

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Efeito da restrição do fluxo sanguíneo durante o intervalo de repouso entre as séries do treinamento de força sobre o estresse metabólico, a ativação muscular e os ganhos de força e de massa muscular

Emerson Luiz Teixeira

São Paulo
2017

EMERSON LUIZ TEIXEIRA

Efeito da restrição do fluxo sanguíneo durante o intervalo de repouso entre as séries do treinamento de força sobre o estresse metabólico, a ativação muscular e os ganhos de força e de massa muscular

Versão Corrigida

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

Área de Concentração: Estudos Biodinâmicos da Educação Física e Esporte

Orientador: Prof. Dr. Valmor Alberto Augusto Tricoli

São Paulo

2017

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.

Catálogo da Publicação
Serviço de Biblioteca
Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Teixeira, Emerson Luiz

Efeito da restrição do fluxo sanguíneo durante o intervalo de repouso entre as séries do treinamento de força sobre o estresse metabólico, a ativação muscular e os ganhos de força e de massa muscular / Emerson Luiz Teixeira.-- São Paulo : [s.n.], 2017.

59p.

Dissertação (Mestrado) - Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Valmor Alberto Augusto Tricoli

1. Treinamento de força 2. Massa muscular I. Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: TEIXEIRA, Emerson Luiz

Título: Efeito da restrição do fluxo sanguíneo durante o intervalo de repouso entre as séries do treinamento de força sobre o estresse metabólico, a ativação muscular e os ganhos de força e de massa muscular

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

Data: ___/___/___

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

RESUMO

TEIXEIRA, E.L. **Efeito da restrição do fluxo sanguíneo durante o intervalo de repouso entre as séries do treinamento de força sobre o estresse metabólico, a ativação muscular e os ganhos de força e de massa muscular.** 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2017.

O objetivo desse estudo foi investigar, no treinamento de força (TF) de alta intensidade, o efeito da aplicação da restrição do fluxo sanguíneo (RFS) durante os intervalos de descanso entre as séries (RFS-I), durante as contrações musculares (RFS-C), ou sem a RFS (TF-AI) em comparação à aplicação da RFS de maneira contínua no TF de baixa intensidade (RFS-S), sobre o torque isométrico máximo (TIM), a força dinâmica máxima (1RM), a área de secção transversa do quadríceps femoral (ASTQ), a concentração de lactato sanguíneo [La] e a amplitude do sinal eletromiográfico (RMS). Quarenta e nove voluntários do sexo masculino, com idade entre 18 e 35 anos, participaram de oito semanas de TF com uma frequência de duas sessões semanais. Foi utilizada a extensão unilateral de joelho nas seguintes condições: RFS-I (3 x 8 repetições, 70% 1RM), RFS-C (3 x 8 repetições, 70% 1RM), TF-AI (3 x 8 repetições, 70% 1RM) e RFS-S (3 x 15 repetições, 20% 1RM). Os resultados demonstraram ganhos similares de TIM entre as condições RFS-I (7,8%); RFS-C (6,5%); TF-AI (6,3%) e RFS-S (7,3%). Já no teste de 1RM, apesar da ausência de diferenças estatísticas, maiores tamanhos de efeito foram observados para as condições de alta intensidade RFS-I (12,8%; TE=0,69); RFS-C (11,5%; TE=0,58) e TF-AI (12,2%; TE=0,52) em comparação a de baixa intensidade RFS-S (6,4%; TE=0,25). Não houve diferença significativa no aumento da ASTQ entre as condições RFS-I (7,7%); RFS-C (7,0%); TF-AI (7,3%) e RFS-S (6,1%). O valor pico obtido na [La] foi maior na primeira sessão para RFS-I (4,0 mmol.L⁻¹) comparado à RFS-C (2,7 mmol.L⁻¹); TF-AI (3,4 mmol.L⁻¹) e RFS-S (3,5 mmol.L⁻¹). Na última sessão, esse aumento foi superior para RFS-I (4,8 mmol.L⁻¹) quando comparado à primeira sessão e às condições RFS-C (3,0 mmol.L⁻¹); TF-AI (3,1 mmol.L⁻¹) e RFS-S (3,4 mmol.L⁻¹). A alteração na RMS (média entre as séries) foi similar entre as condições de alta intensidade na primeira sessão RFS-I (145,3%); RFS-C (150,3%) e TF-AI (154,5%) e maiores que a RFS-S (106,7%). Na última sessão, RFS-I (140,7%); RFS-C (154%) e TF-AI (157,4%) foram novamente similares entre si e maiores que RFS-S (97,3%). A RMS na primeira sessão diminuiu da primeira para terceira série (18,9%) na condição RFS-I, sem alterações na última sessão. Por último, apenas a condição RFS-S aumentou a RMS da primeira para a última série, na primeira (18,9%) e última sessão (29,8%) de treino. Em conclusão, embora os ganhos de força isométrica e dinâmica tenham sido similares entre as condições, a força dinâmica aumentou em maior magnitude para as condições de alta intensidade, possivelmente pelos maiores níveis de ativação muscular. Contudo, apesar da RFS-I promover maior estresse metabólico, isso não gerou efeitos adicionais sobre a ativação muscular e os ganhos de massa muscular. Uma provável explicação é que em condições com elevado estresse mecânico o aumento do estresse metabólico não causa efeitos adicionais aos já obtidos pela própria intensidade do treinamento de força.

Palavras-chave: exercício com restrição de fluxo sanguíneo; recrutamento muscular; metabólitos; hipertrofia muscular e treinamento de força.

ABSTRACT

TEIXEIRA, E.L. **Effect of blood flow restriction during the rest interval between sets of resistance training on metabolic stress, muscle activation and strength and muscle mass gains.** 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2017.

The aim of this study was to investigate, in high intensity resistance training (RT), the effect of blood flow restriction (BFR) applied during rest intervals (BFR-I), during muscle contractions (BFR-C) or without BFR (HI-RT), compared to BFR applied continuously in low-intensity RT (BFR-S), on maximum isometric torque (MIT), maximum dynamic strength (1RM), quadriceps cross-sectional area (QCSA), blood lactate concentration [La] and amplitude of the surface EMG signal (RMS). Forty nine men, age 18-35 years, trained twice per week for a period of eight weeks. They performed unilateral knee extension exercise in the following conditions: BFR-I (3 x 8 repetitions, 70% 1RM), BFR-C (3 x 8 repetitions, 70% 1RM), HI-RT (3 x 8 repetitions, 70% 1RM), and BFR-S (3 x 15 repetitions, 20% 1RM). The results demonstrated similar increases in MIT among all conditions: BFR-I (7.8%), BFR-C (6.5%), HI-RT (6.3%), and BFR-S (7.3%). Despite the lack of statistical differences among groups in the 1RM test, higher effect sizes (ES) were observed for BFR-I (12.8%, ES=0.69), BFR-C (11.5%, ES=0.58), and HI-RT (12.2%, ES=0.69) compared to BFR-S (6.4%, ES=0.25). No significant differences were observed in post-training QCSA among conditions [BFR-I (7.7%), BFR-C (7.0%), HI-RT (7.3%) and BFR-S (6.1%)]. Peak [La] was higher in the first training session for BFR-I (4.0 mmol.L⁻¹) compared to BFR-C (2.7 mmol.L⁻¹), HI-RT (3.4 mmol.L⁻¹), and BFR-S (3.5 mmol.L⁻¹). In the last training session, this increase was higher for BFR-I (4.8 mmol.L⁻¹) when compared to the first session and the BFR-C (3.0 mmol.L⁻¹), HI-RT (3.1 mmol.L⁻¹), and BFR-S (3.4 mmol.L⁻¹). Changes in RMS (average between sets) were similar between high-intensity conditions in the first session BFR-I (145.3%), BFR-C (150.3%), and HI-RT (154.5%) and greater than BFR-S (106.7%). In the last session, BFR-I (140.7%), BFR-C (154%), and HI-RT (157.4%) presented similar changes in RMS but greater than BFR-S (97.3%). The RMS decreased from the first to the third set (18.9%) for BFR-I first session, with no change in the last session. Finally, only BFR-S condition increased the RMS from the first to the last set, in the first (18.9%) and last training sessions (29.8%). In conclusion, although isometric and dynamic strength gains were similar between all conditions, dynamic strength increased in greater magnitude for high intensity conditions, possibly due to higher levels of muscle activation. However, in spite of BFR-I promoting greater metabolic stress, this did not result in any additional muscle activation effects and muscle mass gains. One possible explanation is that in conditions with high mechanical stress the increase in metabolic stress do not cause additional effects to those already obtained by the intensity of the strength training itself.

Keywords: exercise with blood flow restriction; muscle recruitment; metabolites; muscle hypertrophy and resistance training.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVO	11
3 REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 Estresse metabólico no treinamento de força com restrição do fluxo sanguíneo e no treinamento de força de alta intensidade	12
3.2 Ativação muscular no treinamento de força com restrição do fluxo sanguíneo e no treinamento de força de alta intensidade	16
3.3 Adaptações na força e na massa muscular no treinamento de força com restrição do fluxo sanguíneo e no treinamento de força de alta intensidade	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 Amostra.....	24
4.2 Procedimentos Experimentais.....	24
4.2.1 Mensuração do torque isométrico máximo (TIM)	26
4.2.2 Mensuração da força dinâmica máxima (1RM).....	27
4.2.3 Determinação da pressão de restrição de fluxo sanguíneo (PRFS)	28
4.2.4 Familiarização ao exercício com restrição de fluxo sanguíneo (RFS).....	29
4.2.5 Mensuração da área de secção transversa do quadríceps femoral (ASTQ).29	
4.2.6 Mensuração da ativação muscular (EMG)	30
4.2.7 Medida da concentração de lactato sanguíneo [La].....	31
4.2.8 Programa de treinamento de força.....	31
4.3 Análise Estatística.....	32
5 RESULTADOS	34
5.1 Torque isométrico máximo (TIM)	34
5.2 Força dinâmica máxima (1RM)	34
5.3 Área de secção transversa do quadríceps femoral (ASTQ).....	35
5.4 Ativação muscular.....	36
5.5 Concentração de lactato sanguíneo [La].....	37
6 DISCUSSÃO	39
6.1 Efeito dos diferentes protocolos de treinamento sobre os ganhos de força e de massa muscular	39
6.2 Efeito dos diferentes protocolos de treinamento sobre o estresse metabólico e a ativação muscular	44
7 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

O treinamento de força (TF) tem sido utilizado como a principal estratégia para aumentar a capacidade de produção de força e a área de secção transversa do músculo esquelético. Tais adaptações podem contribuir para a melhora da saúde, do condicionamento físico e do desempenho físico-esportivo (DESCHENES; KRAEMER, 2002; FOLLAND; WILLIAMS, 2007).

O Colégio Americano de Medicina do Esporte (ACSM, 2009) recomenda a realização do TF a uma intensidade de ~70% da força dinâmica máxima (1RM) para maximizar os ganhos de força e de massa muscular. No entanto, diversos estudos têm demonstrado que o TF de baixa à moderada intensidade (20-50% 1RM) associado à restrição do fluxo sanguíneo local (TFRFS) promove o aumento de massa muscular semelhante ao obtido com o TF de alta intensidade ($\geq 80\%$ 1RM) (TFAI) (TAKARADA et al., 2000; KUBO et al., 2006; LAURENTINO et al., 2012; MARTÍN-HERNÁNDEZ et al., 2013; ELLEFSEN et al., 2015; LIXANDRÃO et al., 2015). Por outro lado, resultados controversos têm sido encontrados em relação à força muscular. Alguns estudos têm observado ganhos similares de força muscular entre o TFRFS e o TFAI (TAKARADA et al., 2000; KUBO et al., 2006; LAURENTINO et al., 2012; MARTÍN-HERNÁNDEZ et al., 2013; ELLEFSEN et al., 2015) enquanto outros têm verificado maiores ganhos de força com o TFAI (LIXANDRÃO et al., 2015; VECHIN et al., 2015).

Os efeitos positivos do TFRFS parecem estar relacionados à redução da oferta de oxigênio ao músculo exercitado (TANIMOTO; MADARAME; ISHII, 2005; GANESAN et al., 2015) o que induz o aumento do estresse metabólico, causando fadiga prematura de fibras musculares do tipo I (preferencialmente recrutadas em atividades de baixa intensidade) e, por consequência, aumentando a ativação de fibras do tipo II (SUGA et al., 2009; SUGA et al., 2010; SUGA et al., 2012). Em contrapartida, no TFAI, devido à intensidade do estímulo já ser elevada, unidades motoras compostas por fibras do tipo II são substancialmente recrutadas, de acordo com o princípio do tamanho proposto por HENNEMAN (1957).

Assim, tanto o TFRFS quanto o TFAI promovem o aumento da ativação de fibras do tipo II e isso tem sido considerado um fator importante para os ganhos de força e de massa muscular após um período de TF (SCHOENFELD, 2013; PEARSON; HUSSAIN, 2015). Essa importância é explicada pelo fato de fibras do

tipo II possuem um maior potencial em aumentar a capacidade de produção de força do músculo (TESCH et al., 1985) e serem mais suscetíveis aos estímulos hipertróficos em comparação às fibras do tipo I (SPIERING et al., 2008; WESSEL et al., 2010; OGBORNE; SCHOENFELD, 2014).

Apesar do conhecido efeito do estresse metabólico e da alta intensidade do TF em aumentar a ativação de fibras do tipo II e isso ser considerado um importante fator responsável pelas adaptações neuromusculares, não se sabe ao certo se, ao manter elevado o estresse metabólico e o estresse mecânico em um mesmo programa de TF, isso resultaria em maximização dos ganhos de força e de massa muscular.

Sob essa perspectiva, Takarada et al. (2000), após investigarem o efeito da aplicação da restrição de fluxo sanguíneo (RFS) no TF de baixa intensidade (20% 1RM) e no TFAI (80% 1RM), verificaram um aumento da ativação muscular apenas para o TF de baixa intensidade. Adicionalmente, Laurentino et al. (2008), submeteram 16 sujeitos a oito semanas de TF nas intensidades de ~60% e ~80% 1RM, nas condições com e sem RFS e não observaram diferenças significantes em ganhos de força e massa muscular entre as intensidades e condições testadas. Conjuntamente, esses resultados sugerem que a RFS não exerce efeitos adicionais quando a alta intensidade é utilizada no TF.

Entretanto, fato de destaque nos estudos supracitados foi a maneira como a RFS foi aplicada. Takarada et al. (2000) utilizaram apenas uma série de exercício, aplicando a RFS apenas durante as contrações musculares. Da mesma forma, Laurentino et al. (2008) também aplicaram a RFS somente durante as contrações, pois durante os intervalos entre as séries a RFS foi retirada devido ao desconforto reportado pelos sujeitos e a incapacidade deles em concluir as repetições das séries subsequentes. Deste modo, a estratégia de aplicação da RFS destes estudos dificulta a interpretação dos resultados encontrados.

Por exemplo, é conhecido que a própria contração muscular de alta intensidade pode restringir o fluxo sanguíneo de maneira similar ao que é observado com a aplicação da RFS através de um manguito de pressão (SADAMOTO; BONDE-PETERSON; SUZUKI, 1983; YAMADA et al., 2004; RUITER et al., 2007); e quando se aplica essa RFS durante as contrações de alta intensidade, nenhuma alteração adicional significativa no fluxo de sangue e na oxigenação do músculo são observadas (RUITER et al., 2007). Além disso, em dois estudos utilizando o TF de

baixa intensidade (20% 1RM), quando a RFS foi aplicada de forma contínua (RFS mantida durante toda a sessão de treino) houve um maior estresse metabólico e uma maior ativação muscular de fibras do tipo II quando comparada com uma forma intermitente de aplicação (RFS liberada durante os intervalos de descanso entre séries) (SUGAYA et al., 2011; SUGA et al., 2012). Deste modo, é concebível que a aplicação da RFS apenas durante as contrações musculares no TFAI não forneça efeito adicional à restrição sanguínea já causada pela própria contração muscular, e a retirada da RFS durante os intervalos pode reestabelecer o fluxo sanguíneo, diminuindo o estresse metabólico e a ativação muscular, fatores estes que podem afetar os ganhos de força e massa muscular (SCHOENFELD, 2013; PEARSON; HUSSAIN, 2015).

Considerando que a RFS aumenta o estresse metabólico não somente durante as contrações, mas também durante os intervalos entre as séries de exercício (SUGAYA et al., 2011; SUGA et al., 2012), associado ao fato que durante as contrações musculares de alta intensidade ocorre a restrição do fluxo de sangue similarmente à aplicação da RFS com um manguito (SADAMOTO; BONDE-PETERSON; SUZUKI, 1983; YAMADA et al., 2004; RUITER et al., 2007), para verificar se a RFS causaria efeitos adicionais no TFAI seria interessante que a RFS fosse aplicada apenas durante os intervalos entre as séries do exercício.

Nesse sentido, uma vez conhecido que um manguito não oferece restrição sanguínea adicional à obtida pela própria contração muscular de alta intensidade, a primeira hipótese do estudo é que a RFS aplicada apenas durante os intervalos entre as séries do TFAI promoverá maior estresse metabólico, observado pelo aumento da concentração de lactato sanguíneo [La], quando comparado à aplicação da RFS apenas durante as contrações musculares ou com o protocolo sem RFS.

Adicionalmente, devido a alta intensidade do TF por si só ser capaz de gerar níveis elevados de ativação muscular sem a necessidade do aumento do estresse metabólico (TAKARADA et al., 2000), a outra hipótese do estudo é que os protocolos de alta intensidade sem RFS ou com a RFS aplicada apenas durante as contrações ou durante os intervalos entre as séries de exercício, produzirão maiores aumentos na ativação muscular (mensurada através da eletromiografia, EMG) que o TF de baixa intensidade com RFS. Contudo, nenhum efeito adicional ao já produzido pela própria intensidade elevada do TFAI será observado com a aplicação da RFS, ou

seja, nos protocolos de alta intensidade os níveis de ativação muscular serão similares entre si.

Por fim, devido ao nível de ativação muscular possivelmente não ser alterado pela aplicação da RFS no TFAI, nossa última hipótese é que os ganhos de força e de massa muscular serão semelhantes entre os protocolos de alta intensidade, independentemente do uso e forma de aplicação da RFS.

2 OBJETIVO

Investigar no treinamento de força de alta intensidade, os efeitos da aplicação da restrição do fluxo sanguíneo apenas durante os intervalos de descanso entre as séries (RFS-I); durante as contrações musculares (RFS-C); ou sem a restrição de fluxo sanguíneo (TF-AI); em comparação aos efeitos da aplicação da restrição de fluxo sanguíneo de maneira contínua no treinamento de força de baixa intensidade (RFS-S) sobre:

- a concentração de lactato sanguíneo;
- o nível de ativação muscular;
- a força isométrica e dinâmica máximas e
- a área de secção transversa do quadríceps femoral.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Por muitos anos os estudos indicaram que o principal fator responsável pelas adaptações neuromusculares decorrentes do TF (aumento da força e da massa muscular) seria o estresse mecânico (GOLDBERG et al., 1975; FRY, 2004; SPIERING et al., 2008; SCHOENFELD, 2013; PEARSON; HUSSAIN, 2015). Tradicionalmente, para proporcionar elevados níveis de estresse mecânico a literatura recomenda o uso do TFAI ($\geq 70\%$ 1RM) (CAMPOS et al., 2002; HOLM et al., 2008; KUMAR et al., 2009; ACSM, 2009). Contrapondo essa informação, alguns pesquisadores têm demonstrado ganhos de força e de massa muscular similares aos obtidos com o TFAI, mas com o uso do TF de baixa a moderada intensidade (20-50% 1RM) associado à RFS (TAKARADA et al., 2000; KUBO et al., 2006; LAURENTINO et al., 2012; MARTÍN-HERNÁNDEZ et al., 2013; ELLEFSEN et al., 2015). Os principais fatores responsáveis por estas adaptações ainda são desconhecidos, mas dentre os vários candidatos destaca-se o aumento do estresse metabólico. Sugere-se que o aumento do estresse metabólico causaria uma maior ativação de fibras musculares do tipo II, que em última instância, ocasionaria o aumento da capacidade de produção de força e da massa muscular (SCHOENFELD, 2013; PEARSON; HUSSAIN, 2015).

Portanto, a presente revisão de literatura foi separada em tópicos, de modo a atender os seguintes objetivos: 1- comparar os efeitos do TFRFS e do TFAI sobre o estresse metabólico e a ativação muscular e as possíveis contribuições desses fatores nas adaptações crônicas ao treinamento, 2- analisar os resultados dos estudos que investigaram as respostas adaptativas em força e hipertrofia muscular, decorrentes do TFRFS e do TFAI e 3- discutir a possível contribuição da combinação da RFS com o TFAI sobre as adaptações neuromusculares.

3.1 Estresse metabólico no treinamento de força com restrição do fluxo sanguíneo e no treinamento de força de alta intensidade

O TFRFS é comumente realizado em baixa ou em moderada intensidade (20-50% 1RM) e com a utilização de um manguito de pressão, colocado na região proximal do músculo exercitado, que é inflado a uma pressão suficiente para

provocar restrição parcial do fluxo sanguíneo (RFS). Essa RFS provoca a redução da oferta de oxigênio ao músculo exercitado (TANIMOTO et al., 2005; GANESAN et al., 2015) elevando a utilização da via glicolítica, ocasionando o aumento do estresse metabólico, o qual pode ser representado pelo aumento da concentração de lactato sanguíneo ([La]) (SCHOENFELD, 2013; PEARSON; HUSSAIN, 2015). Desta forma, a [La] tem sido considerada uma boa medida indireta da maior demanda da via glicolítica (ROBERGS; GUIASVAND; PARKER, 2004) e um bom indicador do estresse metabólico no exercício (SCHOENFELD, 2013; PEARSON; HUSSAIN, 2015). Além disso, é importante mencionar que a mudança aguda em outro marcador de estresse metabólico (concentração intramuscular de fosfato inorgânico [Pi]) demonstrou correlação positiva ($r=0,87$; $p<0,05$) com as adaptações crônicas do TFRFS (TAKADA et al., 2012). Por esses motivos, o estresse metabólico no TFRFS tem sido amplamente investigado na literatura científica (TAKARADA et al., 2000; TANIMOTO et al., 2005; MANINI et al., 2012; KIM et al., 2014; POTON; POLITO, 2016), principalmente as respostas agudas da [La] aos estímulos do TFRFS e do TFAI.

Por exemplo, Tanimoto et al. (2005) investigaram a oxigenação muscular e a [La] após a execução do exercício extensão bilateral de joelhos, utilizando dois protocolos: TFRFS (~30% 1RM; uma série de 30 repetições e mais 2 séries de repetições até a falha muscular) e TFAI (~80% 1RM; 3 séries de 8 repetições máximas). Foram observadas menores valores de oxigenação muscular para o TFRFS (~22% comparado ao repouso) comparada ao TFAI (36% comparado ao repouso); no entanto, a [La] aumentou de forma significativa e semelhante para os dois protocolos, imediatamente (~9 mmol.L⁻¹) e 15 minutos (~5 mmol.L⁻¹) após o exercício. Corrobora parcialmente com esses achados um estudo mais recente de Poton e Polito (2016). Os autores também encontraram aumentos similares 2-3 minutos após o exercício extensão unilateral de joelho na [La] (4,1 mmol.L⁻¹ e ~4,2 mmol.L⁻¹, respectivamente) entre o TFRFS (20% 1RM, 3 séries de 15 repetições) e o TFAI (80% 1RM, 3 séries de 8 repetições). Os resultados desses dois estudos indicam que tanto a contração muscular de alta intensidade quanto à aplicação da RFS no TF de baixa intensidade são capazes de provocar o aumento do estresse metabólico, possivelmente devido a maior utilização da via glicolítica.

Por outro lado, dois estudos encontraram menores alterações na [La] para o TFRFS quando comparado ao TFAI (MANINI et al., 2012; KIM et al., 2014). No

primeiro estudo, Manini et al. (2012) compararam o TFRFS (20% 1RM; 4 séries até a falha muscular) com o TFAI (80% 1RM; 4 séries até a falha muscular) utilizando o exercício extensão bilateral de joelhos e encontraram aumentos significativamente maiores após 10 minutos ($\sim 3,5 \text{ mmol.L}^{-1} \times \sim 2,4 \text{ mmol.L}^{-1}$) e 20 minutos ($4,4 \text{ mmol.L}^{-1} \times \sim 3,0 \text{ mmol.L}^{-1}$) para o TFAI comparado ao TFRFS, respectivamente. De maneira similar, Kim et al. (2014), ao compararem o TFRFS (20% 1RM; dois exercícios de extensão bilateral de joelhos realizados com 30 repetições e mais 2 séries de 15 repetições cada) com o TFAI (80% 1RM; dois exercícios de extensão bilateral de joelhos realizados com 3 séries de 10 repetições cada), também verificaram um aumento significativamente maior na [La] para o TFAI ($7,3 \text{ mmol.L}^{-1}$) comparado ao TFRFS ($4,0 \text{ mmol.L}^{-1}$).

Embora seja difícil explicar os resultados desses dois últimos estudos, é possível especular que a maior [La] observada no TFAI em comparação ao TFRFS tenha sido ocasionada pelo volume total de treinamento (séries x repetições x peso levantado) o qual foi superior (~ 2 vezes mais) no TFAI em comparação ao TFRFS. Isso está de acordo com os resultados de outros estudos que utilizaram volumes elevados no TFAI e encontraram maiores aumentos na [La] (HADDOCK; WILKIN, 2006; WIRTZ et al., 2014).

Em suma, os estudos citados anteriormente indicam que tanto o TFRFS quanto o TFAI induzem aumentos do estresse metabólico, o que poderia explicar parcialmente a similaridade nas adaptações neuromusculares entre esses métodos de TF. Contudo, enquanto no TFRFS o estresse metabólico parece ser ocasionado pela redução do fornecimento de oxigênio e subsequente acúmulo de metabólitos no músculo exercitado (TANIMOTO et al., 2005; GANESAN et al., 2015), no TFAI ele parece ser resultado da interação entre volume e intensidade elevadas as quais geram maior utilização da via glicolítica (WIRTZ et al., 2014). Partindo dessa premissa, parece razoável sugerir que a associação da RFS com o TFAI pode aumentar ainda mais o estresse metabólico e a [La].

Curiosamente, Takarada et al. (2000) ao investigarem a associação da RFS com o TF de baixa intensidade (40% 1RM e 20 repetições) e com o TFAI (80% 1RM e 10 repetições) observaram aumento da [La] apenas para o TF de baixa intensidade. É importante notar que nesse estudo os autores utilizaram somente uma série de exercício, o que permitiu a aplicação da RFS apenas durante as contrações musculares. A aplicação de um manguito de pressão apenas nesse

momento pode não ter exercido efeitos adicionais à RFS já produzida pela própria tensão muscular elevada (SADAMOTO et al., 1983; YAMADA et al., 2004; RUITER et al., 2007), o que explicaria a falta de mudanças na [La] no TFAI. Adicionalmente, Suga et al. (2012), após investigarem o TFRFS (20% 1RM; 3 séries de 30 repetições) com RFS intermitente (RFS liberada durante os intervalos de descanso do exercício) e com RFS contínua (RFS mantida durante todo o exercício), e compararem com o TFAI (65% 1RM, 3 séries de 30 repetições), verificaram que o aumento do estresse metabólico (indicado pela [Pi]) foi similar ao TFAI (aumento da [Pi] em 70% dos sujeitos) apenas quando o TFRFS foi realizado com RFS contínua (aumento da [Pi] em 75% dos sujeitos), com menores alterações para a condição RFS intermitente (aumento da [Pi] em 18% dos sujeitos). Portanto, tanto a aplicação da RFS somente durante as contrações musculares quanto a retirada da RFS durante os intervalos parecem interferir na magnitude de alteração do estresse metabólico.

Especificamente no que diz respeito ao estresse metabólico nos intervalos do exercício, Sugaya et al. (2011) investigaram o efeito do TFRFS e do TF sem RFS, ambos compostos de 30 repetições seguidas de 3 séries de 15 repetições a 20% 1RM, sobre o estresse metabólico ([Pi]) durante a realização das contrações musculares e nos intervalos entre as séries do exercício. Os resultados demonstraram um aumento significativamente progressivo da [Pi] não somente durante as contrações, mas também durante os intervalos, quando a RFS foi aplicada de maneira contínua no TFRFS. Sugere-se que o aumento da [Pi] ocorre em consequência da diminuição da ressíntese de fosfocreatina, especialmente em condições em que a oferta de oxigênio ao músculo é reduzida, pois a baixa disponibilidade de oxigênio impede que a mitocôndria forneça adenosina trifosfato (ATP) para a recuperação de fosfocreatina (McMAHON; JENKINS, 2002).

Portanto, os fatores mencionados previamente permitem sugerir que a aplicação da RFS apenas durante os intervalos entre as séries do TFAI, provocaria aumentos ainda maiores no estresse metabólico, gerando maior [La]. No entanto, cabe lembrar que esses estudos são de caráter agudo, o que dificulta o entendimento do papel do estresse metabólico nas adaptações crônicas do TF. A maneira pela qual o estresse metabólico está relacionado às adaptações crônicas do TF ainda é desconhecida; no entanto, tem sido sugerido que o acúmulo de metabólitos poderia induzir uma maior ativação de fibras musculares do tipo II,

sendo este aspecto responsável pelas maiores adaptações aos estímulos do TF (SPIERING et al., 2008; WESSEL et al., 2010; OGBORNE; SCHOENFELD, 2014).

3.2 Ativação muscular no treinamento de força com restrição do fluxo sanguíneo e no treinamento de força de alta intensidade

A ativação de fibras musculares do tipo II no TF tem sido considerada um fator importante para promover ganhos de força e de massa muscular, pois fibras do tipo II possuem uma maior potencial em aumentar a capacidade de produção de força do músculo (TESCH et al., 1985) e são mais suscetíveis aos estímulos hipertróficos em comparação às fibras do tipo I (SPIERING et al., 2008; WESSEL et al., 2010; OGBORNE; SCHOENFELD, 2014). Assim, a comunidade científica tem mostrado grande interesse em investigar a ativação das fibras musculares e sua possível relação com as respostas adaptativas decorrentes do TF.

Tipicamente a ativação muscular segue o chamado “princípio do tamanho”, proposto por Henneman (HENNEMAN, 1957). Segundo o autor as unidades motoras são recrutadas em ordem crescente de acordo com o aumento da intensidade do exercício, ou seja, unidades motoras compostas por fibras do tipo I são preferencialmente recrutadas em atividades de baixa intensidade, enquanto unidades motoras compostas por fibras do tipo II são recrutadas preferencialmente quando a intensidade do exercício aumenta. Deste modo, por muito tempo os pesquisadores sugeriram que o recrutamento de fibras do tipo II ocorreria somente com a aplicação de estímulos elevados, ou seja, com protocolos de TFAI. No entanto, quando o TFRFS é realizado em baixa intensidade, observa-se também um aumento da ativação de fibras do tipo II, e este aumento é significativamente maior em comparação ao mesmo protocolo sem a RFS (SUGA et al., 2009; SUGA et al., 2012). Além disso, quando esses mesmos protocolos são comparados cronicamente, as adaptações neuromusculares são significativamente maiores para o TFRFS (TAKARADA et al., 2000; TAKARADA; TSURUTA; ISHII, 2004; LAURENTINO et al., 2012). Portanto, acredita-se que o aumento da ativação de fibras do tipo II seja um dos principais responsáveis pelos resultados positivos do TFRFS (SCHOENFELD, 2013; PEARSON; HUSSAIN, 2015).

Sugere-se que o aumento da ativação de fibras do tipo II no TFRFS seja ocasionado pela redução da oferta de oxigênio ao músculo exercitado. Ao reduzir a oferta de oxigênio, ocorre diminuição da ressíntese de ATP mitocondrial e maior utilização da via glicolítica, aumentando a concentração de metabólitos intramusculares (SCHOENFELD, 2013; PEARSON; HUSSAIN, 2015). Esses metabólitos estimulam os metaborreceptores e as vias aferentes III e IV, diminuindo a ativação de unidades motoras compostas por fibras do tipo I, resultando assim, no aumento da participação de mais unidades motoras compostas por fibras do tipo II para sustentar os níveis de produção de força pelo músculo (MORITANI et al., 1992; SUGA et al., 2009; SUGA et al., 2010; SUGA et al., 2012; YASUDA et al., 2013). Desta maneira, alguns estudos têm procurado investigar a ativação muscular através da amplitude do sinal eletromiográfico (AEMG) (TAKARADA et al., 2000; KUBO et al., 2006; COOK et al., 2013; LOENNEKE et al., 2015) ou da presença de picos de *splits* de fosfato inorgânico (um indicador de recrutamento de fibras do tipo II) (SUGA et al., 2009; SUGA et al., 2012), comparando o TFRFS com um protocolo reconhecidamente capaz de promover ganhos de força e massa muscular, como o TFAI.

Nesse sentido, Cook et al. (2013) investigaram agudamente a AEMG durante o exercício extensão unilateral de joelho, utilizando os seguintes protocolos: TFRFS (20% do pico de torque dinâmico máximo, 3 séries até a falha muscular) e TFAI (70% do pico de torque dinâmico máximo, 3 séries até a falha muscular). Os resultados demonstraram maiores valores de AEMG para o TFAI em comparação ao TFRFS na primeira (~82% vs ~52%, respectivamente) e última série do exercício (~96% vs ~70%, respectivamente). Esse resultado fornece um indicativo que a alta intensidade parece ser mais importante no aumento da ativação muscular que a aplicação da RFS.

Isso foi também observado em um estudo conduzido por LOENNEKE et al. (2015). De maneira interessante, esses autores investigaram o efeito dose-resposta de diferentes intensidades (20% ou 30% 1RM) no TFRFS, comparado ao TFAI (70% 1RM). No TFRFS foi utilizado o exercício extensão bilateral de joelhos com uma série de 30 repetições seguida de 3 séries de 15 repetições, enquanto no TFAI, utilizou-se o mesmo exercício, mas com 4 séries de 10 repetições. Observou-se um aumento da AEMG significativamente maior na primeira e última série do TFRFS para a intensidade de 30% 1RM (53 e 77%, respectivamente) comparada com a de

20% 1RM (38% e 51%, respectivamente). No entanto, similar aos achados de Cook et al. (2013), os valores de AEMG tanto na primeira quanto na última série foram maiores para o TFAI (85% e 97%, respectivamente), demonstrando novamente que a intensidade parece exercer maior influência no aumento da ativação muscular.

Esses resultados permanecem consistentes quando se investiga o recrutamento de fibras do tipo II no TFRFS e no TFAI (SUGA et al., 2009). Suga et al. (2009), investigaram o percentual de sujeitos que apresentavam picos de *splits* de fosfato inorgânico após a realização do exercício flexão plantar unilateral, utilizando uma série de 30 repetições no TFRFS (20% 1RM) e no TFAI (65% 1RM). Após o exercício, foi verificado que a ativação muscular de fibras do tipo II foi significativamente maior para o TFAI (70% dos sujeitos) comparado ao TFRFS (31% dos sujeitos).

Por último, e de maneira curiosa, apenas um estudo investigou cronicamente o aumento da ativação muscular, comparando o TFRFS com o TFAI (KUBO et al., 2006). No referido estudo, ao investigarem o efeito de 12 semanas do exercício extensão unilateral de joelho, utilizando o TFRFS (20% 1RM; 4 séries até a falha muscular) e o TFAI (80% 1RM; 4 séries de 10 repetições), foi observado ao final da intervenção um aumento significativo da AEMG da primeira para a última semana para o TFAI (20,5%), sem mudanças significantes para o TFRFS (~3,4%).

Os resultados dos estudos mencionados anteriormente sugerem que a contração muscular de alta intensidade (TFAI) fornece por si só um estímulo para o aumento da ativação muscular, e o estresse metabólico parece contribuir menos para esse aumento. Por outro lado, considerando que tanto a alta intensidade quanto a RFS podem induzir um aumento na ativação muscular, associar a RFS ao TFAI possibilitaria verificar se o aumento do estresse metabólico é capaz de aumentar a ativação muscular em condições de elevado estresse mecânico (TFAI).

No entanto, quando essa associação ocorreu (RFS + TFAI) nenhuma alteração adicional foi observada na AEMG (TAKARADA et al., 2000). Os referidos autores, após investigarem de maneira aguda a associação da RFS com o TF de baixa intensidade (40% 1RM e 20 repetições) e com o TFAI (80% 1RM e 10 repetições) observaram um aumento da AEMG ao final da série apenas para o TF de baixa intensidade (~30%), atingindo níveis similares ao TFAI. Cabe ressaltar que nesse estudo foi utilizada apenas uma série do exercício, o que permitiu a aplicação da RFS apenas durante as contrações musculares. É conhecido que a contração

muscular de alta intensidade pode restringir o fluxo sanguíneo de maneira similar ao que é observado com a aplicação da RFS através de um manguito de pressão (SADAMOTO; et al., 1983; YAMADA et al., 2004; RUITER et al., 2007); e nenhuma alteração adicional no fluxo de sangue e oxigenação do músculo é observada quando a RFS é aplicada durante contrações musculares intensas (RUITER et al., 2007). Portanto, os resultados de Takarada et al. (2000) fornecem apenas um indicativo de que a RFS aplicada durante as contrações musculares intensas parece não oferecer nenhum benefício adicional sobre a ativação muscular. Todavia, ainda não se sabe os efeitos da aplicação da RFS também durante os intervalos de descanso entre as séries do TFAI. De fato, parece que a RFS aplicada durante os intervalos de descanso entre as séries do exercício pode ser importante para o aumento da ativação muscular.

Por exemplo, Suga et al. (2012) investigaram de forma aguda o efeito de 3 séries de 30 repetições a 20% 1RM sobre a ativação de fibras do tipo II (percentual de sujeitos que apresentam picos de *splits* de fosfato inorgânico) comparando a RFS aplicada de forma intermitente (sem RFS nos intervalos de descanso do exercício, IRFS), de forma contínua (RFS mantida durante toda a sessão de treinamento, CRFS) e o TFAI (65% 1RM). Foram observados aumentos similares da ativação muscular de fibras do tipo II entre o CRFS (75% dos sujeitos) e o TFAI (65% dos sujeitos), sendo estes, significativamente maiores que o IRFS (~17% dos sujeitos).

Coletivamente, os resultados dos estudos mencionados anteriormente indicam que a alta intensidade por si só parece ser o maior responsável pelo aumento da ativação muscular, e o estresse metabólico parece exercer papel nesse aumento apenas quando intensidades baixas são utilizadas. Adicionalmente, a combinação do estímulo restritivo com o TFAI, não fornece efeitos adicionais sobre a ativação muscular se a RFS for aplicada apenas durante as contrações musculares no TFAI. Além disso, a manutenção da RFS durante os intervalos do TFRFS parece importante para o aumento do estresse metabólico, embora ainda seja desconhecido o efeito dessa combinação no TFAI.

Embora seja tentador tirar conclusões acerca das discussões sobre a ativação muscular, as evidências disponíveis até o presente momento sobre esse tópico nos fornecem apenas um indicativo de possíveis contribuições desse mecanismo nas adaptações crônicas do TFRFS e do TFAI. Deste modo,

discutiremos a seguir os resultados crônicos dessas estratégias de TF, relacionando tais resultados com a ativação muscular.

3.3 Adaptações na força e na massa muscular no treinamento de força com restrição do fluxo sanguíneo e no treinamento de força de alta intensidade

As principais adaptações fisiológicas do músculo esquelético submetido ao TF estão relacionadas ao aumento da força e da área de secção transversa muscular (hipertrofia muscular). Interessantemente, fibras musculares do tipo II são conhecidas por apresentarem maior capacidade de produção de força (TESCH et al., 1985) e maior capacidade hipertrófica (SPIERING et al., 2008; WESSEL et al., 2010; OGBORNE; SCHOENFELD, 2014) comparadas às fibras do tipo I. Deste modo, se considerarmos o princípio do tamanho, seria interessante o uso de altas intensidades ($\leq 70\%$ 1RM) no TF para induzir maiores ganhos de força e de massa muscular. Entretanto, a maioria dos estudos com TFRFS têm demonstrado efeitos positivos sobre a força e massa muscular, empregando intensidades entre 20 a 50% 1RM (TAKARADA et al., 2000; KUBO et al., 2006; LAURENTINO et al., 2012; MARTÍN-HERNÁNDEZ et al., 2013; ELLEFSEN et al., 2015; LIXANDRÃO et al., 2015).

Por exemplo, Takarada et al. (2000) investigaram o efeito de 16 semanas de TFRFS ($\sim 50\%$ 1RM; 3 séries até a falha muscular) e de TFAI (80% 1RM; 3 séries até a falha muscular) e observaram aumentos similares no torque isométrico máximo (TIM) entre o TFRFS ($\sim 12\%$) e o TFAI ($\sim 14\%$). A área de secção transversa (AST) dos músculos flexores de cotovelo também aumentou de forma semelhante entre o TFRFS (20,3%) e o TFAI (18,4%). Da mesma forma, Kubo et al. (2006) verificaram aumentos no TIM (7,8% e 16,8%, respectivamente) e na AST (7,5% e 6%, respectivamente) do quadríceps femoral após 12 semanas de TFRFS (20% 1RM; 4 séries até a falha muscular) e de TFAI (80% 1RM; 4 séries de 10 repetições), sem diferenças significantes entre os grupos.

Corroboram com esses mesmos achados os resultados de ELLEFSEN et al. (2015). Os autores deste estudo também encontraram aumentos similares da 1RM (10% e 12%, respectivamente) e da AST (6% e 7%, respectivamente) do quadríceps

femoral para o TFRFS (30% 1RM, 5 séries até a falha muscular) e o TFAI (74-92% 1RM, 3 séries de 6 a 10 repetições) após 12 semanas de intervenção.

Os resultados anteriores indicam que tanto o TFRFS quanto o TFAI são capazes de aumentar similarmente a força e a massa muscular. No entanto, nesses estudos o TFRFS foi aplicado até a falha muscular, possibilitando o questionamento da real contribuição da RFS nos resultados obtidos. Por exemplo, alguns estudos têm verificado que ao se realizar o treinamento até a falha muscular, o alto volume produzido pelo TF de baixa intensidade pode ser responsável pelos ganhos de massa muscular semelhantes aos obtidos pelo TFAI (MITCHELL et al., 2012; OGASAWARA et al., 2013; SCHOENFELD et al., 2015). Assim, estudos adicionais devem investigar as adaptações neuromusculares em resposta à realização ou não da falha muscular no TFRFS, além de comparar esses protocolos com o TFAI.

Por outro lado, outros estudos têm verificado ganhos similares de massa muscular entre o TFRFS e o TFAI, mesmo quando o TFRFS é realizado sem falha muscular (LAURENTINO et al., 2012; MARTÍN-HERNÁNDEZ et al., 2013; LIXANDRÃO et al., 2015). Curiosamente, embora os ganhos de massa muscular fossem similares, a força muscular apresentou maiores aumentos com a utilização do TFAI em dois desses estudos (MARTÍN-HERNÁNDEZ et al., 2013; LIXANDRÃO et al., 2015).

Por exemplo, Martín-Hernández et al. (2013), após 5 semanas de intervenção, encontraram aumentos semelhantes na espessura (indicativo de hipertrofia) dos músculos reto femoral e vasto lateral (7,5%) e no torque dinâmico máximo (3,9%) entre o TFRFS (20% 1RM; 30 repetições seguidas de 3 séries de 15 repetições) e o TFAI (85% 1RM; 3 séries de 8 repetições). Entretanto, no teste de 1RM o aumento da força foi maior para o TFAI (18,9%) em comparação ao TFRFS (7,0%). De maneira similar, Lixandrão et al. (2015) analisaram o efeito de 12 semanas do TFRFS utilizando 2-3 séries de 15 repetições com diferentes intensidades (20 e 40% 1RM) e pressões para RFS (40 e 80% da pressão de oclusão) comparado com o TFAI (80% 1RM; 2-3 séries de 10 repetições). Ao final do estudo, a AST do quadríceps femoral aumentou de forma semelhante entre os protocolos de TFRFS a 40% 1RM (de 4,4 a 5,3%) e o TFAI (5,9%), e foram menores para a intensidade de 20% 1RM (de 0,8 a 3,2%), demonstrando melhores resultados para intensidades maiores de treinamento. A respeito da força muscular, foi observado um aumento da 1RM significativamente maior para o TFAI (21,6%) em

comparação aos protocolos de TFRFS (de 10,3 a 12,7%), independentemente das intensidades e pressões testadas. Por último, Laurentino et al. (2012) encontraram aumentos similares da AST do quadríceps femoral (6,3% e 6,1%, respectivamente) após 8 semanas de treinamento com o TFRFS (20% 1RM; 3-4 séries de 15 repetições) e com o TFAI (80% 1RM; 3-4 séries de 8 repetições). Contudo, diferente dos achados dos dois últimos estudos supracitados, os ganhos de força no teste de 1RM também foram similares entre o TFAI e o TFRFS (40,1% e 36,2%, respectivamente).

De maneira geral, os resultados dos estudos são consistentes em demonstrar que os ganhos de massa muscular são similares entre o TFRFS e o TFAI, embora resultados inconsistentes sejam apresentados em relação aos ganhos de força muscular.

Sob a perspectiva de que os efeitos positivos do TFRFS e do TFAI podem ser decorrentes da elevação do estresse metabólico e do estresse mecânico, respectivamente; uma estratégia que provoque o aumento dos diferentes estímulos (metabólico e mecânico) em um mesmo protocolo de TF traria informações importantes para a prescrição do TF no intuito de maximizar os ganhos de força e de massa muscular. Interessantemente, tal combinação de estímulos foi investigada em dois estudos, em que se aplicou a RFS no TFAI, com um estudo reportando nenhum efeito significativo adicional (LAURENTINO et al., 2008) e outro demonstrando maiores ganhos de força muscular (COOK; KILDUFF; BEAVEN, 2014).

No primeiro estudo, Laurentino et al. (2008) analisaram o efeito de 8 semanas de TF nas intensidades de 60% e ~80% 1RM, nos protocolos com RFS aplicada apenas durante as contrações musculares ou sem a RFS. Os resultados demonstraram aumentos semelhantes para a força no teste de 1RM nos protocolos com RFS (34,5% e 35,2%) e sem RFS (36,9% e 37,5%) nas intensidades de 60% e 80% 1RM, respectivamente. A AST do quadríceps femoral também aumentou de forma similar para os protocolos com RFS (4,5% e 5%) e sem RFS (3,2% e 6,1%) nas intensidades de 60% e ~80% 1RM, respectivamente. Já no estudo de Cook et al. (2014), os pesquisadores investigaram o efeito de 3 semanas de TFAI utilizando 70% 1RM e 5 séries de 5 repetições sem a RFS ou com RFS aplicada apenas durante as contrações musculares. Eles verificaram maiores ganhos de força no teste de 1RM para o protocolo com RFS (4,0%) em comparação ao protocolo sem RFS (2,0%). Deve ser destacado nesse estudo os baixos ganhos de força obtidos

após as 3 semanas de treinamento. Sabe-se que a variação esperada no teste da 1RM é ao redor de 5% (COMFORT; McMAHON, 2015); assim, valores pós-treinamento menores que este deve ser interpretado com cautela.

A partir dos estudos apresentados nessa revisão, podemos constatar que a RFS aplicada durante as contrações musculares ou retirada durante os intervalos entre as séries, parece reduzir o estresse metabólico e a ativação muscular, o que poderia afetar os ganhos de força e massa muscular. Além disso, em contrações musculares intensas a tensão muscular em si é capaz de restringir o fluxo sanguíneo, sem qualquer efeito adicional da restrição sanguínea aplicada com um manguito de pressão. Portanto, a aplicação da RFS apenas durante os intervalos entre as séries de descanso do TFAI pode fornecer informações valiosas quanto a novas estratégias na prescrição do treinamento no intuito de maximizar os ganhos de força e massa muscular.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Amostra

Foram recrutados 60 sujeitos do sexo masculino com idade entre 18 a 35 anos, fisicamente ativos e com experiência prévia em TF, mas que não estavam realizando TF nos seis meses que antecederam o estudo. Não foram recrutados sujeitos com histórico de lesões osteoarticulares, problemas neuromusculares e/ou cardiovasculares, ou qualquer outra patologia que pudesse oferecer riscos ao sujeito ou influenciar nos resultados do estudo. Em adição, todos os sujeitos responderam o questionário PAR-Q para verificar possíveis fatores que pudesse impedi-los de praticar exercícios físicos.

Onze voluntários não concluíram o estudo por motivos pessoais (dois por mudança de emprego, um por mudança no horário de trabalho, quatro por dificuldade em conciliar o horário dos treinos com o de estudo e quatro não informaram o motivo da desistência). Portanto, a análise dos resultados foi feita com os dados de 49 sujeitos (idade: $25,3 \pm 6,2$ anos; peso corporal: $78,8 \pm 11,6$ kg; estatura: $178,1 \pm 5,3$ cm) os quais realizaram todos os procedimentos do estudo. Os sujeitos foram orientados a não realizarem exercícios de TF para membros inferiores e não alterarem a sua rotina de atividades físicas e seus hábitos alimentares durante o período do estudo. Todos foram informados sobre os benefícios, desconfortos e possíveis riscos e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido antes de sua participação. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

4.2 Procedimentos Experimentais

Inicialmente os sujeitos realizaram sessões de familiarização aos testes de torque isométrico máximo (TIM) de extensão de joelho no dinamômetro isocinético e de força dinâmica máxima (1RM) no exercício extensão unilateral de joelho no equipamento cadeira extensora. Os testes de TIM e 1RM foram realizados no mesmo dia, sempre iniciando com o teste de TIM seguido pelo teste de 1RM, utilizando um intervalo de 30 minutos entre os testes. Foram necessárias de duas a

três sessões de familiarização aos testes (com intervalo de 72 horas entre as sessões) para que os sujeitos apresentassem valores de força inter-dias com variação $\leq 5\%$. Quando isso ocorreu, os sujeitos foram submetidos aos testes de TIM e de 1RM nos mesmos exercícios mencionados e os maiores valores de força obtidos nesses testes foram considerados como valores pré-teste. Setenta e duas horas após os testes de força, os sujeitos foram submetidos à medida de pressão de restrição de fluxo sanguíneo (PRFS) seguido por uma sessão de familiarização ao exercício extensão unilateral de joelho com a RFS. Nessa sessão de familiarização, todos os sujeitos conseguiram completar o exercício com RFS, sendo considerados familiarizados com a RFS. Setenta e duas horas após a medida de PRFS e a familiarização com a RFS, os sujeitos foram submetidos à medida de área de secção transversa do quadríceps femoral (ASTQ) por imagem de ressonância magnética. Posteriormente, cada perna dos sujeitos foi considerada como uma unidade experimental e foram distribuídas em quartis de acordo com os valores de 1RM. Em seguida foram alocadas de forma randomizada e balanceada para uma das quatro condições de TF unilateral: 1) RFS-S (n=16), RFS foi aplicada de maneira contínua durante a sessão do exercício; 2) RFS-I (n=17), RFS foi aplicada durante os intervalos de descanso entre as séries do exercício e retirada durante a realização das contrações musculares; 3) RFS-C (n=16), RFS foi aplicada durante as contrações musculares e retirada nos intervalos de descanso entre as séries do exercício; e 4) TF-AI (n=49) o exercício foi realizado sem RFS. A condição TF-AI foi definida como um controle positivo para todos os sujeitos. Ou seja, para todos os sujeitos uma das pernas realizou a condição TF-AI, enquanto a perna contralateral realizou uma das outras três condições (RFS-S, RFS-I ou RFS-C). Todos os indivíduos foram submetidos a um período de oito semanas de TF com intervalo de 48 a 72 horas entre as sessões de treino. As mensurações do TIM e da 1RM foram realizadas 72 horas após a última sessão de treino. Na quarta semana foi realizado o re-teste da 1RM apenas para reajustar o peso utilizado no treinamento dos sujeitos. A ASTQ foi mensurada 48 horas após os últimos testes de TIM e de 1RM. Adicionalmente, medidas de ativação muscular pelo sinal eletromiográfico (EMG) do vasto lateral e da concentração de lactato sanguíneo [La] foram realizadas na sessão 1 da primeira semana de treino (sessão controle 1) e reavaliadas 48 horas após a medida de ASTQ do pós-treinamento (sessão controle 2). A representação

esquemática dos procedimentos experimentais do estudo é apresentada na Figura 1.

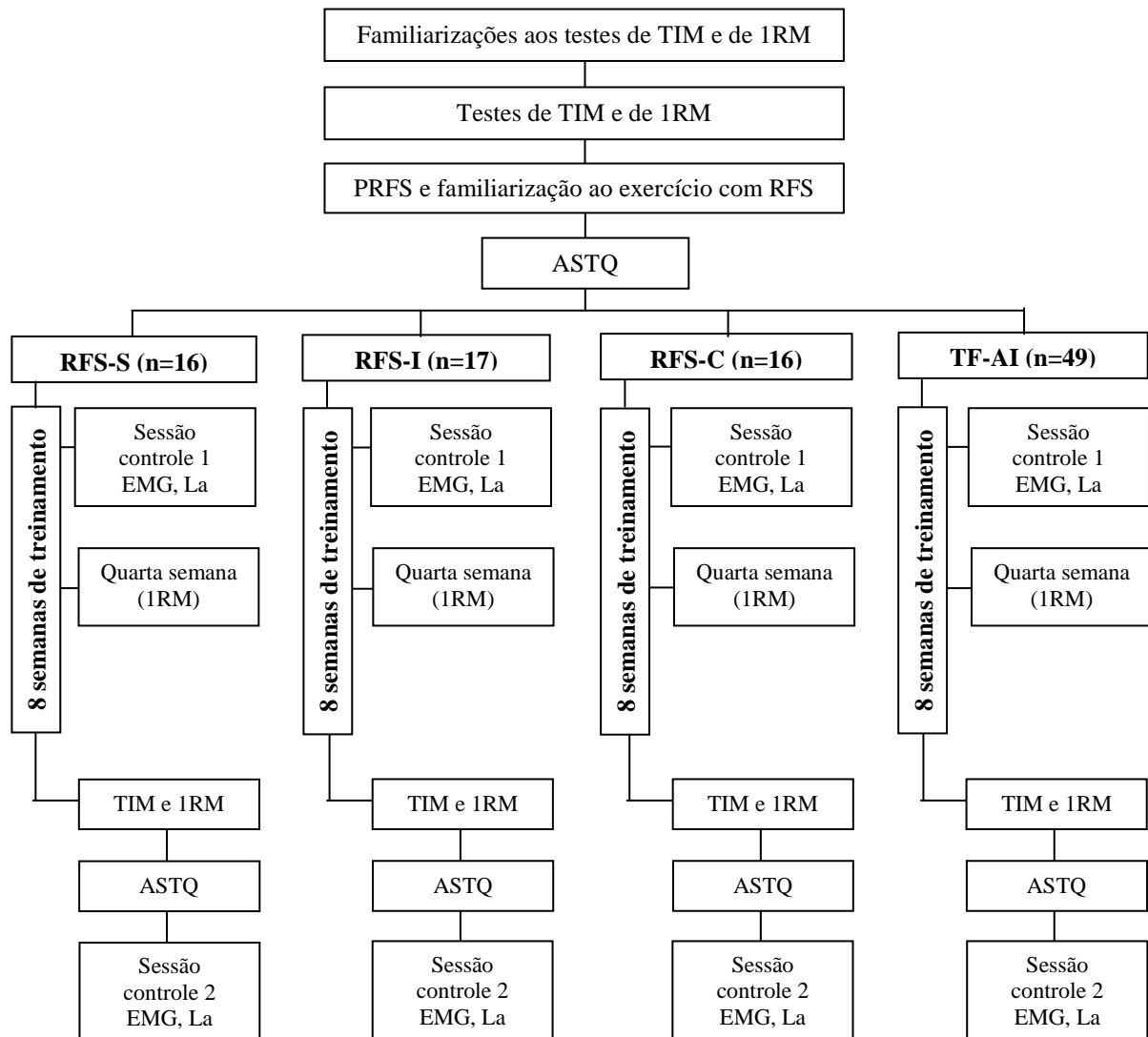


Figura 1 - Procedimentos experimentais do estudo. TIM, torque isométrico máximo; 1RM, força dinâmica máxima; PRFS, pressão de restrição de fluxo sanguíneo; ASTQ, área de secção transversa do quadríceps femoral; RFS-S, restrição de fluxo sanguíneo aplicada de maneira contínua durante a sessão do exercício; RFS-I, restrição de fluxo sanguíneo aplicada durante os intervalos entre as séries do exercício e retirada durante a realização das contrações musculares; RFS-C, restrição de fluxo sanguíneo aplicada durante as contrações e retirada nos intervalos de descanso entre as séries do exercício; TF-AI, exercício sem restrição de fluxo sanguíneo; EMG, eletromiografia; La, concentração de lactato sanguíneo.

4.2.1 Mensuração do torque isométrico máximo (TIM)

O torque isométrico máximo (TIM) dos músculos extensores dos joelhos foi obtido por meio da contração voluntária isométrica máxima realizada no dinamômetro isocinético (Biodex System 4, Biomedical Systems®, Newark, CA,

USA). Os sujeitos realizaram um aquecimento geral de cinco minutos com corrida em esteira ergométrica a $9\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Em seguida, os sujeitos foram posicionados sentados na cadeira do dinamômetro isocinético com um ângulo de 90° na articulação do quadril. O epicôndilo femoral do joelho foi alinhado com o eixo de rotação do braço de alavanca do aparelho, enquanto o ponto de apoio do braço de alavanca do aparelho foi posicionado 1 cm acima do maléolo lateral dos sujeitos. Os sujeitos foram fixados por cintas para evitar qualquer alteração da posição corporal durante a execução do movimento e impedir qualquer auxílio de outros grupamentos musculares durante o teste. O posicionamento no equipamento foi anotado para garantir a reprodutibilidade nos testes subsequentes. Após o aquecimento geral e o posicionamento do sujeito no aparelho, o mesmo realizou um aquecimento específico composto de uma série de cinco segundos de contração muscular isométrica a 50% do TIM e após um intervalo de 60 segundos, mais uma série de cinco segundos de contração muscular isométrica a 70% do TIM, utilizando para ambas as séries, 60° de flexão dos joelhos (extensão completa 0°). Ambas intensidades foram estimadas com base nas sessões de familiarização. Um minuto após o aquecimento específico, os sujeitos foram instruídos a atingir o torque isométrico máximo entre 2-3 segundos e manter esse torque até o final do tempo de contração de cinco segundos (KULIG; ANDREWS; HAY, 1984). Foram realizadas três tentativas com intervalo de 60 segundos entre elas. Os sujeitos receberam encorajamento verbal durante as tentativas. As pernas direita e esquerda foram testadas aleatoriamente e de forma independente e a tentativa em que o sujeito atingiu o maior valor de torque foi utilizada para análise. O coeficiente de variação entre duas medidas repetidas em dois dias diferentes (72 horas de intervalo) foi de 3,55%.

4.2.2 Mensuração da força dinâmica máxima (1RM)

A realização do teste de força dinâmica máxima (1RM) seguiu as orientações descritas por BROWN e WEIR (2001). O exercício utilizado foi a extensão unilateral de joelhos realizado no equipamento cadeira extensora (SL 1030, Righetto®, Campinas, SP, Brasil). Os sujeitos realizaram um aquecimento geral de cinco minutos com corrida em esteira ergométrica a $9\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Em seguida

realizaram um aquecimento específico composto de uma série de oito repetições a 50% 1RM e após um intervalo de dois minutos, mais uma série de três repetições com 70% 1RM. Os pesos utilizados foram estimados com base nas sessões de familiarização. Três minutos após o aquecimento específico, iniciou-se o teste de 1RM. Neste teste, os sujeitos executaram um ciclo completo do exercício com a maior quantidade de peso possível. Foi considerado como ciclo completo quando o sujeito executasse a extensão total do joelho (0°) partindo da posição inicial de 90° em flexão e posteriormente retornasse a posição inicial com controle durante toda a faixa de movimentação. O peso foi incrementado progressivamente a partir da última série de aquecimento específico até que o sujeito executasse o exercício completo uma única vez. Foram utilizados intervalos de três minutos entre as tentativas, e com um máximo de cinco tentativas. Se o indivíduo necessitasse de mais de cinco tentativas o teste era repetido após um intervalo de 72 horas. As pernas direita e esquerda foram testadas aleatoriamente e de forma independente e o maior peso levantado durante as tentativas foi considerado como 1RM. O coeficiente de variação entre duas medidas repetidas em dois dias diferentes (72 horas de intervalo) foi de 3,91%.

4.2.3 Determinação da pressão de restrição de fluxo sanguíneo (PRFS)

Para a determinação da pressão de restrição de fluxo sanguíneo (PRFS), os sujeitos permaneceram deitados sobre uma maca em decúbito dorsal durante 10 minutos. Após isso, o probe de um aparelho doppler vascular (DV-600; Marted, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil) foi colocado sobre a artéria tibial para captar o pulso auscultatório. Um esfigmomanômetro de pressão (17,5 x 90 cm) foi colocado na região inguinal da coxa e inflado até o ponto em que o pulso auscultatório na artéria tibial fosse completamente interrompido. Este valor foi definido como a pressão de restrição de fluxo sanguíneo (PRFS) (LAURENTINO et al., 2008; GUALANO et al., 2010). Para os protocolos que foram realizados com RFS, foi adotada uma pressão equivalente a 80% da PRFS.

4.2.4 Familiarização ao exercício com restrição do fluxo sanguíneo (RFS)

Os sujeitos foram submetidos a uma sessão de familiarização ao exercício com RFS. Nessa sessão, os sujeitos realizaram um aquecimento de cinco minutos de corrida em esteira ergométrica a $9\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, seguido de um aquecimento específico composto de uma série de cinco repetições a 50% 1RM no exercício extensão unilateral dos joelhos. Em seguida, aleatoriamente uma das pernas realizou o protocolo com RFS, e imediatamente após o término do exercício para essa perna, o mesmo protocolo foi realizado na perna contralateral. O protocolo foi composto de 3 séries de 12 repetições a 40% 1RM com intervalo de 60 segundos entre as séries e com a RFS aplicada durante as contrações musculares e intervalos entre as séries do exercício.

4.2.5 Mensuração da área de secção transversa do quadríceps femoral (ASTQ)

A medida de área de secção transversa do quadríceps femoral (ASTQ) foi feita por meio de imagem de ressonância magnética (Signa LX 9.1; Healthcare, Milwaukee, WI, EUA) realizada em ambas as coxas dos sujeitos. Os sujeitos foram posicionados no aparelho em decúbito dorsal com os joelhos estendidos. Uma faixa foi utilizada para conter qualquer movimento da perna durante a medida. Foi obtida inicialmente uma imagem de referência da distância perpendicular entre o trocanter maior e a borda inferior do epicôndilo lateral do fêmur, a qual foi definida como o comprimento do segmento. A ASTQ foi medida em 50% do comprimento do segmento com espessura de corte de escaneamento de 0,8 cm de três segundos de duração. A sequência de pulsos foi realizada com um campo de visão entre 400 e 420 mm, tempo de repetição de 350 ms, tempo de eco de 9 a 11 ms, duas aquisições de sinal e uma matriz de reconstrução de 256 x 256 milímetros. A ASTQ foi determinada usando planimetria computadorizada por meio de um software de análise de imagens (Advantage Workstation 4.3; GE Healthcare). As imagens do quadríceps foram traçadas em triplicata por um pesquisador especializado, e o valor médio das três medidas foi utilizado para posterior análise. A imagem obtida foi dividida em músculo esquelético, osso e tecido adiposo subcutâneo. Em seguida a ASTQ foi determinada subtraindo o osso e a área de tecido adiposo subcutâneo. O

coeficiente de variação entre duas medidas repetidas em dois dias diferentes (72 horas de intervalo) foi de 0,87%.

4.2.6 Mensuração da ativação muscular (EMG)

A ativação muscular foi mensurada com um eletromiógrafo de oito canais (EMG System[®], São José dos Campos, SP, Brasil), utilizando uma frequência de aquisição de 1000 Hz e filtro passa-banda de 20-500 Hz. Foram utilizados três eletrodos de superfície com 36 mm de diâmetro (Ag-Ag/Cl – Kendal[®], São Paulo, SP, Brasil). Antes da colocação dos eletrodos sobre o músculo vasto lateral (VL) foi feita tricotomia e assepsia da pele com álcool e algodão, visando diminuir a impedância da pele. O ponto de fixação dos eletrodos foi o local identificado com maior volume seguindo a direção das fibras musculares. Os eletrodos foram colocados 20 mm distantes entre si e um terceiro eletrodo (terra) foi posicionado na região medial da patela do joelho contralateral. Na primeira sessão experimental, em cada sujeito o ponto de fixação dos eletrodos foi marcado sobre a pele com caneta semi-permanente e uma transparência sobreposta à coxa foi utilizada para marcar esse mesmo ponto utilizando como referência uma linha traçada no centro e na borda superior da patela. Essa transparência foi utilizada na avaliação pós-treinamento para a manutenção do mesmo posicionamento dos eletrodos em comparação a sessão pré-treinamento. A EMG foi mensurada a cada série do exercício extensão unilateral de joelho. O sinal bruto da EMG foi digitalmente filtrado por um filtro passa-banda Butterworth de 4ª ordem (20-500 Hz) e convertido em raiz quadrada média (RMS) em janelas de 500 ms de cada fase concêntrica do exercício. A normalização dos dados da EMG foi feita através da divisão do sinal da EMG obtido durante a realização das últimas três repetições de cada série do exercício pelo sinal obtido durante as cinco primeiras repetições da série de aquecimento, sendo a amplitude da EMG expressa como porcentagem (RMS, % das repetições do aquecimento). Para identificar a fase concêntrica do movimento durante o exercício, foi fixado um eletrogoniômetro (EMG System[®], São José dos Campos, SP, Brasil) na lateral do joelho do sujeito, e o sinal do eletrogoniômetro foi sincronizado com a EMG. O eixo do eletrogoniômetro foi alinhado com o centro de rotação do joelho e suas hastes foram fixadas com tiras de velcro ao longo do eixo longitudinal da perna

e da coxa, assim a posição 0° do eletrogoniômetro correspondeu com a extensão completa do joelho.

4.2.7 Medida da concentração de lactato sanguíneo [La]

As medidas da concentração de lactato sanguíneo [La] foram feitas em cada um dos protocolos experimentais, sendo realizadas em repouso, após o intervalo da 1ª série, após o intervalo da 2ª série, 1, 3, 5 e 10 minutos após o exercício. Após assepsia local com álcool, uma pequena perfuração do lóbulo da orelha foi feita com a utilização de lanceta descartável para a coleta de sangue. Uma pequena amostra de sangue arterial (25µl) foi retirada e transferida para um tubo capilar heparinizado. Posteriormente, a amostra foi transferida para um tubo eppendorf contendo 50µl de fluoreto de sódio 1% e armazenada em gelo. As concentrações de lactato sanguíneo foram mensuradas por um analisador de lactato eletroenzimático (1500 Sport, Yellow Springs Instruments, Yellow Springs, USA), o qual foi calibrado previamente com uma concentração conhecida de lactato de 5 mmol.L⁻¹.

4.2.8 Programa de treinamento de força

O programa de treinamento de força foi realizado com uma frequência de duas sessões semanais (48-72 horas) e teve duração de oito semanas. Os sujeitos executaram o exercício extensão unilateral de joelho na cadeira extensora, sendo uma das pernas definida como a condição TF-AI, enquanto a perna contralateral realizou o exercício em uma das outras três condições RFS-S, RFS-I ou RFS-C, de acordo com o que foi designado pela alocação inicial dos sujeitos. Nas condições RFS-I, RFS-C e TF-AI, o exercício foi executado com três séries de oito repetições, na intensidade de 70% 1RM e na condição RFS-S, o exercício foi executado com três séries de 15 repetições na intensidade de 20% 1RM. Em todas as condições foi obedecido um intervalo de 60 segundos entre as séries do exercício. Para as condições RFS-S, RFS-I e RFS-C um esfigmomanômetro de pressão foi colocado na região inguinal da coxa e inflado a uma pressão correspondente a 80% da PRFS. O posicionamento do sujeito e a amplitude de movimento do exercício eram os

mesmos que foram adotados no teste de 1RM. As sessões de treinamento sempre iniciaram com um aquecimento geral de cinco minutos de corrida em esteira ergométrica a $9\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, seguido de um aquecimento específico no exercício extensão unilateral dos joelhos. Este último foi composto de uma série de cinco repetições a 50% 1RM. Em seguida, após 60 segundos de intervalo, uma das pernas iniciou o treinamento e após 30 minutos do término do treino dessa perna, a perna contralateral realizou o treino. A perna que iniciava o treinamento foi determinada de forma aleatória e balanceada, ou seja, se em uma sessão o sujeito iniciasse o treino com a perna direita e na sequência executasse o treino para a perna esquerda, na sessão seguinte essa ordem era invertida.

4.3 Análise Estatística

Os dados foram analisados quantitativa e visualmente em relação à normalidade (Kolmogorov-Smirnov) e presença de *outliers* (box-plots), respectivamente. Os dados que não apresentaram distribuição normal foram transformados por meio da função logarítmica e testados novamente. Uma vez confirmado a normalidade dos dados, uma Anova one-way foi utilizada para testar se havia diferenças iniciais entre as condições experimentais nas variáveis TIM, 1RM e ASTQ.

Para avaliar o efeito das condições experimentais de TF sobre o TIM, a 1RM e a ASTQ foi utilizado um modelo misto para medidas repetidas com dois fatores: grupo (RFS-S, RFS-I, RFS-C e TF-AI) e tempo (pré e pós-treinamento). Quando um valor significativo de F foi encontrado, *post hoc* de Tukey foi utilizado para comparações múltiplas. O nível de significância adotado foi de $p \leq 0,05$. Além disso, o tamanho do efeito (TE) foi calculado para verificar a magnitude das alterações de TIM, 1RM e ASTQ entre o período pré e pós-treinamento para as condições, utilizando a classificação proposta por Cohen: pequeno ($TE \leq 0,49$), médio ($TE 0,50-0,79$) e grande ($TE \geq 0,80$) (COHEN, 1988).

Para a análise da ativação muscular através do sinal eletromiográfico (EMG) do músculo vasto lateral e das concentrações de lactato sanguíneo [La] utilizou-se um modelo misto para medidas repetidas com três fatores, sendo grupo (RFS-S, RFS-I, RFS-C e TF-AI), série (1,2 e 3) e tempo (pré e pós-treinamento) para análise

da EMG, e grupo (RFS-S, RFS-I, RFS-C e TF-AI), momentos (repouso, intervalo da 1ª série, intervalo da 2ª série, 1, 3, 5 e 10 minutos após o exercício) e tempo (pré e pós-treinamento) para análise de [La]. Quando um valor significativo de F foi encontrado, *post hoc* de Tukey foi utilizado para comparações múltiplas. O nível de significância adotado foi de $p \leq 0,05$. Todos os dados são apresentados como média e desvio padrão e foram analisados utilizando o pacote estatístico SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

5 RESULTADOS

5.1 Torque isométrico máximo (TIM)

Não houve diferenças significantes entre as condições experimentais para os valores de TIM no pré-treinamento. Todas as condições aumentaram significativamente os valores de TIM [RFS-S ($7,3 \pm 6,5\%$; $p < 0,05$; $TE = 0,38$); RFS-I ($7,8 \pm 5,1\%$; $p < 0,05$; $TE = 0,38$); RFS-C ($6,5 \pm 6,1\%$; $p < 0,05$; $TE = 0,44$) e TF-AI ($6,3 \pm 5,8\%$; $p < 0,05$; $TE = 0,36$)] no pós-treinamento (efeito principal de tempo), sem diferenças significantes entre as condições (Figura 2).

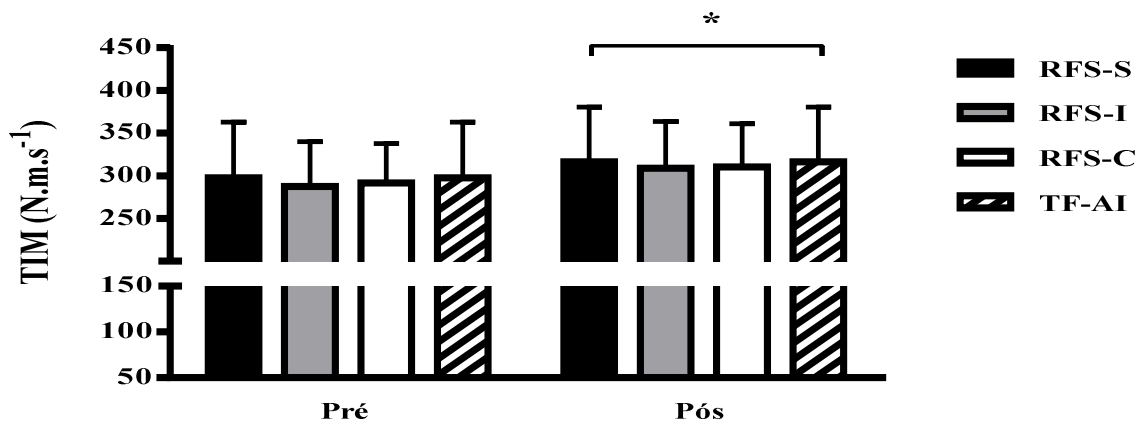


FIGURA 2. Torque isométrico máximo (TIM, $N.m.s^{-1}$, média \pm desvio padrão) dos músculos extensores do joelho nos momentos pré e pós-treinamento para as condições experimentais RFS-S, RFS aplicada de forma contínua durante a sessão do exercício; RFS-I, RFS aplicada durante os intervalos entre as séries do exercício e retirada durante a realização das contrações musculares; RFS-C, RFS aplicada durante as contrações musculares e retirada nos intervalos entre as séries do exercício; e TF-AI, exercício sem RFS. Diferente dos valores do pré-treinamento (efeito principal de tempo, $p < 0,05$).

5.2 Força dinâmica máxima (1RM)

Não houve diferenças significantes entre as condições experimentais para os valores de 1RM no pré-treinamento. Todas as condições aumentaram significativamente os valores de 1RM [RFS-S ($6,4 \pm 5,1\%$; $p < 0,05$; $TE = 0,25$); RFS-I ($12,8 \pm 6,9\%$; $p < 0,05$; $TE = 0,69$); RFS-C ($11,5 \pm 7,5\%$; $p < 0,05$; $TE = 0,58$) e TF-AI ($12,2 \pm 9,1\%$; $p < 0,05$; $TE = 0,52$)] no pós-treinamento (efeito principal de tempo), sem diferenças significantes entre as condições (Figura 3); porém, foram observados maiores magnitudes de tamanho de efeito (TE) para as condições RFS-I RFS-C e TF-AI (TE médio) em comparação a condição RFS-S (TE pequeno).

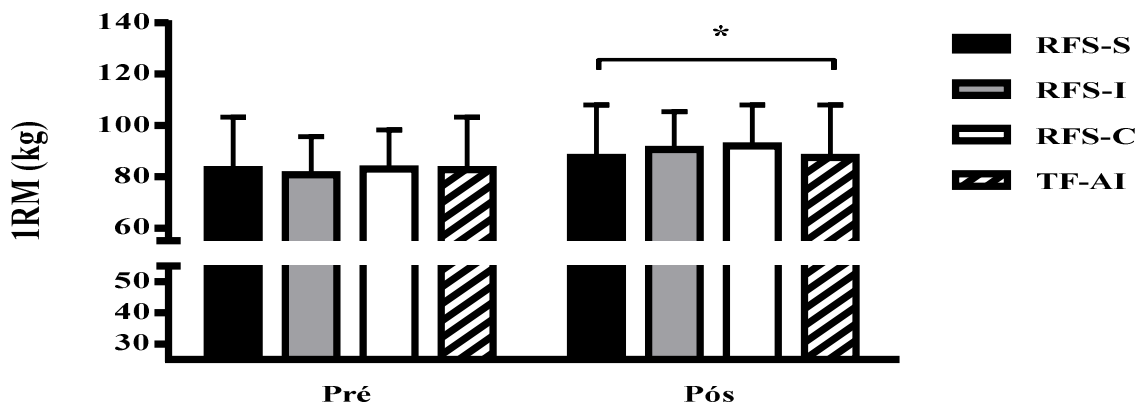


FIGURA 3. Força dinâmica máxima (1RM, kg, média \pm desvio padrão) no exercício extensão unilateral de joelhos nos momentos pré e pós-treinamento para as condições experimentais RFS-S, RFS aplicada de forma contínua durante a sessão do exercício; RFS-I, RFS aplicada durante os intervalos entre as séries do exercício e retirada durante a realização das contrações musculares; RFS-C, RFS aplicada durante as contrações musculares e retirada nos intervalos entre as séries do exercício; e TF-AI, exercício sem RFS. Diferente dos valores do pré-treinamento (efeito principal de tempo, $p < 0,05$).

5.3 Área de secção transversa do quadríceps femoral (ASTQ)

Não houve diferenças significantes entre as condições experimentais para os valores de ASTQ no pré-treinamento. Todas as condições aumentaram significantemente os valores de ASTQ [RFS-S ($6,1 \pm 4,6\%$; $p < 0,001$; $TE=0,33$); RFS-I ($7,7 \pm 2,6\%$; $p < 0,001$; $TE=0,45$); RFS-C ($7,0 \pm 3,9\%$; $p < 0,001$; $TE=0,38$) e TF-AI ($7,3 \pm 4,1\%$; $p < 0,001$; $TE=0,39$)] no pós-treinamento (efeito principal de tempo), sem diferenças significantes entre as condições (Figura 4).

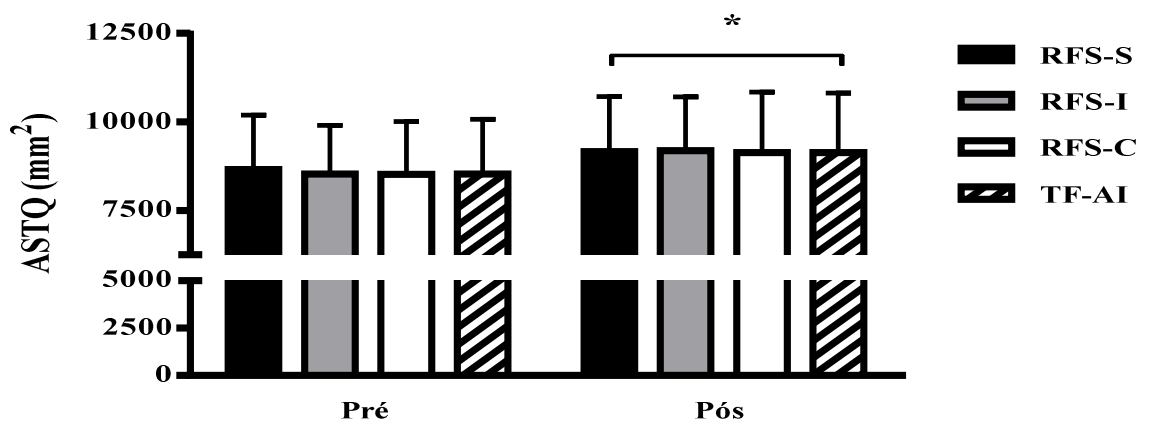


FIGURA 4. Área de secção transversa do quadríceps femoral (ASTQ, mm², média \pm desvio padrão) nos momentos pré e pós-treinamento para as condições experimentais RFS-S, RFS aplicada de forma contínua durante a sessão do exercício; RFS-I, RFS aplicada durante os intervalos entre as séries do exercício e retirada durante a realização das contrações musculares; RFS-C, RFS aplicada durante as contrações musculares e retirada nos intervalos entre as séries do exercício; e TF-AI, exercício sem RFS. Diferente dos valores do pré-treinamento (efeito principal de tempo, $p < 0,001$).

5.4 Ativação muscular

No geral, os valores de RMS do músculo vasto lateral das séries 1, 2 e 3 no pré e pós-treinamento foram significativamente maiores para as condições experimentais RFS-I, RFS-C e TF-AI em comparação a condição RFS-S ($p < 0,05$). No entanto, apenas a condição RFS-S apresentou um aumento significativo nos valores de RMS na terceira série em comparação à primeira no pré (18,9%) e no pós-treinamento (29,8%) ($p < 0,05$). Por último, apenas a condição RFS-I apresentou uma diminuição significativa nos valores de RMS na terceira série (13,5%) quando comparado à primeira série no pré-treinamento ($p < 0,05$) (Figura 5).

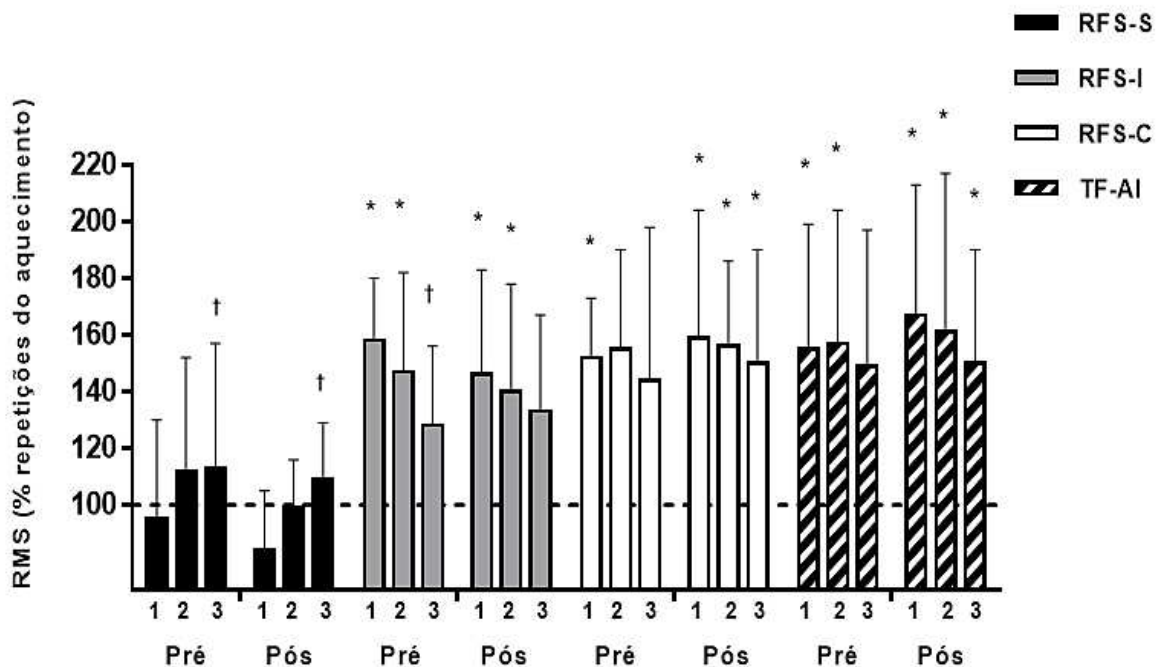


FIGURA 5. Raiz quadrada média (RMS) (média \pm desvio padrão) da eletromiografia (EMG) do músculo vasto lateral obtida pela média das 3 últimas repetições de cada série (1,2 e 3) e expressa com percentual da média de RMS das 5 primeiras repetições de aquecimento (linha pontilhada), avaliada no pré e pós-treinamento. Condições experimentais RFS-S, RFS aplicada de forma contínua durante a sessão do exercício; RFS-I, RFS aplicada durante os intervalos entre as séries do exercício e retirada durante a realização das contrações musculares; RFS-C, RFS aplicada durante as contrações musculares e retirada nos intervalos entre as séries do exercício; e TF-AI, exercício sem RFS. *Diferente da condição RFS-S para a mesma série e tempo (pré ou pós-treinamento) ($p < 0,05$). †Diferente da série 1 no tempo pré ou pós-treinamento ($p < 0,05$).

5.5 Concentração de lactato sanguíneo [La]

Tanto no pré quanto no pós-treinamento não houve diferenças significantes entre as condições experimentais para a [La] na avaliação de repouso. No pré-treinamento, comparado com o repouso, a [La] aumentou significativamente 1, 3 e 5 minutos após o exercício para todas as condições (efeito principal de tempo, $p < 0,001$); contudo, esse aumento foi significativamente maior para a condição RFS-I ($p < 0,001$). Além disso, a [La] aumentou no intervalo da 2ª série apenas para a condição RFS-I ($p < 0,05$). No pós-treinamento, comparado com o repouso, a [La] aumentou significativamente 1 e 3 minutos após o exercício para todas as condições (efeito principal de tempo, $p < 0,001$), e esse aumento foi significativamente maior para a condição RFS-I ($p < 0,001$). No entanto, a [La] aumentou no intervalo da 2ª série e manteve-se elevada 5 e 10 minutos após o exercício apenas para a condição RFS-I ($p < 0,05$). Por último, apenas a condição RFS-I apresentou um aumento das [La] do pré para o pós-treinamento nas mensurações 3 e 5 minutos após o exercício ($p < 0,05$) (Figura 6).

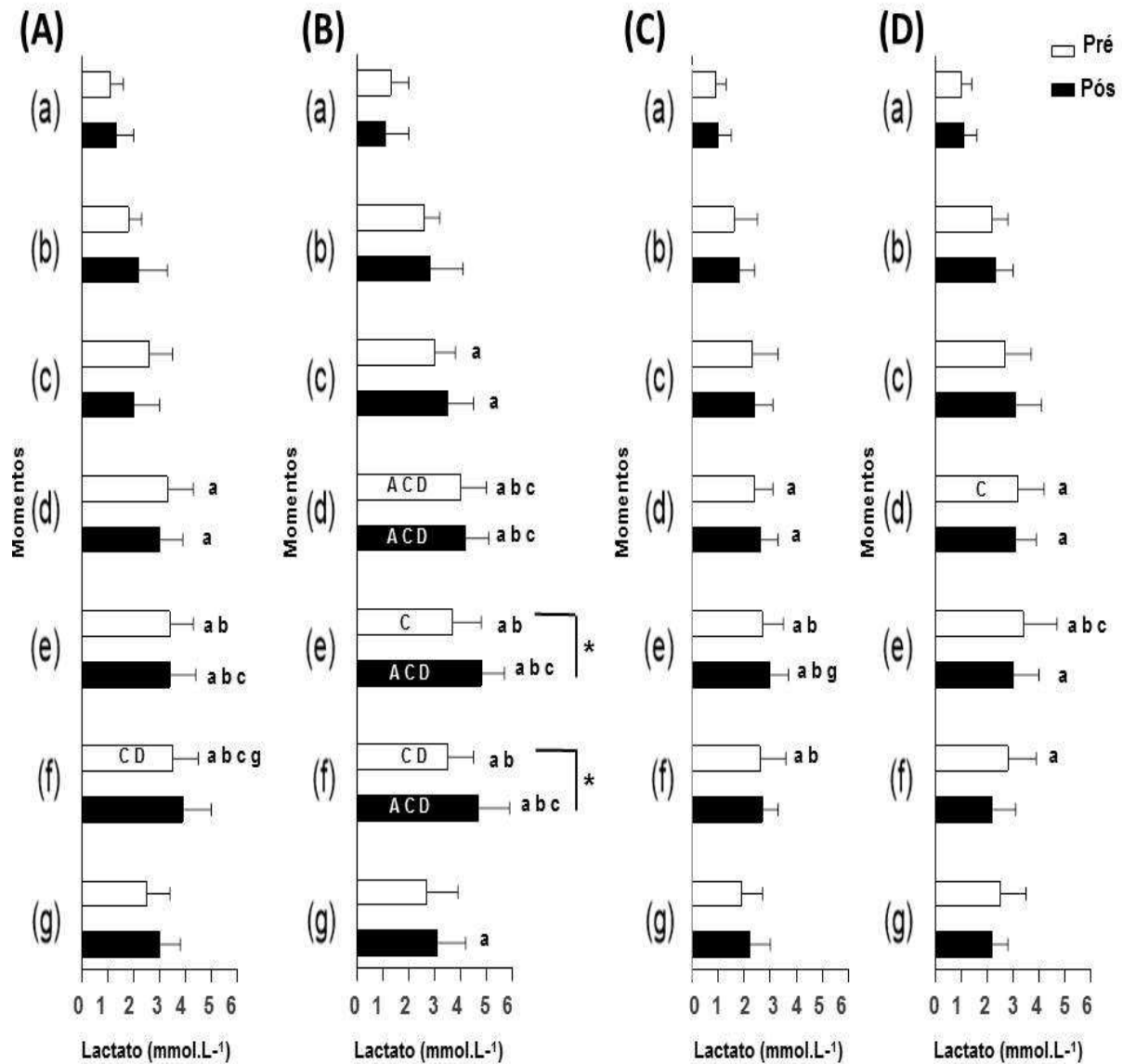


FIGURA 6. Concentração de lactato sanguíneo (mmol.L^{-1} , média \pm desvio padrão) nos momentos de repouso (a), após o intervalo da 1ª série (b), após o intervalo da 2ª série (c), 1 minuto (d), 3 minutos (e), 5 minutos (f) e 10 minutos (g) após o exercício mensurada no pré (barras claras) e pós-treinamento (barras escuras). Os painéis representam as diferentes condições experimentais: (painel A) = RFS-S, RFS aplicada de forma contínua durante a sessão do exercício; (painel B) = RFS-I, RFS aplicada durante os intervalos entre as séries do exercício e retirada durante a realização das contrações musculares; (painel C) = RFS-C, RFS aplicada durante as contrações musculares e retirada nos intervalos entre as séries do exercício; e (painel D) = TF-AI, exercício sem RFS. Letras minúsculas indicam uma diferença significativa entre os momentos para a mesma condição ($p < 0,05$). Letras maiúsculas indicam uma diferença significativa entre as condições para o mesmo momento ($p < 0,05$). Asterisco indica uma diferença significativa do pré para o pós-treinamento para o mesmo momento ($p < 0,05$).

6 DISCUSSÃO

O presente estudo foi o primeiro a investigar, no TF de alta intensidade, o efeito da aplicação da RFS apenas durante os intervalos de descanso entre as séries; apenas durante as contrações musculares ou sem a utilização da RFS em comparação à aplicação da RFS de maneira contínua durante a sessão do TF de baixa intensidade, sobre a força isométrica e dinâmica máximas, a área de secção transversa do quadríceps femoral, a concentração de lactato sanguíneo e a ativação muscular. Os principais achados do estudo foram:

- I. Não houve diferenças estatisticamente significantes nos ganhos de força isométrica e dinâmica máximas entre as condições, mas a magnitude dos ganhos para 1RM foi maior para as condições que utilizaram a alta intensidade no TF.
- II. A ASTQ aumentou para todas as condições sem diferenças entre elas.
- III. A aplicação da RFS apenas durante os intervalos do TF de alta intensidade resultou em maior aumento da [La] em comparação as outras condições e a [La] foi significativamente aumentada do pré para o pós-treinamento.
- IV. Não houve diferenças na [La] entre as condições de TF de alta intensidade com RFS durante as contrações; sem a aplicação da RFS e o TF de baixa intensidade com RFS de forma contínua.
- V. A ativação muscular foi significativamente maior para as condições que utilizaram a alta intensidade no TF em comparação à condição que realizou o TF de baixa intensidade com RFS de forma contínua.
- VI. A aplicação da RFS apenas durante os intervalos do TF de alta intensidade diminuiu a ativação muscular entre as séries no pré-treinamento.
- VII. Somente a condição que realizou o TF de baixa intensidade com RFS de forma contínua apresentou um aumento da ativação muscular entre as séries do exercício.

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

6.1 Efeito dos diferentes protocolos de treinamento sobre os ganhos de força e de massa muscular

Com relação ao torque isométrico máximo (TIM) e a força dinâmica máxima (1RM), confirmamos a hipótese inicial ao observar que todas as condições de alta

intensidade aumentaram similarmente o TIM e a 1RM do pré para o pós-treino, independentemente do uso ou não da RFS. Uma plausível explicação para a ausência de efeito adicional da RFS aplicada apenas durante os intervalos de descanso (RFS-I) pode ser pelo fato de que, em contrações musculares intensas, o recrutamento de fibras musculares do tipo II já é alto (SUGA et al., 2009; SUGA et al., 2010; SUGA et al., 2012), gerando ganhos elevados de força muscular (TESCH et al., 1985) sem efeito adicional da RFS. Isso está em consonância com os achados de estresse metabólico e ativação muscular do nosso estudo. Apesar da condição RFS-I promover maiores valores de concentração de lactato sanguíneo, os níveis de ativação muscular, avaliado pela amplitude da eletromiografia (RMS), eram similares aos demais protocolos de TFAI. Assim, é possível sugerir que em condições de elevado estresse mecânico o aumento do estresse metabólico parece não fornecer estímulo adicional ao já oferecido pela própria contração muscular de alta intensidade, o que explicaria parcialmente a similaridade em ganhos de força muscular entre as condições de TFAI.

Na mesma linha dos achados anteriores, também verificamos ausência de efeito adicional da RFS aplicada apenas durante as contrações musculares intensas (RFS-C). É possível que tal resultado tenha ocorrido pelo fato da tensão muscular em si ser capaz de restringir o fluxo sanguíneo quando utilizadas intensidades altas, sem qualquer efeito adicional da aplicação da RFS de um manguito de pressão (SADAMOTO et al., 1983; YAMADA et al., 2004; RUITER et al., 2007). Além disso, achados de estudos anteriores utilizando o TF de baixa intensidade, demonstraram que a retirada da RFS durante os intervalos entre as séries diminuiu o estresse metabólico e conseqüentemente o recrutamento muscular, fatores esses que poderiam afetar negativamente os resultados do TF com RFS (SUGAYA et al., 2011; SUGA et al., 2012). Tais suposições até então eram reforçadas pelos achados de Laurentino et al. (2008). Os referidos autores, ao compararem o TF nas intensidades de 60% e ~80% 1RM com RFS aplicada apenas durante as contrações musculares e retirada no intervalos do exercício com a condição sem RFS, após 8 semanas, observaram aumentos semelhantes para a força no teste de 1RM nas condições com RFS (34,5% e 35,2%) e sem RFS (36,9% e 37,5%) nas intensidades de 60% e 80% 1RM, respectivamente. Em nosso estudo, na condição em que foi aplicada a RFS somente durante as contrações e retirada durante os intervalos (RFS-C), a [La] foi semelhante à mesma condição sem RFS (TF-AI); no entanto, os níveis de

ativação muscular e os ganhos de força foram similares entre as condições, contrapondo as proposições de que a retirada da RFS durante os intervalos poderia reduzir o recrutamento muscular e afetar negativamente os resultados do treino (SUGAYA et al., 2011; SUGA et al., 2012). Deste modo, as proposições mencionadas anteriormente, parecem verdadeiras apenas quando a RFS é aplicada no TF de baixa intensidade. Em outras palavras, a manutenção da RFS durante os intervalos entre as séries do TF parece relevante somente quando utilizado o TF de baixa intensidade, sem qualquer efeito adicional quando a intensidade do TF é elevada. Assim, é plausível sugerir que ao utilizar contrações musculares intensas, o estresse mecânico parece ser o principal fator responsável pelos ganhos de força muscular, enquanto no TF de baixa intensidade, o estresse metabólico parece contribuir mais com esses resultados.

Considerando essa última perspectiva, no presente estudo, a condição do TF de baixa intensidade com RFS de forma contínua (RFS-S) obteve ganhos de TIM similares aos obtidos pelas condições de TFAI. Em contrapartida, embora não tenhamos observado diferenças estatísticas, o tamanho do efeito (TE) revelou maiores efeitos para a 1RM nas condições RFS-I (TE = 0,69; médio), RFS-C (TE = 0,58; médio) e TF-AI (TE = 0,52; médio), em comparação a RFS-S (TE = 0,25; pequeno). No TF de baixa intensidade a aplicação da RFS tem demonstrado provocar a redução da oferta de oxigênio ao músculo exercitado (TANIMOTO et al., 2005; GANESAN et al., 2015), aumentando o estresse metabólico e o recrutamento de fibras musculares de contração rápida para a manutenção da produção de força pelo exercício (SUGA et al., 2009; SUGA et al., 2010; SUGA et al., 2012), resultando em longo prazo no aumento da força muscular (TAKARADA et al., 2000; KUBO et al., 2006; LAURENTINO et al., 2012; MARTÍN-HERNÁNDEZ et al., 2013; ELLEFSEN et al., 2015; LIXANDRÃO et al., 2015).

No entanto, alguns estudos têm demonstrado que os níveis de ativação muscular são superiores para as condições de TFAI em comparação ao TF de baixa intensidade com RFS (KUBO et al., 2006; COOK et al., 2013; LOENNEKE et al., 2015). Em nosso estudo, foi verificado um aumento da [La] para a condição RFS-S de maneira similar a duas condições de TFAI (RFS-C e TF-AI). Entretanto, tal como visto nos estudos anteriores, os valores de RMS, embora tenham aumentando entre as séries, foram significativamente menores para a condição RFS-S comparada às demais condições. Assim, maiores tamanhos de efeito no teste de 1RM para as

condições de TFAI podem ser parcialmente atribuídos aos maiores níveis de ativação muscular. Corroboram com nossos achados, os resultados de alguns estudos em que foram demonstrados ganhos similares no TIM entre o TFAI e o TF de baixa intensidade com RFS (TAKARADA et al., 2000; KUBO et al., 2006), mas maiores ganhos da 1RM para o TFAI (MARTÍN-HERNÁNDEZ et al., 2013; LIXANDRÃO et al., 2015). Vale destacar, no entanto, que esses resultados não são unânimes, uma vez que outros estudos reportaram semelhantes aumentos da 1RM entre o TFAI e o TF de baixa intensidade com RFS (LAURENTINO et al., 2012; ELLEFSEN et al., 2015). Entretanto, resultados similares entre essas diferentes condições sobre a 1RM são observados quando tais condições são realizadas com um maior número de séries e repetições, ocasionando um maior volume total de treinamento comparado ao observado no presente estudo (LAURENTINO et al., 2012; ELLEFSEN et al., 2015). Desta forma, outros estudos são necessários para elucidar o efeito de diferentes volumes do treinamento sobre as adaptações em força muscular, bem como os possíveis mecanismos responsáveis por tais resultados. Adicionalmente, deve ser mencionado que os ganhos de força podem ser influenciados pela especificidade do teste. Por exemplo, quando aplicado o teste de torque isométrico máximo no dinamômetro isocinético e realizado o treinamento no aparelho isoinercial, os ganhos similares de força entre o TFRFS e o TFAI podem ser decorrentes da característica inespecífica do teste, ao passo que ao ser aplicado o teste de força dinâmica máxima no mesmo exercício do treinamento, os maiores ganhos de força para o TFAI pode ser consequência da proximidade da intensidade e característica do teste com o do exercício utilizado no treinamento (BUCKNER et al., 2017). Assim, novos estudos são necessários para esclarecer o papel da ativação muscular e da especificidade sobre os ganhos de força muscular quando realizados testes isométricos e dinâmicos máximos.

No que diz respeito aos ganhos de massa muscular, confirmamos a hipótese do estudo ao observar o aumento similar entre as condições na área de secção transversa do quadríceps femoral (ASTQ) do pré para o pós-treinamento. Uma explicação comumente fornecida pela literatura é que tanto o aumento do estresse metabólico quanto do estresse mecânico decorrentes do TF de baixa intensidade com RFS e do TFAI, respectivamente, podem contribuir para o aumento da ativação de fibras do tipo II (SUGA et al., 2009; SUGA et al., 2010; SUGA et al., 2012), e isso seria importante para obtenção de ganhos de massa muscular (SCHOENFELD,

2013; PEARSON; HUSSAIN, 2015). Entretanto, no presente estudo, embora houvesse o aumento da [La] em maior magnitude para a condição RFS-I, nenhum efeito adicional sobre os ganhos de massa muscular ocorreu. Uma possível explicação para esse resultado deve-se ao fato de que nessa mesma condição, não foi observado efeitos adicionais sobre os níveis de ativação muscular, o que poderia parcialmente justificar a similaridade em ganhos hipertróficos entre as diferentes condições.

Em uma tentativa de investigar a possível contribuição do estresse metabólico no TFAI sobre a hipertrofia muscular, recentemente, Dankel et al. (2016) testaram uma estratégia diferente de utilização da RFS. Estes pesquisadores compararam a aplicação da RFS durante 3 minutos após a finalização de uma série de exercício flexão unilateral do cotovelo até a falha muscular com uma condição em que essa RFS não foi aplicada, ambas utilizando uma intensidade de 70% 1RM. Após oito semanas foi observado um aumento similar da espessura muscular (região distal) de flexores de cotovelo para as condições com RFS (5,8%) e sem RFS (6,0%). Entretanto, é importante destacar que a aplicação da RFS somente após o término da série limita o entendimento da contribuição da RFS no TFAI, haja visto que tal contribuição parece ocorrer devido ao aumento da ativação muscular durante as séries do exercício (KUBO et al., 2006; COOK et al., 2013; LOENNEKE et al., 2015). Porém, como observado no presente estudo, os níveis de ativação muscular foram menores para a condição RFS-S em comparação às demais condições, apesar do aumento da ASTQ ter sido similar entre elas. De fato, vários estudos anteriores reportaram ganhos similares em hipertrofia para o TFAI em comparação ao TF de baixa intensidade com RFS (TAKARADA et al., 2000; KUBO et al., 2006; LAURENTINO et al., 2012; MARTÍN-HERNANDEZ et al., 2013; ELLEFSEN et al., 2015; LIXANDRÃO et al., 2015). Assim, não somente o aumento da ativação muscular, mas outros fatores tais como o aumento da síntese proteica (FUJITA et al., 2007; FRY et al., 2010; GUNDERMANN et al., 2012), a diminuição da expressão da proteína miostatina (LAURENTINO et al., 2012), a proliferação e diferenciação de células satélites (NIELSEN et al., 2012; WERNBOM et al., 2013) e o inchaço celular (LOENNEKE et al., 2012) podem ter mediado os ganhos de massa muscular na condição RFS-S. Contudo, faz-se necessários novos estudos que investiguem se algum dos fatores mencionados podem mediar os ganhos de massa muscular em

detrimento do aumento da ativação muscular, sendo ainda interessante a comparação entre o TFAI e o TF de baixa intensidade com RFS.

6.2 Efeito dos diferentes protocolos de treinamento sobre o estresse metabólico e a ativação muscular

A respeito do estresse metabólico, representado pelo aumento da concentração de lactato sanguíneo, confirmamos a hipótese do estudo ao observar maiores aumentos ao utilizarmos a condição RFS-I. Uma possível explicação para tal resultado deve-se a dois fatores. Primeiro, a contração muscular de alta intensidade por si só demanda maior utilização da via glicolítica para manter a produção de energia pelo músculo, o que favorece a conversão de piruvato em lactato, ocasionando o aumento da [La] (ROBERGS et al., 2004). Segundo, a RFS mantida durante os intervalos de descanso do exercício diminui a oxigenação do músculo (GANESAN et al., 2015), gerando menor ressíntese de ATP, o que aumenta também a utilização da via glicolítica para a manutenção das contrações musculares subsequentes (SUGAYA et al., 2011; SUGA et al., 2012). Assim, a estratégia de empregar a RFS apenas durante os intervalos de descanso do exercício, utilizando contrações musculares intensas, de fato promoveu maior estresse metabólico em comparação as demais condições. Por outro lado, não observamos maiores valores na [La] para a condição RFS-C quando comparada à condição TF-AI.

É conhecido que em intensidades acima de 50% da força isométrica máxima o fluxo sanguíneo é parcialmente interrompido e a aplicação da RFS não promove alterações adicionais as já causadas pela própria contração muscular (SADAMOTO et al., 1983; YAMADA et al., 2004; RUITER et al., 2007). Isso pode explicar nosso resultado, visto que aplicamos a RFS durante as contrações musculares de alta intensidade (70% 1RM). Por fim, a condição RFS-S aumentou a [La] de maneira similar ao que foi visto em dois dos protocolos de TFAI (RFS-C e TF-AI). Similares resultados também têm sido observados em alguns estudos que compararam o TFAI com o TF de baixa intensidade associado à RFS (TANIMOTO et al., 2005; POTON; POLITO, 2016). Em contrapartida, resultados divergentes foram encontrados em outros estudos, demonstrando maiores [La] para o TFAI (MANINI et al., 2012; KIM et

al., 2014). Embora seja difícil explicar os resultados desses dois últimos estudos, é possível especular que a maior [La] observada no TFAI em comparação ao TFRFS tenha sido ocasionada pelo volume total de treinamento (séries x repetições x peso levantado) o qual foi superior (~2 vezes mais) no TFAI em comparação ao TFRFS. Isso está de acordo com os resultados de outros estudos que utilizaram volumes elevados no TFAI e encontraram maiores aumentos na [La] (HADDOCK; WILKIN, 2006; WIRTZ et al., 2014).

Interessantemente, em nosso estudo a condição RFS-I, além de demonstrar maiores aumentos na [La] em comparação às outras condições, foi a única que apresentou esse aumento do pré para o pós-treinamento. Há evidências que a saída do lactato produzido no músculo em direção à corrente sanguínea é mediada pelos transportadores de monocarboxilatos (MCTs) e estes podem aumentar em consequência da diminuição de oxigênio no músculo, favorecendo o aumento da taxa de remoção de lactato para a corrente sanguínea (JUEL; HOLTEN; DELA, 2004; NALBANDIAN; TAKEDA, 2016). Deste modo, é possível especular que a aplicação da RFS nos intervalos do TFAI (RFS-I), por ter gerado uma maior redução da oxigenação muscular, ocasionou um aumento da quantidade de MCTs no pós-treinamento, fazendo com que após o exercício o lactato fosse rapidamente aumentado no sangue pela facilitação de sua saída do músculo. Fato ainda mais interessante é que a saída do lactato em direção ao sangue ocorre em conjunto com a molécula de H^+ , reconhecidamente capaz de induzir a fadiga (NALBANDIAN; TAKEDA, 2016). Assim, embora seja razoável especular que os fatores citados anteriormente possam explicar o aumento da [La] em maior magnitude no pós-treinamento, não investigamos tais fatores; portanto, nenhuma conclusão definitiva a respeito do assunto pode ser feita. Estudos adicionais são necessários para elucidar tais fatores e verificar se essas alterações refletem em algum benefício adicional, tal como a melhora da resistência muscular observada em alguns estudos com RFS (SUMIDE et al., 2009; KACIN; STRAZAR, 2011).

Em relação à ativação muscular, estimada pela amplitude da eletromiografia (RMS), confirmamos nossa hipótese ao observar que os valores de RMS foram similares para todas as condições de TFAI, independentemente do uso ou não da RFS, sendo estes valores, significativamente maiores em comparação à condição de TF de baixa intensidade com RFS. Estudos anteriores têm demonstrado maiores níveis de ativação muscular para o TFAI em comparação ao TF de baixa intensidade

com RFS (SUGA et al., 2009; KUBO et al., 2006; COOK et al., 2013; LOENNEKE et al., 2015). Além disso, ao associar a RFS no TFAI nenhum efeito adicional foi observada na RMS (TAKARADA et al., 2000). Portanto, o aumento da ativação muscular parece ser causado principalmente pelo elevado estresse mecânico produzido pela alta intensidade do TF e menos afetado pelo aumento do estresse metabólico gerado pelo TF de baixa intensidade com RFS. Além disso, quando a ativação muscular já é prontamente alta devido ao elevado estresse mecânico gerado pela alta intensidade, aumentar o estresse metabólico não oferece benefício adicional. Isso de fato foi notado no presente estudo, uma vez que, apesar de termos evidenciado maior estresse metabólico na condição RFS-I, não observamos aumento correspondente nos valores de RMS. Por outro lado, de modo inesperado, verificamos uma diminuição da RMS entre a primeira e terceira série (13,5%) na condição RFS-I no pré-treinamento.

A diminuição da ativação muscular durante as séries do exercício tem sido observada em dois estudos prévios (HAKKINEN, 1993; KAWAMOTO; ABOODARDA; BEHM, 2014). Por exemplo, foi observada após a realização de quatro séries do exercício extensão unilateral de joelhos a 70% do TIM, uma diminuição de ~12% na ativação muscular (KAWAMOTO et al., 2014). De maneira similar, no outro estudo observou-se uma redução na ativação muscular de 27,8% após a realização de 20 séries de 1RM no exercício agachamento (HAKKINEN, 1993). A diminuição da ativação muscular tem sido atribuída ao elevado acúmulo de metabólitos intracelular (*i.e.* H^+ , fosfato inorgânico) (GERDLE et al., 2010; WALKER et al., 2012). Vias aferentes III e IV detectariam a presença dos metabólitos, particularmente do H^+ , lactato e ATP (LIGHT et al., 2008) e inibiriam os motoneurônios alfas e/ou o drive descendente, atenuando o recrutamento de unidades motoras, e conseqüentemente diminuindo a ativação muscular (ROTTU; KAUFMAN, 1988; GARLAND, 1991). Assim, é possível especular que no presente estudo, a condição RFS-I tenha acentuado o acúmulo de metabólito (*i.e.* lactato) e este provocado a diminuição da RMS. Curiosamente, para esse mesmo protocolo, não foi observada diminuição da RMS entre as séries no período pós-treinamento. Uma possível explicação pode estar relacionada ao aumento da [La] no pós-treinamento. É conhecido que a alta concentração de íons H^+ dentro do músculo provoca o decréscimo do pH intracelular, o que pode diminuir a produção de energia pela via glicolítica, ocasionando em última instância a fadiga (NALBANDIAN;

TAKEDA, 2016). Por sua vez, íons H^+ podem sair do músculo em direção a corrente sanguínea, co-transportado com o lactato através das proteínas MCTs, o que controlaria o pH intracelular, atenuando o início da fadiga muscular (NALBANDIAN; TAKEDA, 2016). Deste modo, é possível que no pós-treinamento o aumento da [La] em resposta a condição RFS-I, tenha auxiliado no controle do pH muscular via co-transporte de H^+ , o que explicaria parcialmente a RMS não ter diminuído entre as séries para essa condição de treino.

É importante mencionar as limitações do presente estudo. Primeiramente, utilizamos uma condição de treinamento unilateral que supostamente induziria um efeito de educação cruzada, ou seja, o aumento de força na perna contralateral a que foi treinada (LEE; CARROL, 2007). No entanto, quando ambas as pernas são treinadas com diferentes condições, tal como no presente estudo, estes efeitos são mínimos ou inexistentes (MITCHELL et al., 2012). Adicionalmente, não medimos diretamente a concentração de metabólitos intracelular (*i.e.* H^+ , fosfato inorgânico, lactato), mas apenas a concentração sistêmica de lactato. No entanto, o aumento da concentração de lactato no sangue fornece um indicativo de maior utilização da via glicolítica (JUEL et al., 2004; NALBANDIAN; TAKEDA, 2016) e tem sido considerado um bom representante do estresse metabólico nos estudos com TF associado à RFS (SCHOENFELD, 2013; PEARSON; HUSSAIN, 2015). Por último, foi utilizada a amplitude do sinal eletromiográfico para inferir o aumento da ativação muscular durante as séries do exercício. Embora essa técnica seja amplamente utilizada nos estudos com TF associado à RFS (TAKARADA et al., 2000; YASUDA et al., 2008; WERNBOM et al., 2009; YASUDA et al., 2009; COOK et al., 2013; KARABULUT; PEREZ, 2013; YASUDA et al., 2013; FAHS et al., 2015; LOENNEKE et al., 2015; FATELA et al., 2016) e alguns autores afirmarem representar o aumento do recrutamento de fibras do tipo II (MORITANI et al., 1992; TAKARADA et al., 2000; MOORE et al., 2004), recentemente alguns pesquisadores têm criticado seu uso para inferir apenas o recrutamento muscular (ENOKA; DUCHATEAU, 2015; VIGOTSKY et al., 2015). Segundo Enoka e Duchateau (2015) e Vigotsky et al. (2015) os valores de RMS são influenciados por inúmeros fatores, tais como o número de unidades motoras recrutadas, a frequência de disparo, a sincronização, o desrecrutamento e a velocidade dos potenciais de ação na fibra muscular. Tais fatores são afetados ainda por diferentes intensidades do exercício e pela fadiga muscular. Contudo, achados de estudos anteriores utilizando a técnica de

espectroscopia de ressonância magnética, verificaram picos de *splits* de fosfato inorgânico em protocolos de TF de baixa intensidade com RFS e de TFAI (SUGA et al., 2009; SUGA et al., 2010; SUGA et al., 2012). Essa medida oferece um indicativo de aumento do recrutamento de fibras do tipo II, provendo suporte às considerações apresentadas em nosso trabalho sobre os resultados de ativação muscular.

7 CONCLUSÃO

Os resultados desse estudo demonstraram que apesar dos ganhos de força isométrica e dinâmica serem similares entre condições de alta e baixa intensidade com e sem restrição de fluxo sanguíneo, a magnitude dos ganhos de força dinâmica foi maior para as condições de alta intensidade, provavelmente devido aos maiores níveis de ativação muscular para essas condições. Adicionalmente, os ganhos de massa muscular foram similares entre as condições independentemente da intensidade e da forma de aplicação da restrição de fluxo sanguíneo, sugerindo que sob elevado estresse mecânico o aumento do estresse metabólico não promove efeitos adicionais aos já obtidos pela própria intensidade elevada do treinamento. Por fim, agudamente, a restrição do fluxo sanguíneo aplicada durante os intervalos de descanso do treinamento de força de alta intensidade, embora aumente a concentração de lactato sanguíneo, diminui a amplitude do sinal eletromiográfico, provavelmente pela fadiga produzida pelo acúmulo de metabólitos; no entanto, essa diminuição não ocorre de maneira crônica, provavelmente pelo aumento da concentração de lactato sanguíneo possibilitar a retirada de íons H^+ , o que favorece a manutenção da capacidade de contração muscular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSM. American College of Sports Medicine Position Stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 41. n. 3, p. 687-708, 2009.

BROWN, L. E.; WEIR, J. P. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. **Journal of Exercise Physiology**, Duluth, v.4, n. 3, p. 1-21, 2001.

BUCKNER, S. L. et al. Determining Strength: A Case for Multiple Methods of Measurement, **Sports Medicine**, Auckland, v.47, n. 2, p. 193-195, 2017.

CAMPOS, G. E et al. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 88, n. 1-2, p. 50-60, 2002.

COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. **Hillsdale, N.J., L. Erlbaum Associates**. New Jersey, p. 29-35, 1988.

COMFORT, P.; McMAHON, J. J. Reliability of maximal back squat and power clean performances in inexperienced athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign, v. 29, n. 11, p. 3089-3096, 2015.

COOK, S. B.; MURPHY, B. G.; LABARBERA, K. E. Neuromuscular function after a bout of low-load blood flow-restricted exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 45, n. 1, p. 67-74, 2013.

COOK, C. J.; KILDUFF, L. P.; BEAVEN, C. M. Improving Strength and Power in Trained Athletes With 3 Weeks of Occlusion Training. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, Champaign, v. 9. n. 1, p. 166-172, 2014.

DANKEL, S. J. et al. Post-exercise blood flow restriction attenuates muscle hypertrophy. **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 116. n. 10, p. 1955-1963, 2016.

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

ELLEFSEN, S. et al. Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training. **American Journal of Physiology, Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**. Bethesda, v. 309, n. 7, p. R767-R779, 2015.

ENOKA, R. M.; DUCHATEAU, J. Inappropriate interpretation of surface EMG signals and muscle fiber characteristics impedes understanding of the control of neuromuscular function. **Journal of Applied Physiology**. Bethesda, v. 119, n. 12, p. 1516-1518, 2015

FAHS, C. A. et al. Muscular adaptations to fatiguing exercise with and without blood flow restriction. **Clinical Physiology and Functional Imaging**. Oxford, v. 35, n. 3, p. 167-176, 2015.

FATELA, P. et al. Acute effects of exercise under different levels of blood-flow restriction on muscle activation and fatigue. **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 116. n. 5, p. 985-995, 2016.

FOLLAND, J. P.; WILLIAMS, A. G. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. **Sports Medicine**, Auckland, v. 37, n. 2, p. 145-168, 2007.

FRY, C. S. et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 108, n. 5, p. 1199-1209, 2010.

FRY, A. C. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. **Sports Medicine**, Auckland, v. 34, n. 10, p. 663-679, 2004.

FUJITA, S. et al. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 103, n. 3, p. 903-910, 2007.

GANESAN, et al. Effect of blood flow restriction on tissue oxygenation during knee extension. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 47. n. 1, p. 185-193, 2015.

GARLAND, S. J. Role of small diameter afferents in reflex inhibition during human muscle fatigue. **The Journal of Physiology**, London, v. 435, p. 547-58, 1991.

GUALANO, B. et al. Vascular Occlusion Training for Inclusion Body Myositis: A Novel Therapeutic Approach. **Journal of Visualized Experiments**, Boston, v. 5. n. 40, pii:1894, 2010.

GERDLE, B. et al. The influences of muscle fibre proportions and areas upon EMG during maximal dynamic knee extensions. **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 81, n. 1-2, p. 2-10, 2000.

GOLDBERG, A. L. et al. Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 7, n. 3, p. 185-198, 1975.

GUNDERMANN, D. M. et al. Reactive hyperemia is not responsible for stimulating muscle protein synthesis following blood flow restriction exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 112, n. 9, p. 1520-1528, 2012.

HADDOCK, B. L.; WILKIN, L. D. Resistance training volume and post exercise energy expenditure. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart v. 27, n. 2, p. 143-148, 2006.

HAKKINEN, K. Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athlete during heavy resistance exercise. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart v. 14, n. 2, p. 53-59, 1993.

HENNEMAN, E. Relation between size of neuron and their susceptibility to discharge. **Science**, New York, v. 126, n. 3287, p. 1345-1347, 1957.

HOLM, L. et al. Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 105, n. 5, p. 1454-1461, 2008.

JUEL, C.; HOLTEN, MK.; DELA, F. Effects of strength training on muscle lactate release and MCT1 and MCT4 content in healthy and type 2 diabetic humans. **The Journal of Physiology**, London, v. 556, n. Pt1, p. 297-304, 2004.

KACIN, A.; STRAZAR, K. Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, Stockholm, v. 21. n. 6, p. 231-241, 2011.

KARABULUT, M.; PEREZ, G. Neuromuscular response to varying pressures created by tightness of restriction cuff. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, New York, v. 23, n. 6, p. 1494-1498, 2013.

KAWAMOTO, J. E.; ABOODARDA, S. J.; BEHM, D. G. Effect of Differing Intensities of Fatiguing Dynamic Contractions on Contralateral Homologous Muscle Performance. **Journal of Sports Science and Medicine**, Bursa, v. 13, n. 4, p. 836-845, 2014.

KIM, E. et al. Hormone responses to an acute bout of low intensity blood flow restricted resistance exercise in college-aged females. **Journal of Sports Science and Medicine**, Bursa, v. 13, n. 1, p. 91-96, 2014.

KULIG, K.; ANDREWS, J. G.; HAY, J. G. Human strength curves. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, New York, v. 12, n. 1, p. 417-466, 1984.

KUBO, K. et al. Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. **Journal of Applied Biomechanics**, Toronto, v. 22, n. 2, p. 112-119, 2006.

KUMAR, V. et al. Age-related differences in the dose-response relationship of muscle protein synthesis to resistance exercise in young and old men. **The Journal of Physiology**, London, v. 587, n. 1, p. 211-217, 2009.

LAURENTINO, G. et al. Effects of strength training and vascular occlusion. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart v.9, n.8, p. 664-667, 2008.

LAURENTINO, G. C. et al. Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 44, n. 3, p. 406-412, 2012.

LEE, M.; CARROL, T. J. Cross education: possible mechanisms for the contralateral effects of unilateral resistance training. **Sports Medicine**, Auckland. v. 37, n. 1, p. 1-14, 2007.

LIGHT, A. R. et al. Dorsal root ganglion neurons innervating skeletal muscle respond to physiological combinations of protons, ATP, and lactate mediated by ASIC, P2X, and TRPV1. **Journal of Neurophysiology**, Washington, v. 100, n. 3, p. 1184-1201, 2008.

LIXANDRÃO, M. E. et al. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 115, n. 12, p. 2471-2480, 2015.

LOENNEKE, J. P. et al. Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation. **Muscle Nerve**, Hoboken, v. 51, n. 5, p. 713-721, 2015.

LOENNEKE, J. P. et al. The acute muscle swelling effects of blood flow restriction. **Acta Physiologica Hungarica**. Budapest, v. 99, n. 4, p. 400-410, 2012.

MANINI, T. M. et al. Growth hormone responses to acute resistance exercise with vascular restriction in young and old men. **Growth Hormone and IGF Research**, London, v. 22, n. 5, p. 167-172, 2012.

MARTÍN-HERNÁNDEZ, J. et al. Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, Stockholm, v. 23, n. 2, p. 14-20, 2013.

McMAHON, S.; JENKINS, D. Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. **Sports Medicine**. Auckland, v. 32, n. 12, p. 761-784, 2002.

MITCHELL, C. J. et al. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. **Journal of Applied Physiology**. Bethesda, v. 113, n. 1, p. 71-77, 2012.

MOORE, D. R. et al. Neuromuscular adaptations in humans muscle following low intensity Resistance training with vascular occlusion. **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 92, n. 4-5, p. 399-406, 2004.

MORITANI, T. et al. Oxygen availability and motor unit activity in humans. **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 64, n. 6, p. 552-556, 1992.

NALBANDIAN, M.; TAKEDA, M. Lactate as a Signaling Molecule That Regulates Exercise-Induced Adaptations. **Biology (Basel)**. Basel, v. 5, n. 4, pii: E38, 2016.

NIELSEN, J. L. et al. Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. **The Journal of Physiology**, London, v.590, n. Pt 17, p. 4351-4361, 2012.

OGASAWARA, R. et al. Low-load bench press training to fatigue results in muscle hypertrophy similar to high-load bench press training. **International Journal of Clinical Medicine**, Basingstoke, v. 4, n. 2, p. 114-121, 2013.

OGBORN, D.; SCHOENFELD, B. J. The role of fiber types in muscle hypertrophy: implications for loading. **Strength and Conditioning Journal**, Philadelphia, v. 36, n. 2, p. 20-25, 2014.

PEARSON, S. J.; HUSSAIN, S. R. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. **Sports Medicine**, Auckland, v. 45, n. 2, p. 187-200, 2015.

POTON, R.; POLITO, M. D. Hemodynamic response to resistance exercise with and without blood flow restriction in healthy subjects. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, Oxford, v. 36, n. 3, p. 231-236, 2016.

ROBERGS, R. A.; GHIASVAND, F.; PARKER, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. **American Journal of Physiology, Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, Bethesda, v. 287, n. 3, p. R502-R516, 2004.

ROTTA, D. M.; KAUFMAN, M. P. Effect of metabolic products of muscular contraction on discharge of group III and IV afferents. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 64, n. 6, p. 2306-2313, 1988.

RUITER, C. J. et al. The isometric torque at which knee-extensor muscle reoxygenation stops. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 39, n. 3, p. 443-453, 2007.

SADAMOTO, T.; BONDE-PETERSON, F.; SUZUKI, Y. Skeletal muscle tension, flow, pressure, and EMG during sustained isometric contractions in humans. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Bethesda, v. 51, n. 3, p. 395-408, 1983.

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**, Champaign, v. 29, n. 10, p. 2954-2963, 2015.

SCHOENFELD, B. J. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. **Sports Medicine**, Auckland, v. 43, n. 3, p. 179-194, 2013.

SPIERING, B. A. et al. Resistance exercise biology: manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. **Sports Medicine**, Auckland, v. 38, n. 7, p. 527-540, 2008.

SUGA, T. et al. Dose effect on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 108, n. 6, p. 1563-1567, 2010.

SUGA, T. et al. Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 106, n. 4, p. 1119-1124, 2009.

SUGA, T. et al. Effect of multiple sets on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 112, n. 11, p. 3915-3920, 2012.

SUGAYA, M. et al. Change in intramuscular inorganic phosphate during multiple sets of blood flow-restricted low-intensity exercise. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, Oxford, v. 31, n. 5, p. 411-413, 2011.

SUMIDE, T. et al. Effect of resistance exercise training combined with relatively low vascular occlusion. **Journal of Science and Medicine in Sport**. Belconnen, v. 12, n. 1, p. 107-112, 2009.

TAKADA, S. et al. Low-intensity exercise can increase muscle mass and strength proportionally to enhanced metabolic stress under ischemic conditions. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 113, n. 2, p. 199-205, 2012.

TAKARADA, Y. et al. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 88, n. 6, p. 2097-2106, 2000.

TAKARADA, Y.; TSURUTA, T.; ISHII, N. Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. **Japanese Journal of Physiology**. Tokyo, v. 54, n. 6, p. 585-592, 2004.

TANIMOTO, M.; MADARAME, H.; ISHII, N. Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise: Comparison between "KAATSU" and other types of regimen. **International Journal Kaatsu Training Research**, Tokyo, v. 1, n. 2, p. 51-56, 2005.

TESCH, P. A. et al. The influence of muscle metabolic characteristics on physical performance. **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 54, n. 3, p. 237-245, 1985.

VECHIN, F. C. et al. Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign, v. 29, n. 4, p. 1071-1076, 2015.

VIGOTSKY, A. D. et al. Greater electromyographic responses do not imply greater motor unit recruitment and 'hypertrophic potential' cannot be inferred. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign. 2015 Dec 11. [Epub ahead of print].

WALKER, S. et al. Neuromuscular fatigue during dynamic maximal strength and hypertrophic resistance loadings. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, New York, v. 22, n. 3, p. 356-362, 2012.

WERNBOM, M. et al. Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign, v. 23, n. 8, p. 2389-2395, 2009.

WERNBOM, M. et al. Acute low-load resistance exercise with and without blood flow restriction increased protein signaling and number of satellite cells in human skeletal muscle. **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 113, n. 12, p. 2953-2965, 2013.

WESSEL, T. et al. The muscle fiber type-fiber size paradox: hypertrophy or oxidative metabolism? **European Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 110, n. 4, p. 665-694, 2010.

WIRTZ, N. et al. Lactate kinetics during multiple set resistance training. **Journal of Sports Science and Medicine**, Bursa, v. 13, n. 1, p. 73-77, 2014.

YAMADA, E. et al. Effects of vascular occlusion on surface electromyography and muscle oxygenation during isometrics contraction. **Journal of Sport Rehabilitation**, Lexington, v. 13, n. 4, p. 287-299, 2004.

YASUDA, T. et al. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with varying levels of external limb compression. **Journal of Sports Science Medicine**, Bursa, v. 7, n. 4, p. 476-474, 2008.

YASUDA, T. et al. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. **Journal of Sports Sciences**, Oxon, v. 27. n. 5, p. 479-489, 2009.

YASUDA, T. et al. Influence of continuous or intermittent blood flow restriction on muscle activation during low-intensity multiple sets of resistance exercise. **Acta Physiologica Hungarica**. Budapest, v. 100, n. 4, p. 419-426, 2013.