6)	4,0 (±5,0)	3,9 (±3,3)
1RM (Kg)	172,5 (±22,0)	166,7 (±33,6)	170,3 (±32,1)
1RM/MC (Kg/Kg)	2,1 (±0,2)	2,3 (±0,4)	2,2 (±0,3)
ASTM RF (Cm^2)	8,2 (±1,2)	8,2 (±1,3)	7,7 (±1,8)

Treinamento de força alto volume (TFAV), treinamento de força médio volume (TFMV) e treinamento de força baixo volume (TFBV). Uma repetição máxima no exercício de meio agachamento (1RM). Relação uma repetição máxima pela massa corporal (1RM/MC). Área de secção transversa muscular do reto femoral (ASTM RF).

Todos os sujeitos foram informados dos possíveis riscos, desconfortos e benefícios decorrentes do protocolo de pesquisa e antes de iniciarem o mesmo assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. O projeto foi aprovado pelo comitê de ética da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (Protocolo de pesquisa n. 48575815.4.0000.5391).

4.2 DESENHO EXPERIMENTAL

Antes da realização das medidas de força dinâmica máxima (i.e, 1RM no exercício meio agachamento) e da ASTM do RF e do VL, os voluntários foram submetidos a três sessões de familiarização com os exercícios de força. Após esse período (~ uma semana) eles foram submetidos as medidas de 1RM e da ASTM. Além disso, durante e após o protocolo de pesquisa (i.e., após quatro semanas, após oito semanas e no pós-treinamento), os participantes foram novamente submetidos as mesmas medidas. Essas medidas foram realizados 72 h após a sessão de treinamento de força, sendo as mesmas realizadas no mesmo horário do dia e em condições ambientais controladas (Figura 1).

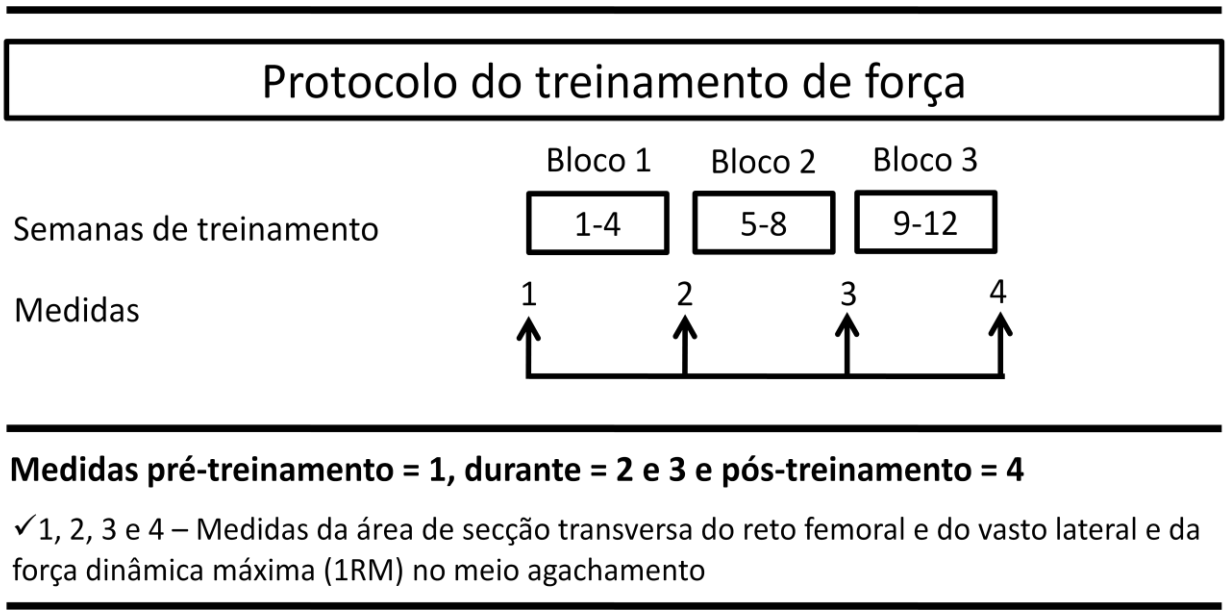

Figura 1 - Desenho Experimental.

4.3 MEDIDA DA FORÇA DINÂMICA MÁXIMA (1RM)

A força dinâmica máxima foi mensurada no exercício meio agachamento, usando um aparelho com barra guiada (Portico®, São Paulo, Brasil). Para isso foram seguidas as orientações da Sociedade Americana de Fisiologistas do Exercício (BROWN & WEIR, 2001). O protocolo foi realizado da seguinte forma: os participantes realizaram um aquecimento geral em esteira ergométrica a 9km/h durante cinco minutos. Após o aquecimento geral foi dado três minutos de intervalo antes do inicio do aquecimento específico. O aquecimento específico no meio agachamento foi composto de duas séries de oito e três repetições com aproximadamente 50% e 70% respectivamente da carga máxima estimada (i.e., estimada nas sessões de familiarização), com dois minutos de intervalo entre as séries. Em seguida, após três minutos de intervalo a mensuração foi iniciada.

O valor de 1RM foi determinado no máximo em cinco tentativas com três minutos de intervalo entre elas. Os sujeitos foram encorajados verbalmente para a realização da força máxima. É importante ressaltar que qualquer tipo de ajuda durante a execução (mesmo que somente acompanhar o movimento com a mão na barra, sem exercer força aparente), invalidou a tentativa.

Os sujeitos executaram um ciclo completo de movimento (i.e. flexão e extensão dos joelhos em um angulo entre 0 e 90º). Um caixote de madeira com altura regulável foi posicionado atrás dos sujeitos como referência do deslocamento vertical para a realização do movimento na amplitude determinada de 90º. Fitas adesivas foram coladas no chão servindo de orientação para o posicionamento dos pés e como marcação para reprodução das sessões subsequentes. Adicionalmente, afim de verificar a reprodutibilidade das medidas, do 1RM, foi calculado o erro típico entre a última sessão de familiarização e a sessão de avaliação. O erro típico observado entre as medidas foi de 3,49 Kg (2,07%).

4.4 ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA MUSCULAR (ASTM)

Um ultrassom modo-B, com transdutor vetorial linear e frequência de 7,5 MHz (Samsung, Sonaance R3), foi utilizado para captar imagens no plano axial do RF e do VL da coxa dominante. Para a execução da medida, os voluntários foram posicionados deitados em uma maca em decúbito dorsal, com os joelhos estendidos, por 20 minutos a fim de ocorrer à distribuição dos fluídos corporais, eliminando possíveis acúmulos dos mesmos no membro inferior. Após 20 minutos, ainda posicionados na maca, os sujeitos foram instruídos a ficar o mais relaxado possível e um pesquisador experiente, por meio de palpação, identificou o epicôndilo lateral e o trocanter maior do fêmur, e a partir de ambos pontos demarcou com tinta semi-permanente a distância média entre os dois pontos. Em seguida, a pele foi demarcada transversalmente (i.e., ângulo de 90º com o epicôndilo lateral do fêmur) e a cada 2 cm para a realização das medidas. Orientado no plano axial, o transdutor foi alinhado perpendicularmente ao músculo e movido de uma posição medial para uma posição lateral ao longo dos pontos previamente marcados na pele. Muito cuidado foi tomado para que não ocorresse pressão sobre o tecido nos pontos de medição. As imagens foram gravadas para posterior análise. Em seguida as imagens obtidas pelo ultrassom foram abertas em power point (Microsoft, USA) e colocadas sequencialmente a fim de reconstruir a ASTM do RF e do VL. As medidas obtidas foram avaliadas pelo software de digitalização de imagens de uso livre (Madena 3.2.5, EyePhysics, Los Paladinos, USA) (REEVES, MAGANARIS & NARICI, 2004) (Figuras 2 e 3). Para verificar a reprodutibilidade da medida, antes de iniciar o protocolo de treinamento, os indivíduos compareceram ao laboratório em dois dias distintos respeitando um intervalo de 48 horas entre eles. O erro típico observado entre as medidas pré-treinamento foi de 0,35 cm^2 (1,08%).

Figura 2 - Imagem da área de secção transversa do reto femoral.

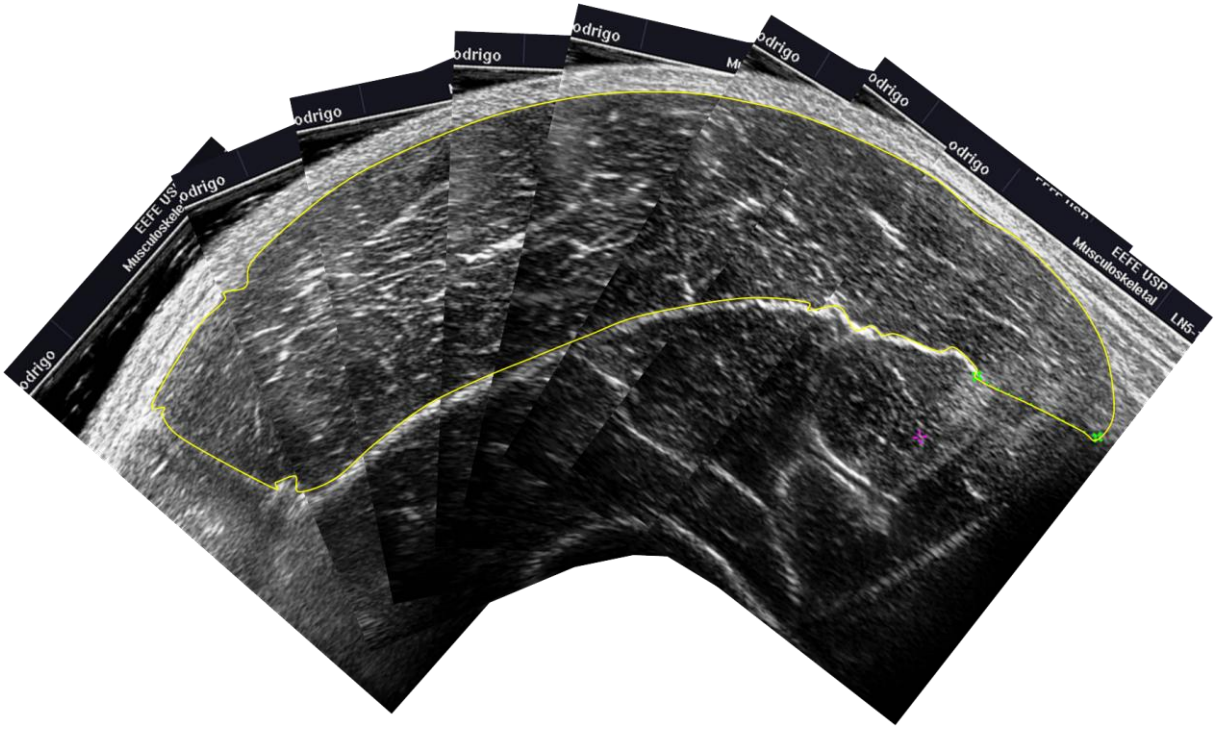

Figura 3 - Imagem da área de secção transversa do vasto lateral.

4.5 PROTOCOLO DE TREINAMENTO

O protocolo de treinamento foi constituído por dois exercícios para membros inferiores (meio agachamento e *Leg press* 45°) e teve duração de doze semanas, sendo dividido em três blocos de quatro semanas cada. O treinamento foi realizado com cinco séries de oito repetições máximas tanto no meio agachamento quanto no *leg press* para o grupo TFAV totalizando vinte séries semanais (i.e., 5 x 8 RM e 5 x 8 RM x duas sessões). Já o grupo TFMV treinou com quatro séries de oito repetições máximas de meio agachamento e três séries de oito repetições máximas no *leg press* na primeira sessão e quatro séries de oito repetições máximas no meio agachamento e quatro séries de oito repetições máximas para o *leg press* na segunda sessão da semana, totalizando quinze séries semanais (i.e., 4 x 8 RM e 3 x 8 RM + 4 x 8 RM e 4 x 8 RM). Por último, o grupo TFBV treinou com, três séries de oito repetições máximas para o meio agachamento e duas séries de oito repetições máximas para o *leg press*, totalizando dez séries semanais (i.e., 3 x 8 RM e 2 x 8 RM x duas sessões). A carga utilizada pelos sujeitos foi ajustada constantemente. O ajuste foi realizado da seguinte forma: quando os participantes realizassem ± duas repetições do prescrito a carga era aumentada ou diminuída. Adicionalmente para monitorar o treinamento foi utilizado a escala de percepção subjetiva de esforço (PSE) de omni. O protocolo de treinamento foi realizado duas vezes na semana respeitando 72 horas de intervalo entre as sessões. Ainda, foi adotado um intervalo de dois minutos entre as séries e de três minutos entre os exercícios. A intensidade, frequência e intervalo de recuperação do treinamento foram escolhidos por serem frequentemente utilizados em protocolos que visam à hipertrofia (AMERICAN COLLEGE OF SPORTS, 2009) (Tabela 2).

Tabela 2 - Protocolos de treinamento.

Grupos	Semanas 1-12		R/semana	R/total
TFAV	Segunda	Quinta		
Meio agachamento	5x8 (SxR)	5x8 (SxR)	160	1920
Leg press	5x8 (SxR)	5x8 (SxR)		
TFMV				
Meio agachamento	4x8 (SxR)	4x8 (SxR)	120	1440
Leg press	3x8 (SxR)	4x8 (SxR)		
TFBV				
Meio agachamento	3x8 (SxR)	3x8 (SxR)	80	960
Leg press	2x8 (SxR)	2x8 (SxR)		

Treinamento de força alto volume (TFAV), treinamento de força médio volume (TFMV) e treinamento de força baixo volume (TFBV). Séries (S), repetições (R) a cada semana e repetições das 12 semanas de treinamento.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A distribuição dos dados foi previamente analisada pelo teste de Shapiro-Wilk. Nenhuma observação extrema foi constatada, e todas as variáveis analisadas apresentaram distribuição normal. Para comparar os dados no momento pré-treinamento e atestar se o balanceamento estava adequado foi realizado ANOVA de uma via. Somente o volume total apresentou diferenças significantes entre os grupos na primeira semana de treino ($p < 0,05$). Para as variáveis que não apresentaram diferenças significantes no pré-treinamento foram utilizados modelos mistos tendo grupo, (TFAV, TFMV e TFBV) e tempo, (pré-treinamento, quatro semanas, oito semanas e pós-treinamento) como fatores fixos e sujeitos como fator aleatório. Como o volume total apresentou diferenças significantes na primeira semana de treino, foi utilizado um modelo misto com grupo, (TFAV, TFMV e TFBV) e tempo (quatro semanas, oito semanas e pós-treinamento), como fatores fixos e sujeitos como fator aleatório. Os valores do volume total da primeira semana foram utilizados como covariável. Além disso, dado que o grupo TFAV foi o único que hipertrofiou o

RF, foi testado se o aumento do RF e do VL foram diferentes entre si para esse grupo, quando comparado os valores do pré-treinamento com os do pós-treinamento. Dessa forma, um modelo misto tendo tempo (pré-treinamento e pós-treinamento) e região do quadríceps femoral (RF e VL) como fatores fixos e sujeitos como fator aleatório foi realizado. Quando um valor significante de F foi encontrado, um post hoc de Tukey foi utilizado para as comparações múltiplas. Adicionalmente, foi calculado o tamanho do efeito (TE) intragrupo. Para isso a média dos valores de cada momento (i.e., 4-semanas, 8-semanas e pós-treinamento) foi subtraída da média do valor pré-treinamento. Em seguida, o valor obtido foi dividido pelo desvio padrão do momento pré-treinamento (RHEA, 2004). O nível de significância adotado foi de ($p < 0,05$). Os dados foram apresentados como média e desvio padrão.

5 RESULTADOS

5.1 VOLUME DE TREINAMENTO

Na primeira semana de treinamento o volume total foi maior para o grupo TFAV (30.850 Kg) comparado com os grupos TFMV (20.274 Kg) e TFBV (13.750 Kg), ($p < 0,05$) e o volume do grupo TFMV foi maior quando comparado com o grupo TFBV, ($p < 0,05$). Dessa forma, dado a diferença entre os valores do volume total da primeira semana de treinamento, foi realizada uma ANCOVA considerando os valores da primeira semana como covariável. A covariável foi significante ($p < 0,0001$), indicando, como esperado, a importância das diferenças no volume de treino no pré-teste para a análise dessa variável. Houve apenas um efeito de tempo, com o aumento do volume ao longo do tempo, de maneira semelhante e significante entre os grupos ($p < 0,0001$). O aumento percentual observado da primeira para a décima segunda semana foi de TFAV (36%), TFMV (42%) e TFBV (38%). A soma do volume das doze semanas de treinamento foi de TFAV (total - 441.992 Kg; média/sessão - 18.416 Kg), TFMV (total - 303.776 Kg; média/sessão 12.657 Kg) e TFBV (total - 198.617 Kg; média/sessão 8.276 Kg) (Tabela 3).

Tabela 3 - Volume total de treinamento.

Grupos	Semana 1	Semana 4	Semana 8*	Semana 12*
TFAV	30850 (±7621)	35467 (±5849)	39296 (±8099)	41931 (±8416)
TFMV	20274 (±4464)	23951 (±5715)	27763 (±6617)	28816 (±7509)
TFBV	13749 (±2199)	16190 (±2910)	17567 (±3659)	18988 (±2925)

(séries x repetições x kg [meio agachamento] + séries x repetições x kg [*leg press*]) para os grupos treinamento de força alto volume (TFAV), treinamento de força médio volume (TFMV) e treinamento de força baixo volume (TFBV). * $p < 0,0001$ aumento em relação aos valores da primeira semana de treinamento.

5.2 FORÇA DINÂMICA MÁXIMA (1RM)

Os valores de 1RM não apresentaram diferença estatística entre os grupos no pré-treinamento ($p > 0,05$). Os grupos de treinamento apresentaram aumentos significantes da força dinâmica máxima em relação ao pré-treinamento na oitava semana [TFAV (11,8 ± 4,7%; $p < 0,0001$; TE = 0,91); TFMV (12,1 ± 8,5%; $p < 0,0001$; TE = 0,58) e TFBV (9,6 ± 7,3%; $p < 0,001$; TE = 0,48)] e no pós-treinamento [TFAV (13,9 ± 3,9%; $p < 0,0001$; TE = 1,08); TFMV (16,7 ± 10,8%; $p < 0,0001$; TE = 0,81) e TFBV (14,0 ± 8,1%; $p < 0,0001$; TE = 0,71)]. Ainda, todos os grupos de treinamento aumentaram a força máxima da quarta semana para o pós-treinamento [TFAV (7,3 ± 5,0%; $p < 0,05$; TE = 0,44); TFMV (10,1 ± 7,3%; $p < 0,05$; TE = 0,45) e TFBV (8,0 ± 5,0%; $p < 0,05$; TE = 0,43)]. Contudo, não houve aumentos significantes da oitava semana para o pós-treinamento ($p > 0,05$). Na comparação intergrupos não foram verificadas diferenças estatísticas em nenhum dos momentos avaliados ($p > 0,05$) (Figura 4).

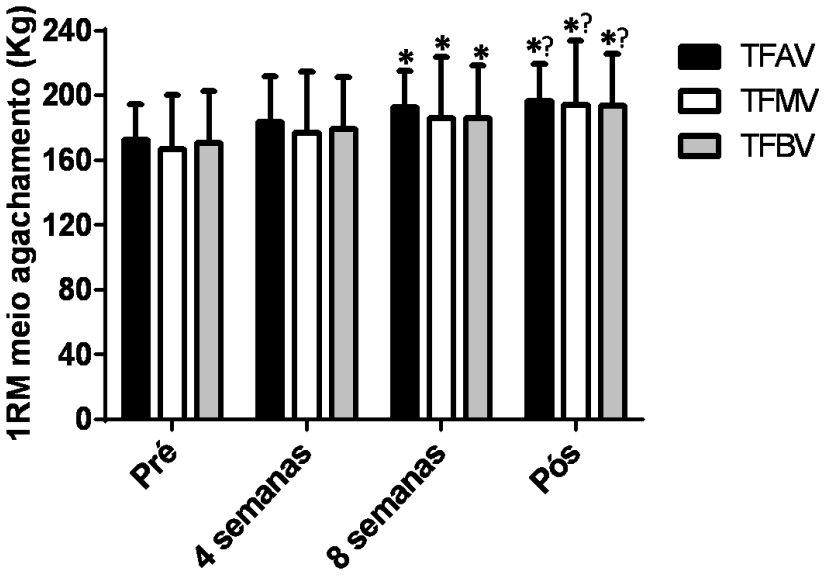

Figura 4 - Valores de força dinâmica máxima (1RM), (Kg, média ± DP) no exercício de meio agachamento para os grupos treinamento de força alto volume (TFAV), treinamento de força médio volume (TFMV) e treinamento de força baixo volume (TFBV). * - $p < 0,01$ aumento dos valores pós-treinamento em relação aos valores pré-treinamento. ? - $p < 0,05$ aumento dos valores pós-treinamento em relação aos valores de quatro semanas de treinamento.

5.3 ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA MUSCULAR (ASTM)

Os valores de ASTM do RF não apresentaram diferença estatística entre os grupos no pré-treinamento ($p > 0,05$). Apenas o grupo TFAV (15,0 ± 11,9%; $p < 0,001$; TE = 1,04) aumentou a ASTM do RF no pós-treinamento. No entanto, o grupo TFMV (9,1 ± 8,8%; $p = 0,067$; TE = 0,56) apresentou uma tendência ao aumento no pós-treinamento quando comparado com os valores pré-treinamento. Já o grupo TFBV (-0,1 ± 9,3%; $p = 1,00$; TE = -0,06) não teve aumento significativo quando comparado os valores do pós-treinamento com os valores do pré-treinamento. Nas comparações intergrupos não foram verificadas diferenças estatísticas para nenhum dos momentos avaliados ($p > 0,05$) (Figura 5).

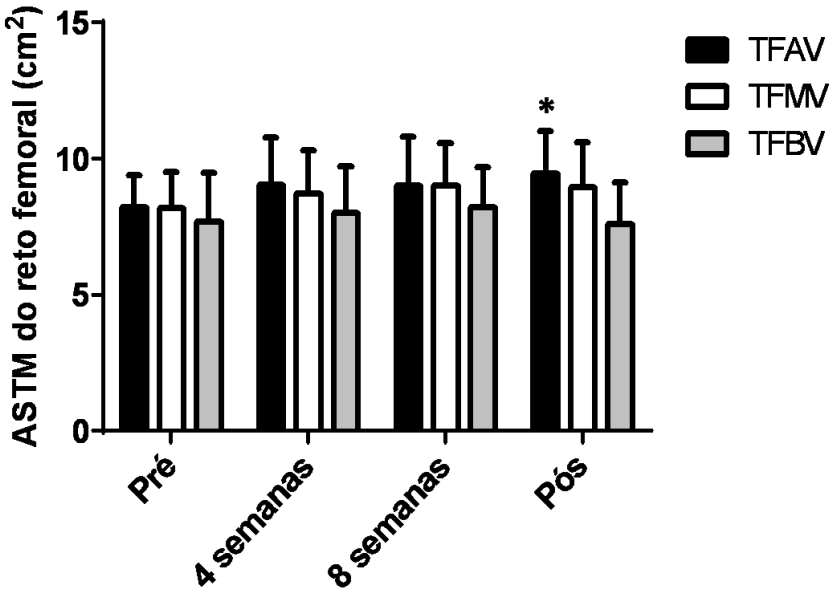

Figura 5 - Valores da área de secção transversa muscular (ASTM) do reto femoral, (cm^2, média ± DP) para os grupos treinamento de força alto volume (TFAV), treinamento de força médio volume (TFMV) e treinamento de força baixo volume (TFBV). * - $p < 0,001$ aumento dos valores pós-treinamento em relação aos valores do pré-treinamento.

Os valores de ASTM do VL não apresentaram diferença estatística entre os grupos no pré-treinamento ($p > 0,05$). O grupo TFAV (7,71 ± 4,42%; $p < 0,0001$; TE = 0,40) apresentou aumento após a quarta semana de treinamento, enquanto os grupos TFMV (5,35 ± 4,46%; $p > 0,05$; TE = 0,40) e TFBV (5,24 ± 2,88%; $p > 0,05$; TE = 0,36) não foram diferentes do momento pré-treinamento nessa semana. Após a oitava semana, todos os grupos apresentaram aumentos em comparação ao pré-treinamento [TFAV (11,37 ± 3,88%; $p < 0,0001$; TE = 0,61); TFMV (9,68 ± 9,36%; $p < 0,0001$; TE = 0,73) e TFBV (7,26 ± 3,15%; $p < 0,01$; TE = 0,49)]. Da mesma forma, o mesmo foi observado no pós-treinamento [TFAV (14,54 ± 4,07%; $p < 0,0001$; TE = 0,76); TFMV (14,77 ± 8,24%; $p < 0,0001$; TE = 1,11) e TFBV (8,66 ± 3,97%; $p < 0,001$; TE = 0,59)] quando comparado com os valores pré-treinamento. Adicionalmente, os grupos TFAV (6,83 ± 5,27%; $p < 0,05$; TE = 0,36) e TFMV (9,42 ± 5,49%; $p < 0,05$; TE = 0,66) aumentaram a ASTM do VL da quarta semana para o pós-treinamento, enquanto que o grupo TFBV (3,42 ± 3,42; $p > 0,05$; TE = 0,22) não apresentou aumento significativo. Na comparação intergrupos não foi verificado diferença estatística para nenhum dos momentos avaliados ($p > 0,05$) (Figura 6). Adicionalmente, o aumento da ASTM do RF e do VL não foi diferente para o grupo TFAV ($p > 0,05$), indicando que para maiores volumes de treinamento a resposta entre eles é semelhante.

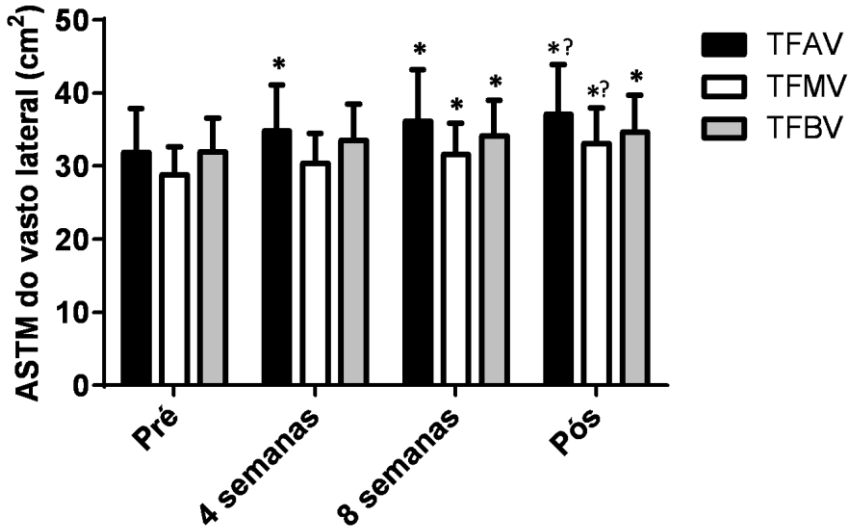

Figura 6 - Valores da área de secção transversa muscular (ASTM) do vasto lateral, (cm^2, média ± DP). para os grupos treinamento de força alto volume (TFAV), treinamento de força médio volume (TFMV) e treinamento de força baixo volume (TFBV). * - $p < 0,01$ aumento em relação aos valores pré-treinamento. ? - $p < 0,05$ aumento em relação aos valores de quatro semanas de treinamento.

6 DISCUSSÃO

O objetivo desse estudo foi verificar se diferentes volumes de TF produziriam diferentes ganhos de força e ASTM no quadríceps femoral (i.e., RF e VL) de indivíduos treinados. Os principais achados demonstraram que, independente do volume adotado, os ganhos de força máxima foram semelhantes entre os três grupos (i.e., TFAV, TFMV e TFBV). Por outro lado, a ASTM foi influenciada pelo volume de treinamento. Inicialmente, a ASTM do RF aumentou significativamente apenas para o grupo TFAV e isso ocorreu apenas no pós-treinamento, indicando que indivíduos treinados necessitam de maiores volumes de treinamento para hipertrofiar essa região específica do quadríceps femoral. Já o VL apresentou uma dinâmica diferente entre os momentos avaliados. Foi observado que apenas o grupo TFAV hipertrofiou com quatro semanas de treinamento, sugerindo um efeito do volume de treinamento na temporalidade do aumento do VL. Contudo, no final das doze semanas de treinamento, os ganhos de ASTM do VL foram semelhantes entre os grupos. Por último, apenas os grupos TFAV e TFMV apresentaram aumento significante do VL da quarta semana para o pós-treinamento. Com o intuito de facilitar a presente discussão, a mesma será dividida em duas partes.

6.1 O EFEITO DE DIFERENTES VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA NA PRODUÇÃO DA FORÇA.

Embora vários fatores (e.g., tempo de protocolo, seleção dos exercícios, grupo muscular avaliado, tempo de intervalo entre séries, nível de treinamento, intensidade e volume de treinamento) possam contribuir no ganho de força máxima, de modo geral, os estudos com indivíduos treinados que avaliaram a força máxima em uma periodicidade semelhante a do presente estudo observaram aumentos entre 5 - 20%, valores próximos aos encontrados no presente estudo (~ 15%) (HASS et al., 2000; HOFFMAN, RATAMESS, KLATT, FAIGENBAUM, ROSS, TRANCHINA, MCCURLEY, KANG & KRAEMER, 2009; MANGINE et al., 2015; OSTROWSKI, 1997; SCHOENFELD, PETERSON, OGBORN, CONTRERAS & SONMEZ, 2015; SCHOENFELD, RATAMESS, PETERSON, CONTRERAS & TIRYAKI-SONMEZ,

2015). No presente estudo, embora tenha sido observado aumentos semelhantes na força dinâmica máxima entre os grupos TFAV (13,9 ± 3,9%; p < 0,0001; TE = 1,08), TFMV (16,7 ± 10,8%; p < 0,0001; TE = 0,81) e TFBV (14,0 ± 8,1%; p < 0,0001; TE = 0,71) no pós-treinamento quando comparado com os valores do pré-treinamento, observou-se que o TE aumenta de acordo com o aumento do volume de treinamento, sendo que o grupo TFAV quando comparado com o grupo TFBV apresentou 52% de aumento do TE. O TE tem sido utilizado como uma alternativa metodológica para se observar a magnitude do efeito do treinamento (RHEA, 2004). Sua utilização tem grande implicação prática, dado que sua interpretação não depende da separação entre significante (i.e., p < 0,05) ou não significante (i.e., p > 0,05), o que muitas vezes limita os achados. Adicionalmente, tem sido observado que a magnitude do ganho de força diminui ao longo do processo de treinamento, sendo que indivíduos que já praticam TF a anos ganham menos força quando comparado com indivíduos destreinados (AHTIAINEN, PAKARINEN, ALEN, KRAEMER & HAKKINEN, 2003). De acordo com Rhea (2004), para indivíduos treinados (i.e., entre 1-5 anos de treinamento), valores abaixo de (0,35) o TE é considerado trivial, valores entre (0,35 - 0,80) o TE é considerado pequeno, enquanto valores entre (0,80 - 1,50) o TE é considerado moderado. Dessa forma, considerando os valores de TE acima descritos, observa-se um efeito moderado para os grupo TFAV e TFMV, enquanto para o grupo TFBV o efeito foi pequeno. Assim, apesar do aumento do volume não ter afetado a produção de força máxima de maneira significante, as diferenças observadas no TE, sugerem que maiores volumes podem produzir ganhos de força um pouco mais acentuados em indivíduos treinados. Os dados do presente estudo corroboram com Ostrowsky et al. (1997), em que os indivíduos treinados também não obtiveram diferença estatística no aumento nos valores de 1RM no exercício de meio agachamento entre os diferentes volumes adotados (ie., 3-séries, 6-séries e 12-séries semanais). Os valores de aumento observado por Ostrowsky et al. (1997), foram de (11,6%; TE = 0,69, 5,5%; TE = 0,35 e 7,5%; TE = 0,35) para os grupos alto, médio e baixo volume respectivamente. Notavelmente, o TE observado para o grupo TFBV (i.e., 10-séries semanais) do presente estudo foi próximo ao TE do grupo alto volume de Ostrowsky et al. (1997), (i.e., 12-séries semanais), indicando uma magnitude de ganho de força muito próxima entre os estudos. Por outro lado, os resultados do presente estudo

diferem de Marshall, McEwen e Robbins (2011), que relataram maiores aumentos da força máxima para o grupo de alto volume (i.e., 8-séries na sessão) quando comparado com os grupos médio (i.e., 4-séries na sessão) e baixo volume (i.e., 1-série na sessão). No referido estudo, a força máxima no exercício de meio agachamento foi avaliada após três, seis e dez semanas de treinamento. Apenas o grupo alto volume aumentou a força (11,0%) após três semanas de treinamento, enquanto os grupos médio e baixo volume não apresentaram diferença estatística quando comparado com os valores pré-treino (10,8% e 4,7%, respectivamente). Ainda, foi observado que após seis e dez semanas de treinamento, embora todos os grupos tenham apresentado aumento na força máxima quando comparado com o pré-treino, o grupo alto volume obteve maiores aumentos do que os grupos médio e baixo volume tanto com seis, quanto com dez semanas de treinamento. Os valores observados após seis semanas de treinamento, para os grupos alto, médio e baixo volume foram de (19,7%; 13,4% e 10,7%, respectivamente), enquanto que na décima semana foram de 22,8%; 14,0% e 11,4% para os grupos alto, médio e baixo volume respectivamente. Novamente, os dados do estudo mencionado acima diferem do presente estudo, uma vez que a força aumentou estatisticamente apenas na oitava semana de treino e não diferiu entre os diferentes volumes adotados em nenhum momento avaliado. Embora especulativo, as diferenças nos achados podem em parte, estarem relacionadas ao volume de treinamento adotado por Marshall, McEwen e Robbins (2011) no exercício de meio agachamento. Eles utilizaram apenas o exercício de meio agachamento para membros inferiores, enquanto no presente estudo os indivíduos realizaram o exercício de meio agachamento e *leg press*. Assim, os indivíduos do grupo alto volume (i.e., 8-séries) no estudo de Marshall, McEwen e Robbins (2011), realizaram maior número de séries no meio agachamento na sessão comparado com os indivíduos do presente estudo (i.e., TFAV 5-séries, TFMV 4-séries e TFBV 3-séries). Devido ao fato de que a avaliação foi realizada no exercício de meio agachamento tanto no presente estudo quanto no estudo de Marshall, McEwen e Robbins (2011), o maior número de séries realizadas no meio agachamento no estudo de Marshall, McEwen e Robbins (2011), pode ter contribuído para que os indivíduos ganhassem força mais rapidamente. De fato, quando comparado o grupo médio volume que realizou o mesmo número de séries (i.e., 4-séries) do presente estudo, observa-se que a força aumentou apenas após a

sexta semana de treinamento e com um ganho percentual de 13,4%, valor esse próximo ao observado pelo grupo TFMV (i.e., 12,1%) do presente estudo. Contudo, é preciso ressaltar que a temporalidade das avaliações diferem entre o presente estudo e o de Marshall, McEwen e Robbins (2011), o que dificulta as comparações. Entretanto, de acordo com os achados de Marshall, McEwen e Robbins (2011), coletivamente, com os resultados do TE de Ostrowsky et al. (1997), e do presente estudo é possível sugerir que maiores volumes de treinamento podem otimizar os ganhos de força em indivíduos treinados.

Ainda, no presente estudo foi observado que a força máxima atingiu aumento significativo apenas na oitava semana de treinamento, quando comparado com o pré-treinamento, TFAV (11,8%; $p < 0,0001$; TE = 0,91), TFMV (12,1%; $p < 0,0001$; TE = 0,58) e TFBV (9,6%; $p < 0,001$; TE = 0,48). Adicionalmente, também foi observado maiores valores da força quando comparado o pós-treinamento com a quarta semana de treinamento, TFAV (7,3 ± 5,0%; $p < 0,05$; TE = 0,44), TFMV (10,1 ± 7,3%; $p < 0,05$; TE = 0,45) e TFBV (8,0 ± 5,0%; $p < 0,05$; TE = 0,43). De maneira geral, os ganhos de força são dependentes tanto das adaptações neurais quanto do aumento da ASTM (MORITANI & DEVRIES, 1979). No entanto, conforme o indivíduo aumenta seu nível de treinamento, a contribuição da adaptação neural passa a ser menor nos ganhos de força, sendo esta mais dependente do aumento da ASTM (MORITANI & DEVRIES, 1979). Assim, uma vez que a adaptação neural é menor em indivíduos treinados, e o ganho de força passa a ser mais dependente do aumento da ASTM, provavelmente maior tempo de treinamento seja necessário para ser observado ganhos significativos de força máxima como os observados no presente estudo.

6.2 O EFEITO DE DIFERENTES VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA NA HIPERTROFIA MUSCULAR.

Diferentemente do que se observou nos ganhos da força máxima, a ASTM apresentou uma resposta dependente do volume de treinamento. Inicialmente, a ASTM do RF aumentou significativamente apenas para o grupo TFAV e isso ocorreu apenas no pós-treinamento [i.e., TFAV (15,0 ± 11,9%; $p < 0,001$; TE = 1,04); TFMV (9,1 ± 8,8%; $p = 0,067$; TE = 0,56) e TFBV (-0,1 ± 9,3%; $p =1,00$; TE = -0,06)]. Os dados do presente estudo vão ao encontro dos de Mangine et al., (2015). No referido estudo, os autores também não observaram aumento da ASTM do RF com um protocolo de oito semanas de duração e um volume semanal de vinte quatro séries, em indivíduos treinados, sugerindo que mesmo com maiores volumes, períodos de treinamento mais longos (i.e., 12-semanas) são necessários para se hipertrofiar o RF em indivíduos treinados. Por outro lado, Ostrowsky et al. (1997), verificaram que após dez semanas de treinamento a ASTM do RF em indivíduos treinados aumentou de maneira significativa para os três grupos avaliados, independente do volumes semanal adotado (i.e., 3-séries, 6-séries e 12-séries). No entanto, cabe enfatizar que no programa de treinamento do estudo de Ostrowsky et al. (1997), os indivíduos treinaram com exercícios multiarticulares (i.e., agachamento e *leg press*) e uniarticular (i.e., cadeira extensora), enquanto que no estudo de Mangine et al (2015) e no presente estudo apenas exercícios multiarticulares foram utilizados. Assim sendo, o fato dos indivíduos terem treinado na cadeira extensora no estudo de Ostrowskyet al. (1997), pode ter influenciado nos achados, uma vez que tem sido demonstrado que exercícios uniarticulares (i.e., cadeira extensora) podem gerar maior ativação neural do RF (EBBEN et al., 2009; ESCAMILLA, FLEISIG, ZHENG, BARRENTINE, WILK & ANDREWS, 1998). Adicionalmente, estudos que utilizaram o exercício de extensão de joelho (i.e., cadeira extensora) têm observado maior resposta hipertrófica para o RF quando comparado as outras regiões do quadríceps femoral (EMA et al., 2013; NARICI et al., 1996). Por outro lado, o RF parece hipertrofiar menos quando comparado a outras regiões do quadríceps femoral com a prática de apenas exercícios multiarticulares (EARP et al., 2015). No presente estudo os três grupos (i.e., TFAV; TFMV e TFBV) executaram apenas exercícios multiarticulares (i.e., meio agachamento e *leg press*), o que pode

ter contribuído para que os grupos TFMV e TFBV não demonstrassem aumento significativo do RF após doze semanas de protocolo, uma vez que, parece que o reto femoral é menos responsivo para exercícios multiarticulares. Contudo, os achados devem ser analisados com cautela, dado que o grupo TFAV demonstrou aumento significativo para o RF após doze semanas de TF (15%; $p < 0,0001$; TE = 1,04). Adicionalmente embora não tenha apresentado diferença estatística o grupo TFMV apresentou uma tendência ao aumento (i.e., 9,1 ± 8,8%; $p = 0,067$; TE = 0,56) enquanto que o grupo TFBV não apresentou nenhum aumento (-0,1%; $p = 1,0$; TE = -0,06), sugerindo que quando utiliza-se apenas de exercícios multiarticulares em indivíduos treinados, o aumento do RF é dependente do volume e do tempo de treinamento.

Os possíveis mecanismos relacionados ao volume de treinamento e a hipertrofia do RF no presente estudo ainda não são claros. Entretanto, Finn et al. (2014), avaliaram o efeito do volume (i.e., número de séries) na produção da força isométrica máxima e sua relação com a ativação neural do VL em indivíduos treinados. Para isso os indivíduos realizaram uma sessão de oito séries de agachamento búlgaro a 75% da contração voluntária máxima. A produção da força isométrica máxima foi avaliada ao final de cada série e a ativação neural foi avaliada durante a execução de todo o exercício. Foi observado que embora a produção da força isométrica máxima tenha diminuído ao longo das oito séries, a ativação do VL atingiu seu máximo na terceira série, sugerindo que com o aumento do número de séries outras cabeças do quadríceps femoral, como o RF, possivelmente sejam mais ativadas afim de compensar a diminuição da produção de força de outras delas.

No que refere-se a ASTM do VL o principal achado foi que o grupo que treinou com maior volume (i.e., TFAV) apresentou um aumento mais rápido do VL quando comparado com os outros dois grupos (i.e., TFMV e TFBV), ou seja, quando comparado os valores de ASTM do VL da quarta semana com o pré-treinamento, apenas o grupo TFAV apresentou aumento estatístico (7,71%; $p < 0,0001$; TE = 0,40), enquanto os grupos TFMV (5,35 ± 4,46%; $p > 0,05$; TE = 0,40) e TFBV (5,24 ± 2,88%; $p > 0,05$; TE = 0,36) não aumentaram. De modo geral, estudos têm demonstrado que o quadríceps femoral apresenta aumento significativo da ASTM entre a terceira e quarta semana de treinamento (DEFREITAS et al., 2011; SEYNNES, DE BOER & NARICI, 2007). No entanto, apenas indivíduos destreinados

foram avaliados. Dessa forma, estudos que avaliaram o ganho de massa muscular em curtos períodos de treinamento são escassos. O primeiro estudo que avaliou o aumento da massa muscular em indivíduos treinados em curto período de treinamento foi realizado por Ribeiro et al., (2015). Utilizando a técnica de densitometria por dupla emissão de raios-x (DEXA), os autores demonstraram em fisiculturistas que após quatro semanas de protocolo com alto volume a massa magra teve aumento significativo. Contudo, é preciso ressaltar que o aumento da massa muscular não foi avaliado localmente (i.e., quadríceps femoral), dificultando o entendimento da resposta localizada. Assim, o presente estudo é o primeiro a avaliar o aumento da ASTM do VL com apenas quatro semanas de treinamento em indivíduos treinados, frente a diferentes volumes, demonstrando que para indivíduos treinados protocolos com maiores volumes são mais vantajosos a curto prazo quando se deseja o aumento da ASTM. O presente achado possui grande implicação prática principalmente para indivíduos que precisam de ganho de massa muscular mais rápido como atletas e fisiculturistas.

Por outro lado, a ASTM do VL a partir da oitava semana de treinamento aumentou para todos os grupos independente do volume de treinamento [TFAV (11,37%; $p < 0,0001$; TE = 0,61); TFMV (9,68%; $p < 0,0001$; TE = 0,73) e TFBV (7,26%; $p < 0,01$; TE = 0,49)]. O mesmo foi observado no pós-treinamento [TFAV (14,54%; $p < 0,0001$; TE = 0,76); TFMV (14,77%; $p < 0,0001$; TE = 1,11) e TFBV (8,66%; $p < 0,001$; TE = 0,59)]. No entanto, embora não tenha sido observado diferença intergrupos, os grupos TFAV e TFMV apresentaram maior ganho percentual e maior TE quando comparado ao grupo TFBV no pós-treinamento. Assim, apesar de não verificado diferença estatística entre os grupos nos ganhos da ASTM do VL, os TE observados nos grupos TFAV e TFMV sugerem, pelo menos em parte um efeito do volume de treinamento no aumento da ASTM do VL, favorecendo do ponto de vista prático treinamentos com maiores volumes em indivíduos treinados.

7 CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo demonstraram que doze semanas de treinamento de força em indivíduos treinados foi eficiente para promover aumento da força máxima e da ASTM. Além disso, observou-se que o aumento da força máxima não foi influenciado pelo volume de treinamento empregado. Por outro lado, o volume de treinamento gerou diferentes dinâmicas de hipertrofia nas cabeças do músculo quadríceps femoral, sendo que o RF apresentou menor responsividade em relação ao VL.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, T. et al. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. **European Journal of Applied Physiology**, v.81, n.3, p.174-80, 2000.

AHTIAINEN, J. P. et al. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. **European Journal of Applied Physiology**, v.89, n.6, p.555-63, 2003.

_____. Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: influence on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.19, n.3, p.572-82, 2005.

ALFREDSON, H. et al. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. **American Joural of Sports Medicine**, v.26, n.3, p.360-6, 1998.

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS, M. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.41, n.3, p.687-708, 2009.

BAKER, J. S. et al. Strength and body composition changes in recreationally strength-trained individuals: comparison of one versus three sets resistance-training programmes. **Biomedical Research International**, v.2013, p.615901, 2013.

BEATTIE, K. et al. The effect of strength training on performance in endurance athletes. **Sports Medicine**, v.44, n.6, p.845-65, 2014.

BIRD, S. P.; TARPENNING, K. M.; MARINO, F. E. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. **Sports Medicine**, v.35, n.10, p.841-51, 2005.

BROWN, L. E.; WEIR, J. P. ASEP procedures recomendation I: accurate assessment of muscular strength and power. **Journal of Exercise Physiology**, v.4, n.3, p.21, 2001.

BURD, N. A. et al. Resistance exercise volume affects myofibrillar protein synthesis and anabolic signalling molecule phosphorylation in young men. **The Journal of Physiology**, v.588, n.Pt 16, p.3119-30, 2010a.

BURD, N. A. et al. Low-load high volume resistance exercise stimulates muscle protein synthesis more than high-load low volume resistance exercise in young men. **PLoS One**, v.5, n.8, p.e12033, 2010b.

CARPINELLI, R. N.; OTTO, R. M. Strength training. Single versus multiple sets. **Sports Medicine**, v.26, n.2, p.73-84, 1998.

DEFREITAS, J. M. et al. An examination of the time course of training-induced skeletal muscle hypertrophy. **European Journal of Applied Physiology**, v.111, n.11, p.2785-90, 2011.

DESCHENES, M. R.; KRAEMER, W. J. Performance and physiologic adaptations to resistance training. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v.81, n.11 Suppl, p.S3-16, 2002.

EARP, J. E. et al. Inhomogeneous Quadriceps Femoris Hypertrophy in Response to Strength and Power Training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.47, n.11, p.2389-97, 2015.

EBBEN, W. P. et al. Muscle activation during lower body resistance training. **International Journal of Sports and Medicine**, v.30, n.1, p.1-8, 2009.

EMA, R. et al. Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training. **European Journal of Applied Physiology**, v.113, n.11, p.2691-703, 2013.

ESCAMILLA, R. F. et al. Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.30, n.4, p.556-69, 1998.

FARTHING, J. P.; CHILIBECK, P. D. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. **European Journal of Applied Physiology**, v.89, n.6, p.578-86, 2003.

FOLLAND, J. P.; WILLIAMS, A. G. The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. **Sports Medicine**, v.37, n.2, p.145-68, 2007.

FONSECA, R. M. et al. Changes in exercises are more effective than in loading schemes to improve muscle strength. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.28, n.11, p.3085-92, 2014.

GALVAO, D. A.; TAAFFE, D. R. Resistance exercise dosage in older adults: single- versus multiset effects on physical performance and body composition. **Journal of American Geriatrics Society**, v.53, n.12, p.2090-7, 2005.

GARBER, C. E. et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.43, n.7, p.1334-59, 2011.

GONZALEZ-BADILLO, J. J. et al. Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.19, n.3, p.689-97, 2005.

HASS, C. J. et al. Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.32, n.1, p.235-42, 2000.

HOFFMAN, J. R. et al. Comparison between different off-season resistance training programs in Division III American college football players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.23, n.1, p.11-9, 2009.

HUMBURG, H. et al. 1-Set vs. 3-set resistance training: a crossover study. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.21, n.2, p.578-82, 2007.

KELLY, S. B. et al. The effect of single versus multiple sets on strength. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.21, n.4, p.1003-6, 2007.

KEMMLER, W. K. et al. Effects of single- vs. multiple-set resistance training on maximum strength and body composition in trained postmenopausal women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.18, n.4, p.689-94, 2004.

KIM, P. L.; STARON, R. S.; PHILLIPS, S. M. Fasted-state skeletal muscle protein synthesis after resistance exercise is altered with training. **Journal of Physiology**, v.568, n.Pt 1, p.283-90, 2005.

KRAEMER, W. J.; RATAMESS, N. A. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.36, n.4, p.674-88, 2004.

KRIEGER, J. W. Single vs. multiple sets of resistance exercise for muscle hypertrophy: a meta-analysis. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.24, n.4, p.1150-9, 2010.

KUMAR, V. et al. Muscle protein synthetic responses to exercise: effects of age, volume, and intensity. **Journals of Gerontology**, v.67, n.11, p.1170-7, 2012.

MANGINE, G. T. et al. The effect of training volume and intensity on improvements in muscular strength and size in resistance-trained men. **Physiological Reports**, v.3, n.8, 2015.

MARSHALL, P. W.; MCEWEN, M.; ROBBINS, D. W. Strength and neuromuscular adaptation following one, four, and eight sets of high intensity resistance exercise in trained males. **European Journal of Applied Physiology**, v.111, n.12, p.3007-16, 2011.

MCBRIDE, J. M.; BLAAK, J. B.; TRIPLETT-MCBRIDE, T. Effect of resistance exercise volume and complexity on EMG, strength, and regional body composition. **European Journal of Applied Physiology**, v.90, n.5-6, p.626-32, 2003.

MCLESTER, J. R.; BISHOP, P.; GUILLIAMS, M. E. Comparison of 1 Day and 3 Days Per Week of Equal-Volume Resistance Training in Experienced Subjects. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.14, n.3, p.9, 2000.

MITCHELL, C. J. et al. 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. et al. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. **Journal of Applied Physiology (1985)**, v.113, n.1, p.71-7, 2012.

MONTEIRO, A. G. et al. Nonlinear periodization maximizes strength gains in split resistance training routines. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.23, n.4, p.1321-6, 2009.

MORITANI, T.; DEVRIES, H. A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. **American Journal of Physical Medicine**, v.58, n.3, p.115-30, 1979.

MUNN, J. et al. Resistance training for strength: effect of number of sets and contraction speed. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.37, n.9, p.1622-6, 2005.

NACLERIO, F. et al. Effects of different resistance training volumes on strength and power in team sport athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.27, n.7, p.1832-40, 2013.

NARICI, M. V. et al. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. **Acta Physiology Scandinavian**, v.157, n.2, p.175-86, 1996.

OGASAWARA, R. et al. Time course for arm and chest muscle thickness changes following bench press training. **Interventional Medicine & Applied Science**, v.4, n.4, p.217-20, 2012.

OSTROWSKI, K. J. W. G. J. W. R. M., P. W. LYTTLE A. D. The Effect of Weight Training Volume on Hormonal Output and Muscular Size and Function. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.11, n.1, p.7, 1997.

PAULSEN, G.; MYKLESTAD, D.; RAASTAD, T. The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.17, n.1, p.115-20, 2003.

PETERSON, M. D.; RHEA, M. R.; ALVAR, B. A. Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.18, n.2, p.377-82, 2004.

_____. Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.19, n.4, p.950-8, 2005.

PHILLIPS, S. M. et al. Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. **American Journal of Physiology**, v.276, n.1 Pt 1, p.E118-24, 1999.

PRESTES, J. et al. Comparison between linear and daily undulating periodized resistance training to increase strength. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.23, n.9, p.2437-42, 2009.

RADAELLI, R. et al. Dose-response of 1, 3, and 5 sets of resistance exercise on strength, local muscular endurance, and hypertrophy. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.29, n.5, p.1349-58, 2015.

REEVES, N. D.; MAGANARIS, C. N.; NARICI, M. V. Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. **European Journal of Applied Physiology**, v.91, n.1, p.116-8, 2004.

RHEA, M. R. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.18, n.4, p.918-20, 2004.

RHEA, M. R. et al. Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.16, n.4, p.525-9, 2002a.

RHEA, M. R.; ALVAR, B. A.; BURKETT, L. N. Single versus multiple sets for strength: a meta-analysis to address the controversy. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v.73, n.4, p.485-8, 2002.

RHEA, M. R. et al. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.35, n.3, p.456-64, 2003.

RHEA, M. R. et al. A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for strength. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.16, n.2, p.250-5, 2002b.

RONNESTAD, B. R. et al. Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.21, n.1, p.157-63, 2007.

SCHLUMBERGER, A.; STEC, J.; SCHMIDTBLEICHER, D. Single- vs. multiple-set strength training in women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.15, n.3, p.284-9, 2001.

SCHOENFELD, B. J. et al. Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.29, n.10, p.2954-63, 2015.

SCHOENFELD, B. J. et al. Influence of Resistance Training Frequency on Muscular Adaptations in Well-Trained Men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.29, n.7, p.1821-9, 2015.

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

SOONESTE, H. et al. Effects of training volume on strength and hypertrophy in young men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.27, n.1, p.8-13, 2013.

STARKEY, D. B. et al. Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.28, n.10, p.1311-20, 1996.

STOCK, M. S. et al. Evidence of muscular adaptations within four weeks of barbell training in women. **Human Movement Science**, v.45, p.7-22, 2016.

TERZIS, G. et al. The degree of p70 S6k and S6 phosphorylation in human skeletal muscle in response to resistance exercise depends on the training volume. **European Journal of Applied Physiology**, v.110, n.4, p.835-43, 2010.

WERNBOM, M.; AUGUSTSSON, J.; THOMEE, R. The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. **Sports Medicine**, v.37, n.3, p.225-64, 2007.

WILKINSON, S. B. et al. Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. **Journal of Physiology**, v.586, n.Pt 15, p.3701-17, 2008.

WOLFE, B. L.; LEMURA, L. M.; COLE, P. J. Quantitative analysis of single- vs. multiple-set programs in resistance training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.18, n.1, p.35-47, 2004.