

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Fabiano Aparecido Pinheiro

O EFEITO DO TREINAMENTO AERÓBIO ASSOCIADO À RESTRIÇÃO DO FLUXO
SANGUÍNEO NA CAPACIDADE AERÓBIA, FORÇA MÁXIMA E DESEMPENHO EM
CICLISTAS TREINADOS

São Paulo

2020

FABIANO APARECIDO PINHEIRO

O efeito do treinamento aeróbio associado à restrição do fluxo sanguíneo na capacidade aeróbia, força máxima e desempenho em ciclistas treinados

VERSÃO CORRIGIDA

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

Área de Concentração: Estudos Biodinâmicos da Educação Física e Esporte

Orientador: Prof. Dr. Valmor A. A. Tricoli
Coorientador: Prof. Dr. Flávio Pires

São Paulo

2020

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.

Pinheiro, Fabiano Aparecido

O efeito do treinamento aeróbio associado à restrição do fluxo sanguíneo na capacidade aeróbia, força máxima e desempenho em ciclistas treinados / Fabiano Aparecido Pinheiro. – São Paulo : [s.n.], 84p.

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

Orientador: Prof. Dr. Valmor A.A. Tricoli

Coorient: Flávio Pires

1. Treinamento aeróbio 2. Ciclistas (Treinamento) 3. Força 4. Capacidade aeróbia I. Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome: PINHEIRO, Fabiano Aparecido

Título: O efeito do treinamento aeróbio associado à restrição do fluxo sanguíneo na capacidade aeróbia, força máxima e desempenho em ciclistas treinados.

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

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

A minha mãe e ao meu pai, os quais dedicaram parte de suas vidas ensinando-me valores dos quais me fizeram chegar até aqui. Muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jesus Cristo por ter me “guardado” ao longo de toda essa inesquecível e prazerosa caminhada que foi o Doutorado, da qual me ensinou a ser mais que um pesquisador, me ensinou a ser um Ser Humano melhor!

A toda minha família (pai, mãe, irmão, avó e tio) que atuaram como um alicerce para que a “construção do conhecimento” pudesse ser realizada.

A Elizabeth Yuriko O. Hatimine, mulher incrível que sempre acreditou no meu potencial, proporcionando uma oportunidade de “ouro” num momento da minha vida em que poucos me dariam. Beth, de onde a Senhora estiver, saiba que aquela oportunidade fez toda a diferença para que eu pudesse degustar desse momento, muito obrigado! Agradeço também ao seu filho e meu melhor amigo Alberto Tadashi que em 17 anos de amizade nunca deixou de acreditar no meu potencial.

Ao meu orientador Valmor Tricoli por todos os ensinamentos que não ficaram somente no campo acadêmico. O senhor me ensinou a caminhar com as “próprias pernas” e me mostrou como confiar cada vez mais no meu trabalho. Foi uma das principais pessoas que tomei como referência de humildade, honestidade, simplicidade e dedicação ao trabalho ao longo do meu processo de Doutorado. Além disso, saiba que mesmo nos momentos mais difíceis que passei da minha vida, os quais ocorreram durante o processo de Doutorado, o senhor em momento algum duvidou da minha capacidade de dar prosseguimento nas mais diversas atribuições que me pertenciam. Essa sua atitude fez toda a diferença para mim, gerando mais autoconfiança e motivação para que eu pudesse cumprir com meus objetivos e não decepcioná-lo. Por isso, aqui fica meu Muito obrigado!

Ao meu Coorientador e amigo Flávio Oliveira Pires, o qual além de contribuir indiscutivelmente para o presente trabalho também tem contribuído ao longo de vários anos para o meu amadurecimento científico e pessoal.

Ao Prof. Dr. Bent Ronnestad, que ao ter aceitado o convite para contribuir com o presente estudo tem trabalhado de forma admirável, fazendo com que eu tenha uma visão mais ampla sobre meu projeto, contribuindo assim para meu amadurecimento como cientista.

A todos os meus amigos do Laboratório em Adaptações Neuromusculares ao Treinamento de Força, os quais me acompanharam de perto (direta ou indiretamente) na realização do Doutorado. Muito obrigado aos amigos/amigas, Carla Silva Batista, Everton Crivoi, Ricardo Berton, Jumes Lira, Victoria Hevia-Larraín, Saulo Gil, Demostenys David, Miguel Conceição, Raquel Marquesini, Lucas Tavares, Lucas Neves, Manoel Lixandrão, Felipe

Cassaro, Igor Longobardi, Acácio Neto, Guilherme Telles, Rodrigo Volga e especialmente ao Gilberto Laurentino (que me iniciou no mundo da pesquisa científica) e Claudio Jambassi que atuou como colaborador na coleta de dados das imagens de ultrassom.

A todos os meus amigos do Grupo de Estudos em Psicofisiologia do Exercício (Gepse) Cayque Brietzki, Paulo Alvarenga, Raul Canestri, Noel Dias, Bruno Viana, Tony Meireles, Ricardo Asano, Felipe de Russi, e especialmente ao Gustavo Vasconcelos (Guga).

Aos Prof. Dr. Renato Barroso e Prof. Dr. Paulo Azevedo por ter me ajudado em alguns momentos desafiadores da Coleta de Dados.

Aos meus companheiros de coleta de dados Fernando Alegre, Rogério Queiroz (Roger), Denise Froes e Thiago Pitta Pena, os quais dedicaram uma parte de seu precioso tempo para me auxiliar na coleta de dados. Muito obrigado!

A todos os ciclistas/voluntários que se dedicaram plenamente a fase da coleta de dados. Graças a dedicação e comprometimento de vocês esse trabalho tornou-se real.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) por ter fornecido a bolsa de estudo no período de 01/09/2016 a 01/09/2018 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – número processo: 166206/2015-0) pela bolsa fornecida de 01/09/2018 a 31/10/2020.

E por fim, agradeço a todas as “Marias” e a todos os “Josés” que de alguma forma contribuíram para este momento.

“Ninguém cruza nosso caminho por acaso
e nós não entramos na vida de alguém
sem nenhuma razão”.

Chico Xavier

RESUMO

A associação do treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) ao treinamento aeróbio submáximo de longa duração tem sido a estratégia mais utilizada para aumentar o desempenho físico-esportivo de ciclistas treinados. Contudo, a prescrição do HIIT deve ser realizada de forma cuidadosa a fim de evitar problemas associados ao *overtraining*. Por esta razão, criar e/ou adaptar uma estratégia de treinamento que gere adaptações fisiológicas semelhantes ao HIIT, mas que utilize baixa intensidade e que possa ser usada por longos períodos é necessário. Assim, o treinamento aeróbio associado à restrição do fluxo sanguíneo (TA+RFS) pode ser uma solução viável; todavia, até o presente momento, o TA+RFS não foi investigado em ciclistas treinados. Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar e comparar os efeitos do TA+RFS e do HIIT na aptidão aeróbia, força máxima e desempenho em ciclistas treinados. Para tanto, 25 ciclistas do sexo masculino (18-45 anos, ≥ 3 anos de treinamento) integraram os grupos; TA+RFS (n = 9), HIIT (n = 8;) e controle (CON; n = 8). Pré e pós-treinamento (nove semanas, 2x/semana) os seguintes testes foram realizados; contrarrelógio de 20km (CR20km), teste incremental máximo (TIM – [consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico})], [potência mecânica de pico (W_{pico})], [potência mecânica correspondente aos primeiro e segundo limiares ventilatórios (W_{LV1} , W_{LV2} , respectivamente)]), economia de ciclismo (EC) em 150W e 200W, teste de tempo limite (Tlim), contração voluntária isométrica máxima (CVIM) e força dinâmica máxima (1RM) do membro inferior, além da mensuração da área de secção transversa (AST) dos músculos vasto lateral (AST_{VL}) e reto femoral (AST_{RF}). Após o treinamento, não houve diferença do desempenho no CR20km entre os grupos TA+RFS e HIIT ($p > 0,05$). Todavia, o grupo HIIT melhorou o desempenho no CR20km comparado ao grupo CON, reduzindo o tempo ($-1,3 \pm 3,6\%$; $2,8 \pm 3,5\%$, respectivamente, $p < 0,05$) e aumentando a potência média ($5,5 \pm 7,6\%$; $-5,1 \pm 8,0\%$, respectivamente, $p < 0,05$). Por outro lado, ambos os grupos TA+RFS e HIIT aumentaram a W_{pico} ($7,3 \pm 5,4\%$ e $7,9 \pm 5,0\%$, respectivamente) e as W_{LV1} ($10,6 \pm 8,2\%$ e $9,1 \pm 5,6\%$, respectivamente) e W_{LV2} ($5,9 \pm 4,7\%$ e $11,1 \pm 6,8\%$, respectivamente) comparados ao grupo CON ($-5,4 \pm 3,6\%$; $-4,8 \pm 4,9\%$ e $-3,1 \pm 6,4\%$, respectivamente, $p < 0,01$). Com relação as variáveis VO_{2pico} , desempenho no Tlim, EC, CVIM e 1RM, nenhuma diferença significativa foi observada entre todos os grupos ($p > 0,05$). Já para a AST_{VL} , aumento ocorreu no grupo TA+RFS comparado ao CON ($2,4 \pm 1,3\%$, $-0,04 \pm 1,4\%$, respectivamente) ($p < 0,01$). Por outro lado, não houve diferença entre os grupos para a AST_{RF} ($p > 0,05$). Podemos concluir que o TA+RFS pode ser utilizado como estratégia adicional aos ciclistas treinados, melhorando o desempenho físico semelhante ao HIIT, e ainda concomitantemente gerando o aumento da massa muscular (AST_{VL}). Contudo, é importante destacar que o treinamento de HIIT ainda parece ser a melhor estratégia para aumentar o desempenho esportivo no CR20km, provavelmente pela sua especificidade em simular a alta intensidade imposta pelo ambiente competitivo.

Palavras-chave: Oclusão vascular. Treinamento intervalado de alta intensidade. Contrarrelógio. Hipertrofia muscular

ABSTRACT

The combination of high intensity interval training (HIIT) with long distance low-intensity aerobic training is the valid way to improve the aerobic capacity and performance in trained cyclists. However, the prescription of HIIT should be made with caution to avoid problems associated to overtraining syndrome. In this sense, the development of a long term new strategy able to generate physiological adaptations similar to HIIT is required. Thus, low-intensity aerobic training combined with blood flow restriction (LI+BFR) may be a solution; however, this strategy has not yet been investigated in trained cyclists. Thus, the aim of the present study was to investigate and compared the effects of LI+BFR and HIIT on aerobic capacity, maximal strength, and performance in trained cyclists. Twenty-five well-trained cyclists (18-45 years) were allocated in the following groups: LI+BRF (n = 9), HIIT (n = 8), and control (CON, n = 8). Pre- and post-intervention (nine weeks, 2 times·week⁻¹) tests were performed in the following order: time trial 20km (TT20km), maximal incremental test (MIT – to determine power output of the 1st and 2nd ventilatory thresholds [W_{VT1} and W_{VT2}], VO_{2peak} and W_{peak}), cycling economy (CE) in 150W and 200W, time to exhaustion test (TTE), maximal voluntary isometric contraction (MVIC), maximal dynamic strength (1RM) of the lower limb, and measurement of cross sectional area of the vastus lateralis (CSA_{VL}) and rectus femoris muscles (CSA_{RF}). After the intervention there was no difference in TT20km performance between LI+BFR and HIIT ($p>0.05$). The HIIT enhanced TT20km performance ($-1.3 \pm 3.6\%$ and $2.8 \pm 3.5\%$, respectively, $p<0.05$) and mean power output ($5.5 \pm 7.6\%$ and $-5.1 \pm 8.0\%$, respectively, $p<0.05$) compared to CON group. On the other hand, both groups LI+BFR and HIIT improved ($p<0.05$) W_{peak} ($7.3 \pm 5.4\%$ and $7.9 \pm 5.0\%$, respectively) and W_{VT1} ($10.6 \pm 8.2\%$ and $9.1 \pm 5.6\%$, respectively) and W_{VT2} ($5.9 \pm 4.7\%$ and $11.1 \pm 6.8\%$, respectively) compared to CON ($-5.4 \pm 3.6\%$; $-4.8 \pm 4.9\%$ and $-3.1 \pm 6.4\%$, respectively, $p<0.01$). Regarding to VO_{2peak} , TTE, CE, MVIC, and 1RM no differences were observed between groups ($p>0.05$). Increase in CSA_{VL} was observed in LI+BFR compared to CON group ($2.4 \pm 1.3\%$ and $-0.04 \pm 1.4\%$, respectively, $p<0.01$). Nonetheless, there was no difference in CSA_{RF} between groups ($p>0.05$). In conclusion, the LI+BFR can be used as an additional strategy in well-trained cyclists, improving physical performance similar to the HIIT and simultaneously increasing vastus lateralis muscle mass. Although, it is important to clarify that HIIT seems to be the best way to enhance TT20km performance, probably due to the high specificity to the intensity required in competitive tasks.

Key-words: Vascular occlusion. High intensity interval training. Cycling time-trial. Muscle hypertrophy

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Representação esquemática de todas as visitas para familiarização, realização dos testes (pré e pós-treinamento) e do treinamento pelos grupos TA+RFS e HIIT. 36
- Figura 2 – Percentual de mudança (delta) na economia de ciclismo nas potências de 150W (Figura A) e 200W (Figura B) nos grupos, treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON). 56
- Figura 3 – Percentual de mudança (delta) da área de secção transversa do músculo vasto lateral nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON). 59
- Figura 4 – Percentual de mudança (delta) da área de secção transversa do músculo reto femoral nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características antropométricas dos voluntários nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e controle (CON).....	45
Tabela 2 – Características de desempenho no ciclismo e de força máxima nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e controle (CON).....	46
Tabela 3 – Duração (horas/semana) e intensidade (PSE-sessão) do treinamento aeróbio habitual realizado durante as nove semanas de intervenção nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e controle (CON).....	47
Tabela 4 – Variáveis de desempenho do CR20km nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) nos momentos pré e pós-treinamento.....	48
Tabela 5 – Variáveis do teste incremental máximo (TIM) nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) nos momentos pré e pós-treinamento.	51
Tabela 6 – Variáveis do teste de tempo limite (Tlim) nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) nos momentos pré e pós-treinamento.....	53
Tabela 7 - Percentual do consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}) utilizado no teste de economia de ciclismo nas potências de 150W e 200W nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) nos momentos pré e pós-treinamento.....	55
Tabela 8 - Variáveis dos testes de contração voluntária isométrica máxima e força dinâmica máxima nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) nos momentos pré e pós-treinamento.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AST	área de secção transversa
AST _{RF}	área de secção transversa do músculo reto femoral
AST _{VL}	área de secção transversa do músculo vasto lateral
ATP	adenosina trifosfato
bpm	batimentos por minuto
CO ₂	dióxido de carbono
CON	controle
CR	contrarrelógio
CR20km	contrarrelógio de 20 quilômetros
CVIM	contração voluntária isométrica máxima
EC	economia de ciclismo
1RM	força dinâmica máxima
FC	frequência cardíaca
FC _{máxima}	frequência cardíaca máxima
HIIT	treinamento intervalado de alta intensidade
LL ₁	primeiro limiar de lactato
LL ₂	segundo limiar de lactato
LV ₁	primeiro limiar ventilatório
LV ₂	segundo limiar ventilatório
O ₂	oxigênio
P _{ET} CO ₂	pressão parcial de CO ₂
P _{ET} O ₂	pressão parcial de O ₂
PSE	percepção subjetiva de esforço
PSE-sessão	percepção subjetiva de esforço da sessão
RER	razão de trocas respiratórias
RF	reto femoral
RFS	restrição de fluxo sanguíneo
rpm	rotações por minuto
TA+RFS	treinamento aeróbio associado à restrição do fluxo sanguíneo
TF	treinamento de força
TIM	teste incremental máximo
T _{lim}	teste de tempo limite
VCO ₂	produção de dióxido de carbono
VE	ventilação minuto
VL	vasto lateral
VO ₂	consumo de oxigênio
VO ₂ máx	consumo máximo de oxigênio
VO ₂ pico	consumo de oxigênio de pico

VS	volume sistólico
WLV ₁	potência mecânica correspondente ao primeiro limiar ventilatório
WLV ₂	potência mecânica correspondente ao segundo limiar ventilatório
Wpico	potência mecânica de pico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Objetivos	20
1.1.1. Objetivo geral	20
1.1.2. Objetivos específicos	20
1.2. Hipóteses	20
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1. Adaptações ao treinamento aeróbio e desempenho no ciclismo	21
2.2. Adaptações ao treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e desempenho no ciclismo	25
2.3. Adaptações ao treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo e desempenho no ciclismo	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1. Amostra	34
3.2. Procedimentos experimentais	34
3.3. Testes e medidas	36
3.3.1. Teste de contrarrelógio de 20km (CR20km)	36
3.3.2. Teste incremental máximo (TIM)	37
3.3.3. Teste de economia de ciclismo (EC)	38
3.3.4. Teste de tempo limite (Tlim)	39
3.3.5. Teste de contração voluntária isométrica máxima (CVIM)	39
3.3.6. Teste de força dinâmica máxima (1RM)	40
3.3.7. Mensuração da área de secção transversa dos músculos reto femoral (AST _{RF}) e vasto lateral (AST _{VL})	41
3.4. Protocolos de treinamento	42
3.4.1. Grupo treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS)	42
3.4.2. Grupo treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT)	43
4. ANÁLISE ESTATÍSTICA	44
5. RESULTADOS	45
5.1. Características antropométricas	45
5.2. Característica de desempenho dos ciclistas no pré-treinamento	45
5.3. Monitoramento do treinamento aeróbio habitual	46
5.4. Desempenho no teste de contrarrelógio de 20km (CR20km)	47
5.5. Teste incremental máximo (TIM)	49
5.5.1. Potência mecânica de pico (W _{pico})	49

5.5.2. Resposta das trocas gasosas e frequência cardíaca máxima (FC _{máxima})	49
5.5.3. Potência mecânica correspondente aos limiares ventilatórios (LV ₁ e LV ₂).....	50
5.6. Teste de Tempo Limite (T _{lim})	52
5.6.1. Desempenho	52
5.6.2. Consumo de oxigênio de pico (VO ₂ _{pico}) e frequência cardíaca máxima (FC _{máxima})	52
5.7. Economia de ciclismo (EC).....	54
5.8. Contração voluntária isométrica máxima (CVIM).....	57
5.9. Força Dinâmica Máxima (1RM)	57
5.10. Área de secção transversa dos músculos reto femoral (AST _{RF}) e vasto lateral (AST _{VL}) 59	
6. DISCUSSÃO	61
7. LIMITAÇÕES	68
8. CONCLUSÃO.....	68
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	82

1. INTRODUÇÃO

O aumento do desempenho em atletas de *endurance* depende de diversos fatores, dos quais, a especificidade e as manipulações do volume e da intensidade do treinamento são os mais importantes (TONNESSEN et al., 2014; WESTON et al., 1997; YOUNG, 2006). Neste sentido, no ciclismo de longa duração, um elevado volume de treinamento tem sido observado. Em alguns casos, a distância total percorrida em treinos e competições pode chegar a 35 mil quilômetros ao ano, sendo o maior percentual (~85%) realizado em intensidade submáxima (FERNANDEZ-GARCIA et al., 2000; SEILER, 2010; ZAPICO et al., 2007). Desta maneira, seria contra intuitivo aumentar ainda mais o volume de treino em intensidade submáxima para melhorar o desempenho de ciclistas treinados. Assim, a incorporação de estímulos de alta intensidade ao programa de treinamento vem sendo a estratégia mais utilizada para promover o aumento do desempenho e da aptidão aeróbia destes indivíduos (BUCHHEIT & LAURSEN, 2013a; LAURSEN & JENKINS, 2002; LINDSAY et al., 1996; SYLTA et al., 2017; WESTON et al., 1997).

O treinamento intervalado de alta intensidade (do inglês, *high intensity interval training* - HIIT), é um método que utiliza variações na relação esforço:recuperação (i.e. 1:1, 2:1, 2:2, etc.) com intensidade igual ou acima do segundo limiar de lactato ou ventilatório (LL₂/LV₂, respectivamente) (BILLAT, 2001; SYLTA et al., 2017b). Em ciclistas de diferentes níveis competitivos, um curto período de treinamento (2-4 semanas) com HIIT demonstrou gerar melhoras significantes no tempo para completar o contrarrelógio de longa duração (CR_{≥20km} = ~3,5%), na potência pico (W_{pico} = ~5%) e no tempo até a exaustão (~20%) quando comparado ao período ou grupo controle (CLARK et al., 2014; LINDSAY et al., 1996; RONNESTAD; HANSEN; ELLEFSEN, 2014; SYLTA et al., 2017b; WESTGARTH-TAYLOR et al., 1997; WESTON et al., 1997). Adicionalmente, essa melhora também tem sido acompanhada por diferentes adaptações fisiológicas, tais como, aumento na capacidade de tamponamento muscular (LAURSEN; JENKINS, 2002; WESTON et al., 1997), aumento do primeiro e segundo limiares ventilatórios (LV₁ e LV₂, respectivamente) (CLARK et al., 2014; LAURSEN; BLANCHARD; JENKINS, 2002; RØNNESTAD et al., 2015; RONNESTAD; HANSEN; ELLEFSEN, 2014; SYLTA et al., 2017b), aumento na oxidação de gordura com redução na oxidação de carboidrato para a mesma intensidade absoluta (WESTGARTH-TAYLOR et al., 1997) e, com menor frequência, aumento no consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}) (LAURSEN et al., 2002; LAURSEN; JENKINS, 2002).

Considerando os resultados anteriormente descritos, fica evidente que o HIIT associado ao treinamento aeróbio habitual submáximo pode ser uma estratégia importante para o aumento do desempenho e da aptidão aeróbia em ciclistas treinados e competitivos. No entanto, sua utilização por longos períodos pode não ser conveniente, porque além de gerar um estresse elevado no corpo do atleta (BILLAT et al., 1999; JEUKENDRUP et al., 1992), a maior magnitude de melhora da aptidão aeróbia (>70%) já é adquirida nas primeiras quatro semanas de treinamento (SYLTA et al., 2017b). Desta forma, seria interessante a aplicação de uma estratégia que fosse capaz de gerar adaptações fisiológicas adequadas e aumentar o desempenho físico-esportivo utilizando baixa intensidade de treinamento e que pudesse ser realizada por longos períodos. Nesse contexto, o treinamento aeróbio de baixa intensidade associado à restrição do fluxo sanguíneo (TA+RFS) vem ganhando destaque.

O TA+RFS é realizado com a colocação de um manguito na parte proximal do membro corporal (i.e., coxa), o qual é inflado a uma determinada pressão. Dependendo da pressão, há uma redução parcial do fluxo sanguíneo arterial com restrição total do retorno venoso (PATTERSON et al., 2019). Nesse ambiente de fluxo sanguíneo e oxigenação reduzidos, descrito como hipóxia muscular, o indivíduo realiza uma determinada tarefa motora por um dado período de tempo (KAWADA, 2005; PATTERSON et al., 2019). Estudos conduzidos com indivíduos fisicamente ativos, observaram que o TA+RFS é capaz de gerar diferentes adaptações das quais auxiliam na melhora do desempenho em exercícios realizados em cicloergômetro ou esteira (ABE et al., 2009, 2010; ABE; KEARNS; SATO, 2006; CONCEIÇÃO et al., 2019; DE OLIVEIRA et al., 2015; EIKEN et al., 1991; KAIJSER et al., 1990; PARK et al., 2010; SUNDBERG et al., 1993). Por exemplo, Abe et al. (2010) investigaram os efeitos do TA+RFS realizado em cicloergômetro durante 8 semanas (3x/semana) no desempenho no teste de tempo até a exaustão, no VO_2 máx, na área de secção transversa (AST) dos músculos extensores de joelho e na força isométrica máxima do quadríceps femoral. Enquanto o grupo TA+RFS realizou um treino com duração total de 15 minutos (com RFS contínua e pressão entre 160-210 mmHg) o grupo controle treinou durante 45 minutos. Ambos os grupos treinaram na intensidade de 40% do VO_2 máx continuamente. O grupo TA+RFS melhorou de maneira significativa o desempenho no teste de tempo até a exaustão (15,4%) e aumentou o VO_2 máx (6,4%) e a AST (4,6%) apresentando uma tendência de aumento na força isométrica máxima (7,7%), enquanto o grupo controle não demonstrou alterações significativas. De fato, chama a atenção, a melhora obtida no grupo TA+RFS, o qual

realizou somente 33,3% do volume total de treino do grupo controle, sugerindo que o uso do TA+RFS pode proporcionar melhoras substanciais com menor volume de treino.

Com relação a manipulação da intensidade, recentemente alguns estudos observaram que o TA+RFS foi capaz de gerar adaptações que proporcionaram a melhora da aptidão aeróbia similares ao HIIT (CHRISTIANSEN et al., 2020; DE OLIVEIRA et al., 2015). Por exemplo, de Oliveira et al. (2015) investigaram os efeitos do TA+RFS comparado ao HIIT após um período de quatro semanas (3x/semana). Enquanto o grupo TA+RFS treinou a 30% da W_{pico} , o grupo HIIT iniciou o treino em intensidade supra máxima com reduções de 5% a cada 30s (110%, 105%, 100% e 95% da W_{pico}). O grupo controle treinou sem RFS a 30% da W_{pico} . Todos os grupos treinaram 2 séries de 5 repetições (2min de exercício/1min de descanso) na primeira semana com progressão de uma série por semana. A pressão de RFS no grupo TA+RFS foi progressiva (140-200 mmHg) com sua liberação feita nos intervalos de descanso. Após a intervenção, os grupos TA+RFS e HIIT apresentaram melhora significativa em relação ao pré-treino na W_{pico} (11,7% e 15%, respectivamente) e no $VO_2máx$ (5,6% e 9,2%, respectivamente). Já para o início de acúmulo do lactato sanguíneo, todos os grupos (TA+RFS, HIIT e controle) tiveram aumento significativo em relação ao pré-treino (16%, 25% e 6%, respectivamente). Quando analisada a força isométrica máxima do quadríceps femoral, houve melhora significativa em relação ao pré-treino somente para o grupo TA+RFS (11,4%).

De acordo com os resultados, podemos considerar que o TA+RFS pode ser um método de treinamento efetivo, o qual possibilita aumentar simultaneamente a aptidão aeróbia, a AST e a força muscular, treinando com volume e intensidade menores. É importante destacar que a melhora em todas essas variáveis é almejada pelos ciclistas; entretanto, para adquiri-las é necessário realizar um programa de treinamento complexo, o qual envolve diferentes métodos, como por exemplo, treinamento aeróbio submáximo e de alto volume, HIIT e treinamento de força (TF) (BILLAT, 2001; MUJICA; RONNESTAD; MARTIN, 2016; RONNESTAD; HANSEN; RAASTAD, 2010a; RONNESTAD; HANSEN; NYGAARD, 2017; SEILER; KJERLAND, 2006; SEILER; TØNNESEN, 2009). O TF, quando associado ao treinamento aeróbio habitual de ciclistas treinados, resulta em melhora da economia de ciclismo (EC), além do aumento da W_{pico} e da potência mecânica no CR40min comparado somente ao treinamento aeróbio habitual. Essas adaptações positivas têm sido associadas com o aumento da AST e da força muscular do quadríceps femoral (MUJICA; RONNESTAD; MARTIN, 2016; RONNESTAD et al., 2015; RONNESTAD; HANSEN; RAASTAD, 2010a, 2011). Neste

contexto, é possível que o aumento da AST e da força muscular do quadríceps gerados pela aplicação do TA+RFS possam também melhorar a EC e o desempenho esportivo em ciclistas.

Diferentemente dos estudos até então realizados com TA+RFS, Taylor et al. (2016) decidiram utilizar a RFS de forma passiva, ou seja, durante os intervalos de descanso entre os *sprints* máximos utilizando ciclistas recreacionais. Os ciclistas dos grupos *Sprint*+RFS e controle, realizaram durante quatro semanas (2x/semana) 4-7 *sprints* máximos com 30s de duração (carga = 0,075 kg/kg de massa corporal) e intervalo de 4,5min entre eles. Durante parte do intervalo (2min), o grupo *Sprint*+RFS teve a RFS aplicada em ambas as pernas (pressão de 130 mmHg), enquanto o grupo controle permaneceu em descanso passivo. Não foi observado efeito significativo no desempenho no CR15km em ambos os grupos. Por outro lado, o grupo *Sprint*+RFS apresentou aumento significativo no VO₂máx (4,7%) comparado ao grupo controle (0,7%). Segundo os autores, o CR15km pode não ter sido sensível o suficiente para transferir o aumento do VO₂máx para o desempenho. Assim, Mitchell et al. (2019) utilizando o mesmo modelo de treinamento do estudo de Taylor et al. (2016), exceto pela redução na pressão de RFS do intervalo, que passou de 130 mmHg para 120 mmHg, investigaram o desempenho na potência crítica, no VO₂máx e nos fatores associados à biogênese mitocondrial e à angiogênese em ciclistas bem treinados. Mais uma vez, diferença significativa entre os grupos *Sprint*+RFS e controle foi observada somente no VO₂máx (~4,9% vs -0,3%, respectivamente).

Diante do cenário anteriormente exposto, podemos perceber que a utilização da RFS em repouso entre *sprints* máximos não exerce efeito aditivo ao desempenho de ciclistas com diferentes níveis de desempenho. Por outro lado, quando o exercício é realizado simultaneamente com a aplicação da RFS (i.e., TA+RFS), aumentos significantes no desempenho, na aptidão aeróbia, na AST e na força máxima são observados em indivíduos fisicamente ativos. Isto sugere que o trabalho muscular parece ter papel fundamental nas adaptações proporcionadas pela RFS; no entanto, até o presente momento o TA+RFS não foi investigado na população de ciclistas treinados.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Investigar e comparar os efeitos do treinamento aeróbio associado à restrição do fluxo sanguíneo (TA+RFS) e do treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) na aptidão aeróbia, força máxima e desempenho em ciclistas treinados.

1.1.2. Objetivos específicos

Verificar os efeitos do TA+RFS e do HIIT sobre: 1) o tempo para completar um CR20km; 2) o consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}); 3) a potência mecânica de pico (W_{pico}); 4) a potência mecânica correspondente aos limiares ventilatórios 1 e 2 (LV_1 e LV_2); 5) a economia de ciclismo (EC); 6) o tempo limite na potência mecânica correspondente ao VO_{2pico} (T_{lim}); 7) a contração voluntária isométrica máxima (CVIM) dos músculos extensores do joelho; 8) a força dinâmica máxima (1RM) do membro inferior; e 9) a área de secção transversa dos músculos reto femoral e vasto lateral (AST_{RF} e AST_{VL}).

1.2. Hipóteses

Ao considerar que o TA+RFS resultaria simultaneamente em adaptações positivas nas variáveis associadas à aptidão aeróbia e nas variáveis musculares, a hipótese central do presente estudo é que o grupo TA+RFS apresentaria um melhor desempenho no CR20km, com melhor EC, e maiores aumentos na AST, na contração isométrica voluntária máxima e na força dinâmica máxima quando comparado ao grupo HIIT. Por outro lado, ambos os grupos TA+RFS e HIIT seriam similares no aumento do VO_{2pico} , da W_{pico} , da potência mecânica correspondente aos LV_1 e LV_2 e do tempo até a exaustão no T_{lim} .

2. REVISÃO DE LITERATURA

A sequência de tópicos da presente revisão de literatura tem como objetivo caracterizar os diferentes métodos de treinamento (TA+RFS e HIIT) e demonstrar suas contribuições em relação ao aumento do desempenho e aos processos adaptativos proporcionados pela estratégia de associação desses métodos ao treinamento aeróbio habitual principalmente de ciclistas treinados.

2.1. Adaptações ao treinamento aeróbio e desempenho no ciclismo

A hidrólise da adenosina trifosfato (ATP) é a fonte primária de energia para a contração muscular. Como a ATP tem suas concentrações limitadas nas células e no músculo esquelético, sua ressíntese se dá por meio de uma complexa e dinâmica integração entre três sistemas energéticos, sendo eles: o ATP-CP, o glicolítico e o oxidativo.

Os sistemas ATP-CP e o glicolítico são anaeróbios (alático e láctico, respectivamente), os quais, não necessitam da presença do oxigênio para a ressíntese da ATP. Ambos, tem maiores contribuições na produção de energia no início de um exercício ou em momentos em que há necessidade de se produzir alta intensidade (i.e., *sprint*). Apesar dos sistemas anaeróbios ressintetizarem uma grande quantidade da ATP por unidade de tempo, sua predominância em exercícios cíclicos e de alta intensidade não pode ser sustentada por muito tempo, sendo reduzida progressivamente. Por exemplo, num exercício de alta intensidade, suas contribuições são de 80% até 30 segundos, sendo reduzida para 30% após ~120 segundos (BERTUZZI, 2008; GASTIN, 2001). Além disso, a decomposição da glicose por meio do sistema glicolítico acaba gerando subprodutos do metabolismo, como por exemplo, o aumento nas concentrações de lactato e de íons H^+ , os quais afetam negativamente o desempenho motor (BERTUZZI, 2008; GASTIN, 2001; KENNEY; WILMORE; COSTIL, 2015).

Por outro lado, o metabolismo oxidativo, utiliza a decomposição dos carboidratos e das gorduras (em algumas circunstâncias proteínas) na presença do oxigênio, fazendo desta via a mais eficiente para a ressíntese da ATP em intensidades submáximas. Isso permite que o exercício seja realizado por tempo prolongado com menor distúrbio metabólico, evitando o surgimento precoce da fadiga (GASTIN, 2001; KENNEY; WILMORE; COSTIL, 2015). Nesse contexto, como grande parte das provas de ciclismo possui característica predominantemente aeróbia (via oxidativa) (JONES; CARTER, 2000), entender as adaptações geradas pelo

treinamento aeróbio submáximo e como elas podem contribuir para o aumento da capacidade oxidativa e do desempenho físico-esportivo são fundamentais.

Indivíduos destreinados, que iniciam um programa de exercício físico aeróbio composto por sessões de longa duração e baixa intensidade, experimentam diversas adaptações cardiorrespiratórias e musculoesqueléticas (LAURSEN, 2010). As adaptações cardiorrespiratórias, frequentemente são denominadas de centrais (i.e. aumentos do volume sistólico e do débito cardíaco máximo, melhora na capacidade de difusão pulmonar e aumento na capacidade de distribuição de oxigênio) enquanto que as musculoesqueléticas, são caracterizadas como periféricas (i.e. aumentos no tamanho e no número das mitocôndrias, na quantidade de mioglobina, na capilarização, etc.) (HOLLOSZY; BOOTH, 1976; JONES; CARTER, 2000; JOYNER; COYLE, 2008; SEILER; TØNNESEN, 2009; SKINNER; MCLELLAN, 1980). Um exemplo de adaptações centrais que ocorrem por meio do exercício físico aeróbio, pode ser visto no estudo de Wilmore et al. (2001). Neste estudo, os autores investigaram as adaptações no volume sistólico, no débito cardíaco e na frequência cardíaca (FC) em indivíduos fisicamente ativos submetidos a 20 semanas (3x/semana) de treinamento em cicloergômetro. O treinamento foi realizado com aumento progressivo da intensidade (de 55% para 75% VO_2 máx) e do volume ao longo das semanas (de 1,5h para 2,5h/semana). Houve aumento significativo no volume sistólico (~10%) com reduções significantes no débito cardíaco (7%) e na FC (~12%) para a mesma intensidade absoluta submáxima. Além disso, os autores também constataram um aumento de ~16,1% no VO_2 máx. Contudo, não foram realizadas mensurações das adaptações periféricas.

Um exemplo de adaptações periféricas pode ser extraído do estudo realizado por Rodriguez et al. (2002). Neste estudo, os pesquisadores compararam as características musculares de indivíduos destreinados com ciclistas treinados (três anos de experiência). Após análises de amostras do músculo vasto lateral, os autores verificaram que os ciclistas apresentavam maior área de secção transversa das fibras dos tipos I e IIC, além de maior número de capilares (38,7%) e volume mitocondrial (57%) por fibra muscular, quando comparado aos indivíduos destreinados. Esses resultados indicam que o treinamento aeróbio induz processos adaptativos que fazem com que o músculo esquelético aumente sua capacidade oxidativa, tornando o indivíduo mais resistente à fadiga.

Juntamente com as adaptações centrais e periféricas como descrito anteriormente, aumento no VO_2 máx pode ser observado (LEVINE, 2008; RODRIGUEZ et al., 2002). O VO_2 máx é uma variável fisiológica clássica que permite avaliar a capacidade máxima que um

indivíduo tem de absorver, transportar e utilizar o oxigênio para ressíntese da ATP pelo metabolismo oxidativo (HAWKINS et al., 2007; LEVINE, 2008). O motivo pelo qual o VO_2 máx é postulado como uma medida “padrão ouro” para avaliação do condicionamento cardiorrespiratório se deve pelo fato dele ser o produto da FC, volume sistólico (VS) e diferença arteriovenosa de oxigênio (dif. a- vO_2), que pode ser representado pela equação de Fick: VO_2 máx = FC × VS × dif. a- vO_2 (FOSS, MERLE; KETAYIAN, STEVEN, 1998). Nesse cenário, fica claro que além do VO_2 máx indicar a eficiência integrada de diversos sistemas do organismo, tê-lo elevado proporcionaria ao indivíduo realizar o exercício físico em maiores intensidades com a predominância da via oxidativa (KENNEY; WILMORE; COSTIL, 2015; LEVINE, 2008).

Assim, para maximizar as adaptações fisiológicas relacionadas ao VO_2 máx ao longo do tempo, manipulações no volume, intensidade e frequência do treinamento são necessárias (GARBER et al., 2011; LAURSEN, 2010). Caso essas manipulações não ocorram, poderá haver uma estagnação das adaptações conforme observado por Scharhag-Rosenberger et al. (2009). Neste estudo, indivíduos destreinados e/ou fisicamente ativos realizaram 12 meses de treinamento aeróbio em esteira ergométrica com volume (45min), frequência (três vezes por semana) e intensidade (60% da frequência cardíaca de reserva) constantes. A cada trimestre um teste incremental máximo foi realizado para avaliar possíveis alterações no VO_2 máx. Após os 12 meses de treinamento, constatou-se que o VO_2 máx aumentou somente até o segundo trimestre (11,4%), ficando estável até o término do estudo. Esse resultado demonstra que mesmo em indivíduos com baixo nível de condicionamento, a magnitude da adaptação está ligada as alterações do estímulo ao qual o indivíduo é submetido.

Sabendo disso, ciclistas de alto nível competitivo em conjunto com seus treinadores têm adotado elevados volumes de treinamento aeróbio (~35.000 km/ano) com variações na intensidade (~80% < LV₁, ~5% > LV₂, ~10% entre LV₁ e LV₂), a fim de promover um constante desenvolvimento da aptidão aeróbia e do desempenho físico-esportivo (FERNANDEZ-GARCIA et al., 2000; SEILER, 2010; TONNESSEN et al., 2014, 2015; ZAPICO et al., 2007). A melhora do desempenho físico pode ser constatada não somente pelo aumento no VO_2 máx, mas também pela alteração positiva em outras variáveis, como por exemplo, a W_{pico} atingida num teste incremental máximo, a potência mecânica correspondente aos LV₁ e LV₂, a economia de oxigênio, e a capacidade de sustentar elevadas frações do VO_2 máx em esforço físico. Vale ressaltar que essas variáveis podem ser o diferencial no desempenho esportivo entre ciclistas com VO_2 máx similar (HAWLEY; NOAKES, 1992; JONES; CARTER, 2000; KORDI et al.,

2020; LAURSEN, 2010; LUCIA et al., 1998; LUCIA; HOYOS; CHICHARRO, 2001). Por exemplo, diversos estudos têm observado forte correlação negativa entre as variáveis W_{pico} ($r=-0,82$) e potência mecânica correspondente ao LL_2 ($r=-,86$) com o tempo para completar um CR de longa duração ($\geq 15km$) (BALMER; DAVISON; BIRD, 2000; HAWLEY; NOAKES, 1992; STEPTO et al., 1999; STOREN et al., 2013). Em alguns casos, essa correlação entre a W_{pico} e o tempo para completar um CR40km é mais forte do que a correlação com o $VO_{2m\acute{a}x}$ ($r=-0,91$ vs $r=-0,85$, respectivamente) (WESTON et al., 1997). Assim, entre atletas de *endurance* o $VO_{2m\acute{a}x}$ passa a não ser mais a variável determinante do desempenho (HAWLEY; NOAKES, 1992; JONES; CARTER, 2000; NOAKES; MYBURGH; SCHALL, 1990; WESTON et al., 1997).

Por este motivo, a economia de oxigênio (tratada aqui como economia de ciclismo [EC]) vem ganhando cada vez mais importância na determinação do desempenho em modalidades esportivas de *endurance* (JONES; CARTER, 2000; JOYNER; COYLE, 2008; SAUNDERS et al., 2004). A EC pode ser definida como a demanda energética ou o consumo de oxigênio necessário para uma dada intensidade submáxima em equilíbrio metabólico (MONTERO; LUNDBY, 2015; SAUNDERS et al., 2004). Diversos fatores podem contribuir para a melhora da EC, tais como antropométricos, biomecânicos, aerodinâmicos e o próprio volume total de treinamento aeróbio (BARNES; KILDING, 2015; JEUKENDRUP; CRAIG; HAWLEY, 2000; JONES; CARTER, 2000; JOYNER; COYLE, 2008).

O volume total de treinamento aeróbio submáximo parece influenciar positivamente nos processos adaptativos para o aumento na sinalização da biogênese mitocondrial, na melhora da atividade de enzimas oxidativas e no aumento da proporção de fibras do tipo I do músculo vasto lateral (HOPKER et al., 2013; RODRIGUEZ et al., 2002; SEILER; TØNNESEN, 2009). Como resultado, isso promoveria maior oxidação de gordura com menor degradação de glicogênio e menores concentrações de lactato, permitindo assim, com que o indivíduo sustente uma maior intensidade para o mesmo VO_2 (MACINNIS; GIBALA, 2017; RODRIGUEZ et al., 2002; SEILER; TØNNESEN, 2009). Todavia, quando falamos de ciclistas altamente treinados, o volume total de treinamento aeróbio submáximo já é elevado, o que torna o processo adaptativo ainda mais desafiador (JEUKENDRUP; CRAIG; HAWLEY, 2000). Assim, somente a realização do treinamento aeróbio submáximo ou o aumento do seu volume parecem não ser suficientes para melhorar o desempenho ou gerar novas adaptações fisiológicas que permitam que o ciclista seja capaz de enfrentar diferentes situações durante uma prova. Nesse contexto, ciclistas e seus técnicos tem utilizado modulações na intensidade do

treinamento, utilizando o HIIT como método adicional ao treinamento aeróbio habitual submáximo (LAURSEN, 2010; LINDSAY et al., 1996; MONTERO; LUNDBY, 2015; RONNESTAD; MUJIK, 2014).

2.2. Adaptações ao treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e desempenho no ciclismo

O treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT em inglês) pode ser caracterizado pela realização de sucessivos estímulos em alta intensidade ($\geq LL_2/LV_2$) intercalados por períodos de descanso passivo ou ativo (BILLAT, 2001; BUCHHEIT; LAURSEN, 2013b; GIBALA; GILLEN; PERCIVAL, 2014; GIBALA; MCGEE, 2008; LAURSEN et al., 2005a). A utilização da alta intensidade nas sessões de HIIT além de aumentar a excitabilidade neural também gera maior estresse metabólico comparado ao treinamento aeróbio realizado em menor intensidade, estimulando assim, a biogênese mitocondrial e a atividade de enzimas oxidativas (i.e. citrato sintase e succinato desidrogenase) (BLACK et al., 2017; BUCHHEIT; LAURSEN, 2013a, 2013b; MACINNIS; GIBALA, 2017; MARTINEZ-VALDES et al., 2018). Além disso, a alta demanda cardiorrespiratória gerada pelo HIIT, induz adaptações centrais em indivíduos destreinados (ASTORINO et al., 2017; HUANG et al., 2019; MACINNIS; GIBALA, 2017) e também em atletas de *endurance* (MAHJOUB et al., 2019). Por exemplo, num estudo conduzido por Mahjoub et al. (2019) foi observado aumento de 19% no volume do átrio esquerdo com ~5% de aumento no $VO_{2m\acute{a}x}$ (56 ± 5 vs 59 ± 4 ml/kg/min⁻¹) em atletas com experiência ≥ 2 anos (~8,5 h/semana) de treinamento em esportes de *endurance*. Esses atletas realizaram seis semanas (3x/semana) de treinamento de HIIT associado ao treinamento aeróbio habitual submáximo. Vale destacar que esses resultados foram observados independentemente do protocolo de treinamento utilizado, os quais foram: HIIT₈₅ (2:1 [1-7min a 85% do $VO_{2m\acute{a}x}$:150W]) e HIIT₁₁₅ (1:2 [30s a 115% do $VO_{2m\acute{a}x}$:1min a 150W]). Segundo os próprios autores, essas adaptações ocorreram em decorrência da intensidade induzida pelo treinamento de HIIT. Esses resultados, são um tanto quanto surpreendentes, haja vista que em atletas de *endurance* essas adaptações já são bem pronunciadas em decorrência do tempo de treinamento, e neste sentido, uma adaptação desta magnitude não seria esperada num curto espaço de tempo (MARON; PELLICCIA, 2006; PELLICCIA; MARON; MARON, 2012). Todavia, cabe aqui uma reflexão: talvez o elevado estresse cardiovascular induzido pelo HIIT, também possa gerar

adaptações centrais em atletas de *endurance*, auxiliando assim a melhora da aptidão aeróbia e do desempenho físico-esportivo.

Nesse sentido, Rønnestad et al. (2015) observaram que em ciclistas muito bem treinados, a utilização de estímulos curtos (30s *sprints all-out*, separados por 15s de intervalo) quando comparado ao HIIT com estímulos mais longos (4 séries de 5min, separado por 2,5min de intervalo entre séries) produz melhora significativa na potência média do CR5min *all-out* (8% vs 3%), na potência mecânica correspondente ao LL₂ (12% vs 5%), na Wpico (8,5% vs 1,6%), no VO₂máx (8,7% vs 2,6%) além de uma tendência de aumento na potência média do CR40min (12% vs 4%). O treinamento foi realizado por 10 semanas (2x/semana) com a intensidade auto-selecionada, ou seja, cada voluntário foi orientado a produzir a maior potência mecânica em todos os estímulos ao longo da sessão. De acordo com os autores, o elevado estresse central e periférico ocasionado pelos estímulos curtos proporcionou maior magnitude nas adaptações quando comparado ao HIIT com estímulos mais longos. Além disso, os autores sugerem que o maior tempo sustentado em intensidades acima de 90% do VO₂máx durante os estímulos curtos, pode ser o principal contribuidor para o aumento no VO₂máx.

Utilizando o mesmo protocolo de treinamento em ciclistas de elite, Rønnestad et al. (2020) fortaleceram as sugestões realizadas no estudo anteriormente descrito. Neste recente estudo, os pesquisadores também associaram o tempo de permanência em intensidades acima dos 90% do VO₂máx nas melhoras observadas. Houve, aumento significativo na potência média do CR20min e no VO₂máx do grupo HIIT com estímulos curtos (4,7% e 2,8%, respectivamente) comparado ao grupo HIIT com estímulos longos (-1,4% e 0,8%, respectivamente). Além disso, maior concentração de lactato foi observada no CR20min no grupo HIIT estímulos curtos, indicando que essa estratégia de organização de treinamento melhora a habilidade do ciclista em resistir ao elevado estresse metabólico, provavelmente em decorrência de uma maior capacidade de tamponamento muscular.

Weston et al. (1997) foram os primeiros pesquisadores a demonstrarem por meio de biópsia muscular que o HIIT pode aumentar significativamente a capacidade de tamponamento muscular (~16%) em ciclistas bem treinados. Além disso, aumentos significantes do desempenho no Tlim a 150% da Wpico (22,3%) e no tempo para completar o CR40km (-2,1%) foram observados. Esses resultados foram obtidos com a realização de apenas seis sessões de HIIT ao longo de 28 dias (6-8 séries de 5min a 80% da Wpico por 1min a 100W). Outros dois estudos (WESTGARTH-TAYLOR et al., 1997; WESTON et al., 1997) com ciclistas bem treinados, os quais, realizaram o mesmo protocolo de treinamento do estudo de Weston et al.

(1997) também observaram melhora significativa no desempenho. Por exemplo, no estudo de Westgarth-Taylor et al. (1997) o menor tempo para completar o CR40km (-2,4%) e a maior Wpico (5%) foram associados à queda na oxidação de carboidratos com proporcional aumento na oxidação de gordura para a mesma intensidade absoluta. Em tese, isso permitiu aos ciclistas gerar a mesma intensidade com menores concentrações de lactato sanguíneo e íons H⁺, resultando no aumento do desempenho físico-esportivo. Além disso, os autores sugeriram que o HIIT também melhora a habilidade do ciclista em sustentar altas taxas de trabalho.

Outros estudos também têm demonstrado que o HIIT associado ao treinamento aeróbio submáximo habitual de ciclistas treinados promove melhora significativa no desempenho em CR de diferentes distâncias (20-40km) (CLARK et al., 2014; LAURSEN; BLANCHARD; JENKINS, 2002; LINDSAY et al., 1996; SWART et al., 2009; WESTON et al., 1997) e durações (5-40min). Por exemplo, Sylta et al. (2016) simularam um período de preparação competitiva estabelecendo três diferentes periodizações de HIIT equalizadas pela carga total de treinamento associadas ao treinamento aeróbio habitual submáximo de ciclistas bem treinados. Foram 12 semanas de treinamento com os mesociclos sendo alterados a cada quatro semanas (8 sessões de treino). As periodizações/grupos foram divididos em: mesociclos crescentes (4x16min, 4x8min, 4x4min), mesociclos decrescentes (4x4min, 4x8min, 4x16min) e mesociclos mistos (4x16 e 8x4min, 4x16 e 8x4min, 4x16 e 8x4min). As intensidades variaram de acordo com o mesociclo realizado, correspondendo em média a 65%, 71% e 80% da Wpico para os mesociclos de 4x16min, 4x8min e 4x4min, respectivamente. Medidas de desempenho esportivo e da aptidão aeróbia foram realizadas (CR40min, Wpico, potência anaeróbia no teste de Wingate, potência mecânica correspondente ao LL₂, VO₂pico e eficiência). Com relação a potência média produzida no CR40min e o VO₂pico, diferença significativa intra-grupo (pré vs pós-treino) foi observada para todos os grupos (crescente 8% e 5,8%; decrescente 7,4% e 4,5%; misto 4,9% e 3,8%, respectivamente). A potência anaeróbia no teste de Wingate aumentou significativamente intra-grupo nos grupos misto (2,4%) e decrescente (2,7%) sem diferença significativa no grupo crescente (1,2%). A potência mecânica correspondente ao LL₂ não demonstrou alterações significantes no grupo misto (2,9%); porém, aumentou significativamente nos grupos crescente (5,8%) e decrescente (5,9%). Com relação a eficiência, os pesquisadores constataram sua diminuição nos três grupos, sendo significativa intra-grupo nos grupos crescente (-2,6%) e decrescente (-2,0%). Já para o grupo misto, a queda na eficiência não foi significativa (-1,4%). Vale destacar que não houve diferença significativa entre os grupos em todas as variáveis analisadas. De acordo com os autores, diferentes periodizações quando

equalizadas pela carga total de treinamento, geram pouco ou nenhum efeito adicional ao desempenho ou sobre variáveis associadas à aptidão aeróbia de ciclistas bem treinados. Com relação a diminuição da eficiência, os autores não souberam explicar ao certo, sugerindo apenas que o treinamento de HIIT pode ter elevado o consumo de oxigênio por existir uma relação inversa entre eficiência e/ou economia de ciclismo e o aumento do $VO_{2máx}$ (ATKINSON; DAVISON; NEVILL, 2004; LUCIA et al., 2002; SYLTA et al., 2016).

Dando continuidade as investigações com HIIT, Sylta et al. (2017) utilizando exatamente o mesmo desenho experimental e o protocolo de treinamento do estudo anteriormente descrito, investigaram a magnitude das adaptações ao longo do tempo em diferentes variáveis da aptidão aeróbia (potência mecânica correspondente ao LL_2 , VO_{2pico} , W_{pico} e potência anaeróbia em teste de Wingate) em ciclistas bem treinados. Para isso, os autores realizaram avaliações a cada quatro semanas de um total de 12 semanas de treinamento. Essa estratégia permitiu que os autores verificassem que a maior magnitude de aumento nas variáveis analisadas ocorre nas primeiras quatro semanas de treinamento. Por exemplo, a periodização crescente (4x12min) e a mista (4x16 e 8x4min) alcançaram 70% do total de desenvolvimento da potência mecânica correspondente ao LL_2 e ao VO_{2pico} , enquanto a periodização decrescente (4x4min, 4x8min, 4x16min) alcançou 89% do desenvolvimento total da W_{pico} e da potência anaeróbia em teste de Wingate. As comparações nos momentos pré *versus* pós-treinamento não foram diferentes entre os grupos. Mediante esses resultados, os autores desaconselham a utilização do HIIT por longos períodos.

Nesse contexto, embora os estudos citados anteriormente demonstrem consistência nos resultados com relação a melhora do desempenho físico-esportivo (LAURSEN et al., 2002, 2005a; LINDSAY et al., 1996; RØNNESTAD et al., 2015, 2020; STEPTO et al., 1999; SYLTA et al., 2017a, 2016; WESTGARTH-TAYLOR et al., 1997; WESTON et al., 1997) a prescrição do HIIT deve ser realizada de forma cuidadosa e por curto período de tempo (≤ 4 semanas) quando associado ao treinamento aeróbio habitual submáximo (SEILER; TØNNESEN, 2009; SYLTA et al., 2017a), para que assim, o atleta tenha menores chances de desenvolver sintomas fisiológicos (BILLAT et al., 1999; JEUKENDRUP et al., 1992) e/ou psicológicos (SLIVKA et al., 2010) associados ao *overtraining*. Desta forma, é importante desenvolver e/ou adaptar uma estratégia de treinamento que utilize baixa intensidade de treino, mas que mesmo assim, consiga induzir adaptações fisiológicas que resultem no aumento da aptidão aeróbia e do desempenho físico-esportivo semelhante ao treinamento com o HIIT. Isso seria importante aos ciclistas e

seus treinadores pois possibilitaria treinar por longos períodos, o que é mais difícil de ser aplicado com o uso do HIIT (SEILER; TØNNESEN, 2009; SYLTA et al., 2017a)

2.3. Adaptações ao treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo e desempenho no ciclismo

A restrição de fluxo sanguíneo (RFS) é uma estratégia que utiliza como aparato um “cinto” inflável, uma faixa elástica ou um manguito para aplicação de pressão na parte proximal do membro corporal (i.e., coxa ou braço). Dependendo da pressão utilizada pode haver uma redução parcial do fluxo sanguíneo arterial com restrição total de retorno venoso (NAKAJIMA, 2011; PATTERSON et al., 2019). Inicialmente, diversos estudos foram realizados com o treinamento de força, os quais utilizaram um grande espectro de pressão de RFS, sendo por vezes um valor absoluto (i.e. 200 mmHg) e outras vezes relativo à pressão de restrição total de fluxo no segmento corporal do indivíduo (KAWADA, 2005; LARKIN et al., 2012; LAURENTINO et al., 2012; TAKARADA et al., 2000, 2000; TAKARADA; SATO; ISHII, 2002). Esses estudos observaram adaptações neuromusculares, como por exemplo, o aumento da força máxima e da AST do músculo utilizando baixa intensidade de treinamento (20-50% 1RM) (LAURENTINO et al., 2012; TAKARADA; SATO; ISHII, 2002).

O treinamento aeróbio de baixa intensidade associado à RFS (TA+RFS) começou a ser investigado no início da década de 90 (EIKEN et al., 1991; KAIJSER et al., 1990; SUNDBERG et al., 1993). Em uma sequência de estudos realizados pelo laboratório de fisiologia do Instituto de Estocolmo na Suécia (EIKEN et al., 1991; ESBJÖRNSSON et al., 1993; KAIJSER et al., 1990; SUNDBERG et al., 1993), foi possível observar que a redução do fluxo sanguíneo (realizada somente em uma das pernas com 50 mmHg utilizando uma câmara hiperbárica) quando associada ao treinamento aeróbio em cicloergômetro resultou em diversas adaptações significantes. Foram observados aumentos da AST das fibras musculares e da proporção de fibras do tipo I, maior número de capilares por fibra, maior conteúdo de glicogênio muscular e aumentos na capacidade oxidativa, no VO_{2pico} e na W_{pico} . Na época, os autores sugeriram que a hipóxia gerada pela RFS gerou um elevado estresse metabólico, o qual teve importante papel para induzir tais adaptações.

Num modelo de treinamento com maior aplicação prática, Abe et al. (2010) investigaram os efeitos do TA+RFS em indivíduos fisicamente ativos utilizando um cicloergômetro e um esfigmomanômetro. O treinamento foi realizado durante oito semanas (3x/semana) na

intensidade de 40% VO₂máx. Enquanto o grupo TA+RFS treinou por 15min, o grupo controle treinou por 45min, ambos continuamente. Após o período de treinamento, os pesquisadores observaram aumento significativo no Tlim (15,4%), no VO₂máx (6,4%), na AST do quadríceps femoral (4,6%) além de uma tendência de aumento na força máxima isométrica dos extensores de joelho (7,7%) para o grupo TA+RFS comparado ao controle. Esses resultados demonstram que o TA+RFS é capaz de melhorar o desempenho físico com menor volume de treinamento além de induzir diferentes adaptações no organismo.

Comparando diferentes intensidades, de Oliveira et al. (2015) decidiram confrontar os efeitos do TA+RFS com o HIIT. Para isso, os pesquisadores submeteram indivíduos fisicamente ativos a quatro diferentes condições de exercício em cicloergômetro. Inicialmente, dois grupos treinaram em baixa intensidade sem RFS (controle) e com RFS (TA+RFS). Outros dois grupos treinaram em alta intensidade sem RFS (HIIT) e com RFS (HIIT+RFS). Enquanto os grupos de baixa intensidade treinaram a 30% Wpico (duas séries de 5-8 reps de 2min por 1min de descanso passivo) os grupos de alta intensidade treinaram em potência variada a qual era reduzida em 5% a cada 30s de exercício (110%, 105%, 100% e 95% da Wpico, duas séries de 5-8 reps de 2 min por 1min de descanso passivo). Após quatro semanas de treinamento, efeitos significantes de tempo foram observados na Wpico e no VO₂máx nos grupos TA+RFS (11,7% e 5,6%, respectivamente), HIIT (15,0% e 9,2%, respectivamente) e HIIT+RFS (10,9% e 6,5%, respectivamente), sem nenhum efeito para o grupo controle. Com relação ao início de acúmulo do lactato sanguíneo, efeito significativo de tempo ocorreu nos quatro grupos TA+RFS (16 ± 13%), HIIT (25 ± 13%), HIIT+RFS (22 ± 12%) e controle (6 ± 4%), não sendo observada diferença significativa entre os grupos. Por outro lado, somente o grupo TA+RFS aumentou de maneira significativa a força isométrica máxima (11,4 ± 7,3%) quando comparado aos grupos HIIT (-0,7 ± 9,9%), HIIT+RFS (-3,5 ± 6,8%) e controle (-2,6 ± 6,7%). Importante ressaltar que esse resultado observado no grupo TA+RFS ocorreu mesmo com a realização de um trabalho total significativamente menor comparado ao HIIT. No caso, o grupo HIIT realizou um trabalho total ~340% maior. Esses resultados, demonstram que o TA+RFS também é capaz de induzir adaptações na aptidão aeróbia e neuromusculares simultaneamente utilizando menor intensidade de treinamento.

Estudos recentes também têm demonstrado que o TA+RFS pode proporcionar outras adaptações periféricas, como por exemplo, aumento no diâmetro da artéria femoral, aumento na distribuição e difusão do oxigênio, melhora na regulação do potássio (K⁺) muscular e aumento na cinética do consumo de oxigênio (CHRISTIANSEN et al., 2019, 2020; CORVINO

et al., 2019). Corvino et al. (2019) por exemplo, testaram a hipótese de que o TA+RFS poderia acelerar a cinética-on (Fase 2) do VO_2 , da produção de dióxido de carbono (VCO_2) e da ventilação (VE) em intensidade moderada. Para isso, voluntários fisicamente ativos foram divididos em três grupos (TA+RFS, HIIT e controle) que treinaram durante quatro semanas (3x/semana). Enquanto o grupo TA+RFS treinou a 30% da W_{pico} , o grupo HIIT iniciou o treino em intensidade supra máxima com reduções de 5% a cada 30s (110%, 105%, 100% e 95% da W_{pico}) e o grupo controle treinou sem RFS a 30% da W_{pico} . Todos os grupos treinaram 2 séries de 5 repetições (2min de exercício/1min de descanso) na primeira semana com progressão de uma série por semana. Intervalo de cinco minutos foi realizado entre as séries (3min descanso ativo a 30% da W_{pico} seguido de 2min de descanso passivo). A pressão de RFS no grupo TA+RFS foi aplicada de forma progressiva (140-200 mmHg) e intermitente, com sua liberação sendo feita nos intervalos de descanso. A análise da cinética-on do VO_2 ficou estabelecida na intensidade de 30% da W_{pico} (70 rpm) do pré-treinamento. Ambos os grupos TA+RFS e HIIT melhoraram significativamente a cinética-on do VO_2 comparado ao grupo controle, sem diferença estatística entre eles. Apesar disso, um tamanho do efeito maior foi observado no grupo HIIT, o qual melhorou 34%, enquanto o grupo TA+RFS melhorou 24%. De acordo com os autores, o elevado estresse metabólico induzido pelo TA+RFS é um forte estímulo para gerar adaptações relacionadas a melhora da capacidade oxidativa, acelerando assim, a ativação da fosforilação oxidativa na fase inicial do exercício submáximo. Por outro lado, análise das variáveis de VCO_2 e VE demonstraram que o grupo HIIT melhorou significativamente a cinética dessas variáveis comparado ao grupo TA+RFS. De acordo com os autores, é possível que exista uma dissociação entre o VO_2 e VCO_2 nas adaptações proporcionadas pelo TA+RFS, alterando as respostas da produção de CO_2 muscular, tamponamento transiente do CO_2 e/ou do controle ventilatório numa diferente magnitude das adaptações observadas no HIIT. Vale destacar que esses interessantes resultados foram observados com o grupo HIIT realizando um trabalho total 3,5 vezes maior comparado ao grupo TA+RFS (4,436 vs 1,263 kJ, respectivamente).

Tomados em conjunto todos os resultados anteriormente descritos, eles podem nos indicar que o TA+RFS é capaz de proporcionar adaptações aeróbias e/ou neuromusculares contribuindo para o aumento no desempenho físico de indivíduos fisicamente ativos. Além disso, outro ponto positivo desta estratégia é o fato de que esses aumentos são provenientes de menores volume e intensidade, gerando uma menor carga de treinamento aos indivíduos. Levando em consideração a grande carga de treinamento já realizada pelos ciclistas treinados,

o uso do TA+RFS poderia ajudá-los a manter ou aumentar o desempenho, reduzindo a carga total de treinamento.

Desta forma, Taylor et al. (2016) e Mitchell et al. (2019) conduziram dois estudos com ciclistas treinados utilizando a RFS; porém, nenhum desses estudos investigou os efeitos do TA+RFS. Ambos os estudos verificaram o efeito aditivo do uso da RFS durante os intervalos de repouso entre *sprints* máximos no desempenho, na aptidão aeróbia e na angiogênese muscular. Taylor et al. (2016) selecionaram ciclistas recreativos que foram divididos nos grupos *Sprint*+RFS e controle (somente *Sprints*). Durante quatro semanas (duas vezes/semana) ambos os grupos realizaram de 4-7 *sprints* máximos de 30s (carga = 0,075 kg/kg de massa corporal) com intervalo de 4,5min entre eles. Importante destacar que no grupo *Sprint*+RFS foi aplicada a RFS em ambas as pernas nos primeiros dois minutos de cada intervalo de repouso entre os *sprints* (pressão de 130 mmHg). O desempenho foi mensurado através de um CR15km e não foi observada diferença significativa no tempo (*Sprint*+RFS = 0,6% vs controle = 0,1%) e na potência média (*Sprint*+RFS = 0,2% vs controle = 2,9%) entre os grupos. Por outro lado, o grupo *Sprint*+RFS teve aumento significativo no VO₂máx comparado ao grupo controle (4,7% vs 0,7%, respectivamente). De acordo com os autores, a ausência de melhora no desempenho no CR15km no grupo *Sprint*+RFS poderia ser explicada por fatores relacionados à fadiga central (teste de longa duração) haja vista que este grupo teve aumento no VO₂máx, e por isso, era esperado o aumento no desempenho. No entanto, esta explicação é um tanto quanto contraditória, pelos seguintes fatores; primeiro: estudos que utilizaram HIIT como intervenção observaram aumento do desempenho em testes de CR mais longos que o utilizado por Taylor et al. (2016), como por exemplo, CR40km (WESTGARTH-TAYLOR et al., 1997; WESTON et al., 1997); segundo: o VO₂máx em atletas de *endurance* não é o fator determinante de desempenho, haja vista que atletas com VO₂máx similares podem ter desempenhos diferentes (HAWLEY; NOAKES, 1992; NOAKES; MYBURGH; SCHALL, 1990). Assim, Mitchell et al. (2019) realizaram o mesmo modelo de treinamento do estudo anterior (TAYLOR; INGHAM; FERGUSON, 2016), com exceção da menor pressão de RFS a qual, passou de 130 mmHg para 120 mmHg. Neste estudo, foram realizadas mensurações da potência crítica, do VO₂máx e dos fatores associados à biogênese mitocondrial e à angiogênese. Desta vez, não houve diferença significativa em nenhuma das variáveis analisadas entre os grupos. Somente efeito de tempo foi observado no VO₂máx (~4,9%) para grupo *Sprint*+RFS, refletindo os resultados do estudo anterior (TAYLOR; INGHAM; FERGUSON, 2016).

Diante do cenário anteriormente exposto, podemos perceber que a utilização da RFS em repouso entre *sprints* máximos não exerce efeito aditivo ao desempenho de ciclistas treinados. Por outro lado, quando o trabalho muscular é realizado simultaneamente com RFS (i.e. TA+RFS) aumentos significantes no desempenho, na aptidão aeróbia, na AST e na força máxima são observados em indivíduos fisicamente ativos (ABE et al., 2010; ABE; KEARNS; SATO, 2006; DE OLIVEIRA et al., 2015; PARK et al., 2010). Por esse motivo, surge a necessidade de investigar os efeitos do TA+RFS em ciclistas treinados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Amostra

Inicialmente, 40 ciclistas do sexo masculino manifestaram o interesse em participar do estudo. Após entrevista e liberação médica, os ciclistas realizaram o CR20km conscientes de que o tempo máximo para completá-lo deveria ser de ≤ 34 minutos e que este era o principal critério de inclusão no estudo. Como critérios adicionais de inclusão, os voluntários deveriam ser somente ciclistas, ter idade entre 18-45 anos, experiência mínima de três anos em competições do circuito regional e/ou nacional, treinar um volume mínimo semanal de 250 km de distância, não estar treinando força para membros inferiores e não estar engajado em HIIT há pelo menos seis e três meses, respectivamente (RONNESTAD; HANSEN; NYGAARD, 2017; WESTGARTH-TAYLOR et al., 1997), não ter nenhuma doença cardiovascular, metabólica ou osteoarticular, bem como não fazer uso de substâncias ergogênicas.

Após a realização do CR20km, quatro ciclistas foram excluídos. Dos 36 ciclistas que executaram as familiarizações e testes pré-treinamento, sete abandonaram o estudo, sendo seis por problemas pessoais e um por acidente. Nesse contexto, somente após a realização do último pré-teste, foi realizada a randomização e o balanceamento dos ciclistas nos três diferentes grupos levando em consideração o tempo para completar o CR20km. Com a desistência de mais quatro ciclistas ao longo do estudo (três por problemas pessoais e um por acidente), o presente projeto foi finalizado com um número amostral de 25 ciclistas. Esses ciclistas integraram os grupos: TA+RFS (n = 9), HIIT (n = 8) e controle (CON; n = 8).

Todos os voluntários foram informados sobre os possíveis riscos e benefícios da participação no estudo e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, o qual foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da EEFPE-USP (98701218.0.0000.5391).

3.2. Procedimentos experimentais

No primeiro dia, após entrevista e liberação médica, foram realizadas medidas da massa corporal, estatura e familiarização à escala de percepção subjetiva de esforço da sessão (PSE-sessão) (FOSTER et al., 2001). Em seguida, os voluntários realizaram a familiarização ao CR20km. Na segunda visita, os voluntários realizaram o teste CR20km. Na terceira visita, os voluntários realizaram o teste incremental máximo (TIM) para a identificação do VO_{2pico} , da

Wpico, da potência mecânica correspondente ao VO_{2pico} (WVO_{2pico}) e da potência mecânica correspondente ao primeiro (LV_1) e segundo (LV_2) limiares ventilatórios. Na quarta visita, os voluntários realizaram o teste de economia de ciclismo (EC) em duas potências absolutas de 150W e 200W. Nesta mesma visita, após a realização de um intervalo passivo de sete minutos, foi iniciado o teste de tempo limite (Tlim) na WVO_{2pico} . Na quinta, sexta e sétima visitas, os voluntários realizaram as familiarizações (5ª e 6ª visitas) e os testes (7ª visita) de contração voluntária isométrica máxima (CVIM) e força dinâmica máxima (1RM) no equipamento *leg press* 45°, com um intervalo de 30 minutos entre os testes (SUNDE et al., 2010). Por fim, na oitava visita, os voluntários realizaram a medida da AST dos músculos reto femoral (AST_{RF}) e vasto lateral (AST_{VL}) por meio de imagem adquirida em ultrassonografia. Nesta mesma visita, após a aquisição das imagens, os voluntários do grupo TA+RFS permaneceram em repouso por mais 10 minutos na posição decúbito dorsal para a determinação da pressão total de restrição do fluxo sanguíneo dos membros inferiores. Para tanto, um manguito de aferição da pressão arterial com dimensões de 17,5 cm de largura por 92 cm de comprimento (Missouri, São Paulo, SP, Brasil) além de um doppler vascular (DV-600, Martec, Ribeirão Preto, SP, Brasil) foram utilizados (LAURENTINO et al., 2012).

A partir disso, o período de nove semanas de treinamento foi iniciado com frequência semanal de duas vezes (18 sessões de treino) com intervalo de 48h a 72h entre cada sessão. Finalizado o período de treinamento, todos os testes pós seguiram a mesma ordem do pré-treinamento exceto para a medida de AST_{RF} e AST_{VL} , a qual foi realizada previamente a todos os testes (ultrassom, CR20km, TIM, EC e Tlim, CVIM, 1RM). Nesta medida em especial (pré e pós-treinamento), todos os voluntários foram orientados a ficar 72h sem pedalar ou realizar qualquer tipo de exercício físico. Ademais, todos os testes pré e pós-treinamento respeitaram 48h de intervalo entre eles. Além disso, os participantes foram orientados a manter seus hábitos alimentares, evitando a ingestão de qualquer bebida ou alimento que contivesse cafeína (i.e., café, refrigerante, chocolate, etc.) nas 6 horas antecedendo os testes ou as sessões de treinamento.

Com relação ao treinamento aeróbio habitual realizado pelos voluntários, todos foram orientados a continuar treinando normalmente e participando das competições programadas conforme relatado na entrevista realizada na primeira visita. A fim de obter um registro sobre o volume e a intensidade de todas as sessões de treinamento aeróbio habitual, foi utilizado o aplicativo Strava (Strava, São Francisco, CA, USA) em conjunto com a escala de PSE da sessão

(FOSTER et al., 2001) e suas respectivas zonas de intensidade de treinamento (MOREIRA et al., 2015).

A Figura 1, representa de maneira ilustrativa a ordem em que os testes pré e pós-treino foram realizados, bem como a organização do treinamento realizado pelos grupos TA+RFS e HIIT durante as nove semanas de treinamento.

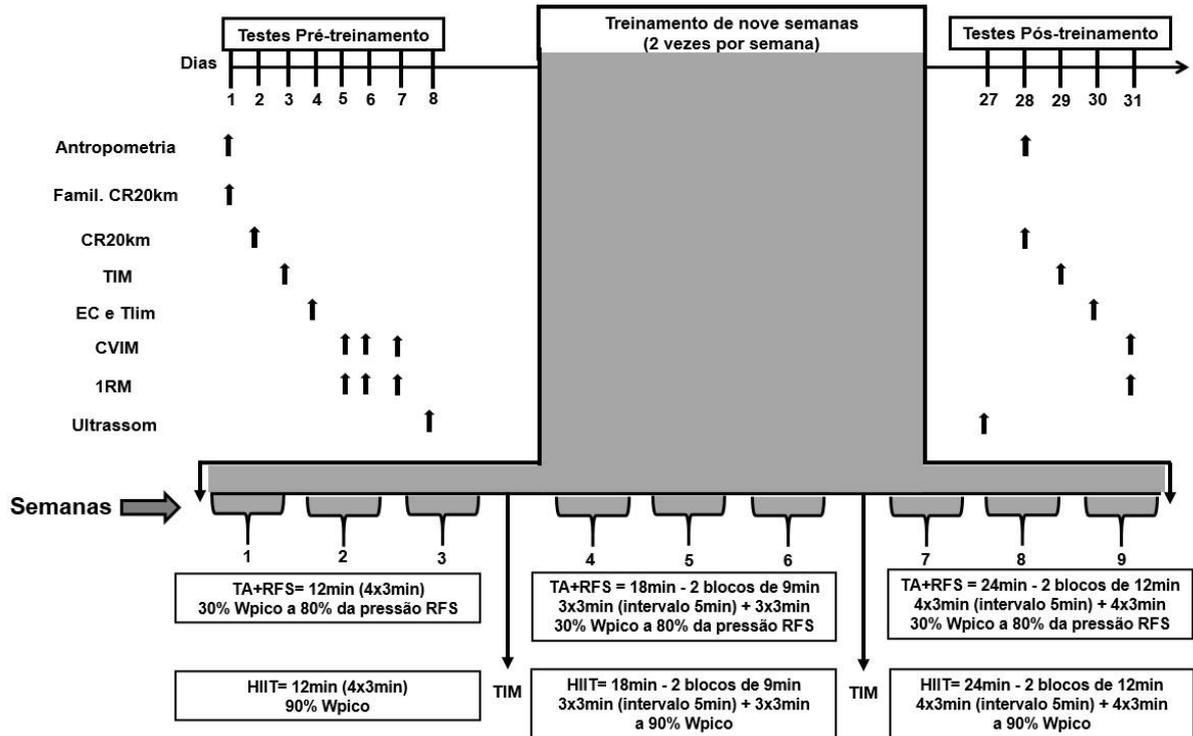


Figura 1 – Representação esquemática de todas as visitas para familiarização, realização dos testes (pré e pós-treino) e do treinamento pelos grupos TA+RFS e HIIT.

3.3. Testes e medidas

3.3.1. Teste de contrarrelógio de 20km (CR20km)

Os voluntários realizaram o CR20km em uma pista virtual de terreno plano utilizando uma bicicleta do tipo *Speed* (Soul, Ventana [55cm], Itajaí, SC, Brasil) acoplada a um ciclo-simulador (CompuTrainer™ RacerMate® 8000, Seattle, WA, USA) com calibração e força de arrasto padronizadas de acordo as especificações do fabricante. Ajustes nas posições do banco e do guidão com os voluntários utilizando suas próprias sapatilhas e pedais foram realizados e, posteriormente anotados para reprodução nos testes subsequentes. Em seguida, um

aquecimento padronizado de 10 minutos na potência de 150W foi realizado sendo, nove minutos em relação de marchas e cadência livres e um minuto controlado com relação de marcha fixa e cadência entre 80-100 rpm. Faltando 10 segundos para finalizar o aquecimento, o pesquisador iniciava uma contagem regressiva, dando-se assim, o início do CR20km de forma lançada. Somente na sessão de familiarização, foi permitido acesso visual à todas as informações de desempenho (distância total percorrida, tempo decorrido, potência mecânica, velocidade) num monitor fixado à frente dos voluntários. No teste de CR20km, apenas a distância percorrida foi disponibilizada. Essa estratégia foi adotada na tentativa de estimular o voluntário a realizar sempre o “máximo”, evitando assim, que o mesmo se poupasse caso soubesse que seu desempenho estaria acima do esperado. Adicionalmente, essa estratégia colaborou para fortalecer a validade interna do estudo, evitando a difusão e contaminação do resultado para com outros voluntários intra e/ou inter-grupos (WEGMAN; FULMER, 2002). Somente ao final do estudo os voluntários tiveram acesso aos seus resultados. Incentivos verbais padronizados foram realizados a cada 2km percorridos, sendo adicionado um incentivo verbal ao 19º km. A mensuração da frequência cardíaca (FC) foi realizada no momento exato em que era completado cada quilômetro utilizando uma cinta torácica conectada a um monitor cardíaco Garmin 735XT (Garmin, Olathe, Kansas, EUA). Adicionalmente, dados de tempo decorrido, potência mecânica (W), velocidade (km/h) e cadência (rpm) foram registrados continuamente através do ciclo-simulador CompuTrainer.

O desempenho no CR20km foi medido pelo tempo necessário para completá-lo e pela potência mecânica média produzida. Adicionalmente, a potência média produzida no CR20km foi calculada em percentual da potência mecânica correspondente ao LV_2 e da W_{pico} (ambos provenientes do TIM).

3.3.2. Teste incremental máximo (TIM)

Com o voluntário em repouso absoluto sobre a bicicleta, as mensurações de base das trocas gasosas do consumo de oxigênio (VO_2), da produção de dióxido de carbono (VCO_2), da ventilação (VE), da razão de trocas respiratórias (RER) e da FC foram realizadas por três minutos. Em seguida, um aquecimento de cinco minutos a 150W, com cadência entre 80-100rpm e relação de marcha fixa foi realizado. Imediatamente após o aquecimento, o TIM foi iniciado com incrementos de 25W por minuto. O teste progrediu até a exaustão voluntária que

foi caracterizada pela incapacidade do voluntário em sustentar uma cadência mínima de 80rpm. Incentivos verbais foram oferecidos ao longo de todo o teste.

As medidas de trocas gasosas (VO_2 , VCO_2 , VE e RER) e FC foram registradas continuamente com o uso de um ergoespirômetro e de uma cinta cardíaca (Quark CPET; Cosmed, Itália®), respectivamente. Uma máscara conectada a um sistema computadorizado de transmissão imediata realizava a leitura das trocas gasosas a cada respiração. O volume de ar expirado foi mensurado através de um sensor de fluxo bidirecional calibrado com uma seringa contendo três litros de ar. As frações expiradas de O_2 e CO_2 foram analisadas com sensores de zircônio e absorção de infravermelho, respectivamente. Ambos foram calibrados utilizando um cilindro com concentração conhecida de O_2 (15,7%) e CO_2 (5%). As calibrações foram realizadas previamente a cada teste seguindo todas as especificações do fabricante.

Para análise da W_{pico} , foi assumida a maior potência mecânica gerada ao longo do teste, corrigida pelo tempo de permanência em estágio incompleto de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{W}_{\text{pico}} = \text{W}_{\text{final}} + (t/60 \times 25)$$

onde: W_{final} = potência mecânica do último estágio completo (em watts); t = tempo em segundos em que o voluntário permaneceu em estágio incompleto (HAWLEY; NOAKES, 1992).

Os dados de VO_2 , VCO_2 , VE , RER e FC foram convertidos em médias de 30s e, em seguida, foram plotados em função da duração total do exercício. O $\text{VO}_{2\text{pico}}$ foi calculado através da média dos dois maiores valores mensurados do VO_2 (RONNESTAD; HANSEN; RAASTAD, 2011). Os limiares ventilatórios 1 e 2 (LV_1 e LV_2 , respectivamente) foram identificados visualmente. O LV_1 foi determinado usando o critério de aumento em ambos VE/VO_2 e $\text{P}_{\text{ET}}\text{O}_2$ sem o concomitante aumento na VE/VCO_2 . O LV_2 foi determinado com o critério de aumento em ambos VE/VO_2 e VE/VCO_2 e uma redução na $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ (DAVIS, 1985; LUCIA et al., 2000b). Adicionalmente, a potência mecânica correspondente aos LV_1 e LV_2 também foi identificada.

3.3.3. Teste de economia de ciclismo (EC)

Os procedimentos experimentais para a mensuração das trocas gasosas, FC e aquecimento foram idênticos ao descrito na sessão anterior (TIM). Adicionalmente, durante o aquecimento, o voluntário era orientado a escolher uma cadência de sua preferência. Essa cadência foi utilizada para realizar todo o teste de EC. Imediatamente após o aquecimento, era dado início

ao teste, o qual foi realizado em duas potências absolutas de 150W e 200W, por um período de sete minutos em cada potência. Ao longo de todo o teste, os voluntários e o pesquisador tinham acesso visual à cadência. Caso fosse observada qualquer alteração na cadência escolhida, imediatamente o pesquisador solicitava para que o voluntário retornasse à cadência alvo. Essa cadência foi anotada e reproduzida no teste pós-treinamento.

Mensurações do VO_2 , VCO_2 , VE, RER e FC foram feitas continuamente com o uso de um ergoespirômetro (Quark CPET; Cosmed, Itália®). Após, os dados foram convertidos em médias de 30s e plotados em função da duração total do exercício. A análise da EC foi realizada utilizando a média do VO_2 do sexto minuto de exercício (BARNES; KILDING, 2015; SWINNEN; KIPP; KRAM, 2018)

Adicionalmente, foram calculadas as diferenças percentuais entre o VO_{2pico} e o VO_2 utilizado nas potências de 150W e 200W.

3.3.4. Teste de tempo limite (Tlim)

Após o término do teste de EC, o voluntário permaneceu sobre a bicicleta em repouso absoluto por sete minutos. Em seguida, os voluntários começaram a pedalar por um minuto em 150W e cadência entre 80-100rpm. Logo após, o Tlim foi iniciado na potência mecânica correspondente ao VO_{2pico} (WVO_{2pico}) com cadência entre 80-100rpm até a exaustão voluntária, ou seja, no ponto de incapacidade do voluntário em sustentar uma cadência mínima de 80rpm. Incentivos verbais foram oferecidos ao longo de todo o teste.

Mensurações do VO_2 , VCO_2 , VE, RER e FC foram feitas continuamente com o uso de um ergoespirômetro (Quark CPET; Cosmed, Itália®). O VO_{2pico} foi calculado através da média dos dois maiores valores mensurados do VO_2 (RONNESTAD; HANSEN; RAASTAD, 2011). O desempenho foi medido pelo tempo total de exercício em segundos até a exaustão voluntária. Cabe esclarecer que a intensidade do teste pós-treinamento permaneceu a mesma do teste pré-treinamento.

3.3.5. Teste de contração voluntária isométrica máxima (CVIM)

A mensuração da CVIM dos músculos extensores do joelho foi realizada com o uso de um dinamômetro (Biodex System 4, Biodex Medical System, NY, EUA). Antes do teste, os voluntários realizaram um aquecimento geral de cinco minutos na bicicleta com potência de

150W e cadência entre 80-100rpm seguido de três minutos de alongamentos leves para os membros inferiores. Em seguida, os voluntários foram posicionados na cadeira do dinamômetro, com um ângulo de 85° na articulação do quadril. O joelho da perna direita foi posicionado próximo ao braço de alavanca do aparelho e o seu eixo de rotação anatômico (referência no epicôndilo femoral) foi alinhado com o eixo de rotação do braço de alavanca do aparelho. O ponto de apoio do braço de alavanca do aparelho ficou localizado a um centímetro proximal do maléolo medial. O voluntário foi fixado ao aparelho através de cintas no tórax, quadril e coxa evitando a alteração de sua posição durante a execução do movimento e prevenindo, também, contribuições de outros segmentos corporais na realização do exercício. O ângulo de mensuração utilizado foi de 60° a partir da extensão completa do joelho (assumindo 0° na horizontal). Em seguida, um aquecimento específico de três repetições de contrações isométricas submáximas com intervalo de um minuto entre elas foi realizado. Logo após, os voluntários foram orientados a realizar a contração voluntária isométrica máxima, atingindo o pico de torque em até três segundos. Em todas as tentativas houve incentivo verbal para que fosse executado o máximo esforço. Foram realizadas duas tentativas com um minuto de intervalo entre elas. O maior valor observado foi determinado como a CVIM.

3.3.6. Teste de força dinâmica máxima (1RM)

Antes do teste de 1RM os voluntários realizaram um aquecimento geral de cinco minutos na bicicleta com potência de 150W e cadência entre 80-100rpm, seguido de três minutos de alongamentos leves para os membros inferiores. Após o aquecimento geral, um aquecimento específico foi realizado na perna direita, contendo duas séries de oito e três repetições com 50 e 70% 1RM (estimados nas sessões de familiarização), respectivamente, e com intervalo de dois minutos entre elas. Após o aquecimento específico, intervalo de três minutos foi realizado. O objetivo do teste foi obter a máxima quantidade de peso que o voluntário fosse capaz de levantar com a perna direita em um ciclo completo e correto de movimento no exercício *leg press* 45° (posição inicial com extensão completa do joelho indo até 90° de flexão e retornando à posição inicial). O peso inicial para o teste máximo foi estimado durante as sessões de familiarização, e a partir disso, o peso levantado foi aumentado até que o voluntário não conseguisse completar uma repetição. Os voluntários tiveram no máximo cinco tentativas para atingir a 1RM com três minutos de intervalo entre elas. Os ajustes no equipamento *leg press* 45° para cada voluntário foram determinados na sessão de

familiarização. Inicialmente, o apoio para o pé no equipamento foi dividido em quadrados de 10x10cm com fita adesiva permitindo a anotação de seu posicionamento no prontuário, para que assim, o mesmo posicionamento fosse reproduzido nas sessões subsequentes. Em seguida, a amplitude de movimento para cada repetição foi determinada realizando uma repetição sem peso, começando com a extensão completa do joelho e flexionando até os 90°. Essa flexão foi confirmada com uso de um goniômetro. Em seguida, um marcador de plástico foi colocado sobre a coluna lateral do equipamento *leg press* 45° para demarcar o ponto de flexão do joelho. Uma fita de medição também foi colocada sobre a coluna lateral do *leg press* 45° para garantir a reprodutibilidade do posicionamento do marcador.

3.3.7. Mensuração da área de secção transversa dos músculos reto femoral (AST_{RF}) e vasto lateral (AST_{VL})

As medidas da AST_{RF} e da AST_{VL} foram realizadas por meio de imagem de ultrassonografia. Para tanto, foi utilizado um ultrassom modo-B, com transdutor vetorial linear e frequência de 7,5 MHz (Medison, Sonoace R3, Samsung, Coréia do Sul) para captar imagens no plano axial de ambos os músculos. Ao chegarem no laboratório, os voluntários ficaram deitados em decúbito dorsal sobre uma maca, com os joelhos estendidos por aproximadamente 20 minutos. Esse cuidado foi tomado para auxiliar na distribuição uniforme dos fluídos corporais. Após, um pesquisador experiente realizou por meio de palpação a identificação da cabeça do fêmur e de seu epicôndilo lateral da coxa direita. O ponto médio entre os acidentes ósseos foi marcado na pele com o uso de caneta de tinta semipermanente e a partir disso, uma linha transversal com marcações a cada 2cm foi feita desde o início do músculo RF (região medial da coxa) até o ponto final do músculo VL (divisão com a cabeça longa do músculo bíceps femoral). Previamente ao início da aquisição das imagens, os voluntários foram orientados a relaxar sua musculatura o máximo possível. Orientado no plano axial, o transdutor foi alinhado perpendicularmente ao músculo e movido de uma posição central para uma posição lateral ao longo dos pontos previamente marcados na pele, sem que exercesse pressão sobre o tecido nos pontos de medição. As imagens foram gravadas para posterior análise. Em seguida, as imagens obtidas pelo ultrassom foram sobrepostas a fim de reconstruir a AST_{RF} e a AST_{VL} . Posteriormente, a área de secção transversa dos respectivos músculos foram mensuradas com a utilização de um software de digitalização de imagens (Madena 3.2.5, EyePhysics, Los Paladinos, USA) (REEVES; MAGANARIS; NARICI, 2004). Importante esclarecer que todo

o processo, desde a aquisição das imagens até a sua análise foi realizado por um pesquisador cego, ou seja, sem o conhecimento do grupo ao qual os voluntários pertenciam.

3.4. Protocolos de treinamento

Os grupos TA+RFS e HIIT realizaram um total de nove semanas de treinamento com frequência semanal de duas vezes por semana. Antes de cada sessão de treino, os voluntários realizaram um aquecimento padrão composto de cinco minutos de aquecimento na bicicleta a 150W com cadência entre 80-100rpm, seguido de dois minutos de intervalo para posteriormente dar início a sessão de treino.

Em virtude dos grupos TA+RFS e HIIT realizarem o treinamento nas intensidades relativas a W_{pico} (30% e 90%, respectivamente), ambos os grupos realizaram um TIM a cada seis sessões de treinamento (três semanas). Esse cuidado foi tomado para garantir que a intensidade de treino não fosse subestimada ao longo das nove semanas de treinamento, haja vista que adaptações fisiológicas e melhora no desempenho são observadas num curto período de tempo (SYLTA et al., 2017b).

Análise do trabalho total realizado a cada fase de treinamento (a cada 6 sessões de treino) nos grupos TA+RFS e HIIT foi realizada utilizando o cálculo do produto da potência mecânica de treinamento pela duração total de exercício em minutos (MITCHELL et al., 2019).

Os voluntários completaram em média 90% de todas as sessões de treinamento. A temperatura ambiente foi controlada em todas as sessões de testes e treinos em 21° C, enquanto a umidade foi monitorada ($70,4 \pm 4\%$).

3.4.1. Grupo treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS)

Após o aquecimento padrão, os voluntários foram preparados com a colocação dos manguitos de pressão na região superior das coxas (próximo a prega inguinal). Em seguida, já devidamente posicionados sobre a bicicleta, os manguitos foram inflados à 80% da pressão total de restrição do fluxo sanguíneo ($131,4 \pm 12,0$ mmHg), a qual permaneceu constante ao longo de todo o período de treinamento. A organização do treinamento foi feita em relação ao tempo total de exercício e por blocos. O tempo total foi aumentado a cada três semanas (seis sessões de treino) e a intensidade permaneceu constante em 30% W_{pico} . Uma descrição mais detalhada é feita a seguir:

- da 1^a a 3^a semana: um único bloco contendo quatro séries de três minutos (12min no total)

- da 4^a a 6^a semana: dois blocos, composto de três séries de três minutos em cada bloco (18min no total) com um intervalo passivo de cinco minutos entre os blocos

- da 7^a a 9^a semana: dois blocos, composto de quatro séries de três minutos em cada bloco (24min no total) com intervalo passivo de cinco minutos entre os blocos.

Cada série foi constituída de dois minutos de exercício a 30% da W_{pico} , cadência entre 80-100rpm por um minuto em descanso passivo com manutenção da restrição do fluxo sanguíneo em ambas as pernas. A pressão dos manguitos só foi retirada nos cinco minutos de intervalo entre os blocos.

3.4.2. Grupo treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT)

Após o aquecimento padrão, os voluntários tiveram um intervalo de dois minutos para dar início a sessão principal de treino. Neste caso, a potência mecânica de treino foi de 90% da W_{pico} . A organização do treinamento foi feita em relação ao tempo total de exercício e por blocos, sendo que o grupo HIIT treinou de maneira igual ao grupo TA+RFS, mas sem a aplicação da RFS e para o intervalo de um minuto entre séries, em que os voluntários realizaram descanso ativo na potência de 150W e cadência entre 80-100rpm.

4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises foram realizadas utilizando Excel 2013 (Microsoft, Redmon, WA, EUA) e SPSS 20 (IBM, Endicott, NY, EUA). A distribuição dos dados foi verificada utilizando o teste de Shapiro-Wilk e foi considerada normal. Anova *one-way* foi usada para comparar os grupos no momento pré-treinamento nas variáveis de desempenho (tempo no CR20km, VO₂pico, Wpico) e antropométricas. Modelos mistos para medidas repetidas foram utilizados na comparação intra e inter-grupos, assumindo grupos (TA+RFS, HIIT e CON) e tempo (pré e pós-treinamento) como fatores fixos e voluntários como fator aleatório. O delta (% de mudança pré *versus* pós-treinamento) foi calculado para comparação entre grupos e analisado através de Anova *one-way*. No caso de encontrar valores de *F* significante, ajuste de Tukey foi utilizado para efeito de comparações múltiplas. O tamanho do efeito (*Effect Size*) foi calculado e interpretado de acordo com *d* de Cohen, sendo: 0-0,2 = trivial; 0,2-0,6 = pequeno, 0,6-1,2 = moderado; 1,2-2,0 = grande e >2 = muito grande (HOPKINS et al., 2009). Todas as análises que resultaram num $p \leq 0,05$ foram consideradas estatisticamente significantes. Os dados são apresentados com médias e desvios padrão.

5. RESULTADOS

5.1. Características antropométricas

Não houve diferença significativa nas características antropométricas pré-treinamento ($p > 0,05$) (Tabela 1). No mesmo sentido, não houve interação significativa grupo x tempo na massa corporal entre os grupos TA+RFS, HIIT e CON (Tabela 1).

Tabela 1 – Características antropométricas dos voluntários nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e controle (CON).

Variáveis	Momento	TA+RFS	HIIT	CON	p
Idade (anos)	Pré	31,6 ± 7,6	33,0 ± 8,2	31,3 ± 6,8	0,885
Estatura (cm)	Pré	176,2 ± 8,4	176,5 ± 7,7	176,9 ± 9,3	0,988
Massa corporal (kg)	Pré	79,5 ± 9,9	71,9 ± 14,6	72,1 ± 9,1	0,306
	Pós	78,6 ± 11,0	71,7 ± 14,4	73,0 ± 9,3	0,426

Valores apresentados com média ± desvio padrão

5.2. Característica de desempenho dos ciclistas no pré-treinamento

De acordo com os critérios estabelecidos por Jeukendrup et al. (2000) os voluntários foram classificados como treinados. Não houve diferença significativa nas variáveis de tempo para completar o CR20km, VO_{2pico} e W_{pico} e nem nas variáveis de força máxima entre os grupos ($p > 0,05$). Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Características de desempenho no ciclismo e de força máxima nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e controle (CON).

Variáveis	TA+RFS	HIIT	CON	p
CR20km (min)	32,7 ± 1,2	33,2 ± 2,1	32,5 ± 1,8	0,724
VO ₂ pico (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	52,2 ± 5,7	53,0 ± 6,2	53,8 ± 7,4	0,888
Wpico (W)	361,2 ± 32,1	350,4 ± 50,9	366,5 ± 56,3	0,786
Wpico relativa (W.kg ⁻¹)	4,6 ± 0,6	5,0 ± 0,8	5,1 ± 0,7	0,294
CVIM (N.m.kg ⁻¹)	3,8 ± 0,4	3,6 ± 0,4	3,7 ± 0,5	0,727
1RM (Kg.kg ⁻¹)	1,8 ± 0,4	1,8 ± 0,7	2,0 ± 0,5	0,648

CR20km = teste contrarrelógio de 20km; VO₂pico = consumo de oxigênio de pico; Wpico = potência mecânica de pico; Wpico relativa = potência mecânica de pico normalizada pela massa corporal; CVIM = contração voluntária isométrica máxima normalizada pela massa corporal; 1RM = força dinâmica máxima normalizada pela massa corporal. Valores apresentados com média ± desvio padrão

5.3. Monitoramento do treinamento aeróbio habitual

Não houve diferença significativa entre os grupos TA+RFS, HIIT e CON tanto no volume (horas/semana) ($p > 0,05$) quanto no percentual do total de horas nas três diferentes zonas de intensidade de acordo com a escala de percepção subjetiva de esforço da sessão (PSE-sessão) ($p > 0,05$). O treinamento foi dividido em três zonas de intensidade: 1- PSE-sessão < 4 , 2- PSE-sessão ≥ 4 e < 7 e 3- PSE-sessão ≥ 7 . Os resultados do monitoramento são demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Duração (horas/semana) e intensidade (PSE-sessão) do treinamento aeróbio habitual realizado durante as nove semanas de intervenção nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e controle (CON).

	TA+RFS	HIIT	CON	p
Duração do treinamento (horas/semana)	12,4 ± 2,2	14,1 ± 1,6	13,2 ± 1,4	0,285
PSE da sessão (%)				
<4	32,0 ± 8,1	36,0 ± 7,6	41,0 ± 11,1	0,096
≥4 e <7	43,0 ± 8,5	43,0 ± 7,8	38,0 ± 12,0	0,410
≥7	25,0 ± 7,6	21,0 ± 5,6	21,0 ± 3,8	0,246

Valores apresentados com média ± desvio padrão

5.4. Desempenho no teste de contrarrelógio de 20km (CR20km)

As variáveis de desempenho do CR20km nos momentos pré e pós-treinamento nos grupos TA+RFS, HIIT e CON são apresentadas na Tabela 4. Não houve interação significativa grupo x tempo nas variáveis de desempenho analisadas no CR20km ($p > 0,05$). Por outro lado, Anova *one-way* dos deltas, detectou aumento significativo do desempenho no grupo HIIT quando comparado ao grupo CON no tempo para completar o teste ($p < 0,05$) e na potência média ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa nas variáveis de desempenho entre os grupos TA+RFS e CON e TA+RFS e HIIT ($p > 0,05$).

Com relação ao tamanho do efeito, foi observado um efeito moderado entre os grupos TA+RFS e CON (ES = -0,9; IC95% = -1,9 a 0,1) e HIIT e CON (ES = -1,1; IC95% = -2,3 a 2,0) no tempo para completar o CR20km. Por outro lado, efeito pequeno foi verificado entre os grupos TA+RFS e HIIT (ES = 0,6; IC95% = -0,4 a 1,6). A potência média seguiu comportamento semelhante, apresentando efeito moderado entre os grupos TA+RFS e CON (ES = 0,9; IC95% = -0,1 a 2,0) e HIIT e CON (ES = 1,2; IC95% = 0,2 a 2,4), com efeito pequeno entre os grupos TA+RFS e HIIT (ES = -0,6; IC95% = -1,6 a 0,3).

Tabela 4 – Variáveis de desempenho do CR20km nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) nos momentos pré e pós-treinamento.

	TA+RFS			HIIT			CON		
	Pré	Pós	Delta (%)	Pré	Pós	Delta (%)	Pré	Pós	Delta (%)
Tempo total (min)	32,7 ± 1,2	32,6 ± 1,6	-0,1 ± 1,9	33,2 ± 2,1	32,7 ± 1,7	-1,3 ± 3,6 *	32,5 ± 1,8	33,4 ± 1,8	2,8 ± 3,5
Potência média (W)	258,4 ± 31,0	260,1 ± 37,1	0,5 ± 4,6	243,1 ± 51,6	254,5 ± 41,9	5,5 ± 7,6 *	257,4 ± 42,4	243,3 ± 38,7	-5,1 ± 8,0
%Wpico (W)	71,5 ± 3,7	67,9 ± 4,6	-5,0 ± 5,5	68,9 ± 4,5	67,5 ± 3,2	-1,8 ± 7,3	70,3 ± 4,6	69,5 ± 4,9	-0,7 ± 9,3
%WLV ₂	91,5 ± 6,8	86,7 ± 6,7	-5,2 ± 5,7	89,6 ± 8,1	84,9 ± 5,0	-4,9 ± 6,1	90,8 ± 12,8	88,6 ± 10,0	-1,4 ± 13,3
FC (bpm)	176,5 ± 8,8	177,2 ± 5,9	0,5 ± 3,0	169,2 ± 7,9	169,8 ± 9,8	0,3 ± 2,1	177,5 ± 5,7	177,5 ± 12,0	0,0 ± 4,9

Tempo total = tempo total para completar o CR20km; Potência média = potência mecânica média produzida ao longo do CR20km; %Wpico = diferença percentual entre a potência média no CR20km e potência pico do teste incremental máximo; %WLV₂ = diferença percentual entre a potência média no CR20km e a potência mecânica correspondente ao LV₂; FC = frequência cardíaca média. Valores apresentados com média ± desvio padrão. *p<0,05 para o delta entre o grupo HIIT e grupo CON

5.5. Teste incremental máximo (TIM)

As variáveis do TIM nos momentos pré e pós-treinamento nos grupos TA+RFS, HIIT e CON são apresentados na Tabela 5. A seguir, o resultado de cada variável analisada no TIM é descrito individualmente em cada sessão

5.5.1. Potência mecânica de pico (Wpico)

Não houve interação significativa grupo x tempo para ambas as Wpico absoluta e relativa entre os grupos TA+RFS, HIIT e CON ($p > 0,05$). Em contrapartida, Anova *one-way* dos deltas detectou aumento significativo nos grupos TA+RFS e HIIT quando comparados ao grupo CON ($p < 0,01$); porém, não houve diferença significativa entre os grupos TA+RFS e HIIT ($p > 0,05$).

Com relação ao tamanho do efeito, efeito muito grande foi observado na Wpico absoluta entre os grupos TA+RFS e CON (ES = 2,9; IC95% = 1,6 a 4,4) e HIIT e CON (ES = 2,8; IC95% = 1,5 a 4,4) com efeito pequeno entre os grupos TA+RFS e HIIT (ES = -0,3; IC95% = -1,3 a 0,6). Resultado semelhante ocorreu com o tamanho do efeito para a Wpico relativa, sendo verificado um efeito muito grande entre os grupos TA+RFS e CON (ES = 2,6; IC95% = 1,3 a 4,0) e HIIT e CON (ES = 2,9; IC95% = 1,5 a 4,5) com efeito trivial entre os grupos TA+RFS e HIIT (ES = -0,1; IC95% = -1,0 a 0,8).

5.5.2. Resposta das trocas gasosas e frequência cardíaca máxima (FCmáxima)

Não houve interação significativa grupo x tempo nas variáveis de trocas gasosas (VO_{2pico} , VCO_2 , VE, RER) ($p > 0,05$) e FCmáxima ($p > 0,05$). Também não houve diferença significativa na análise dos deltas pela Anova *one-way* entre os grupos nas variáveis de trocas gasosas ($p > 0,05$) e FCmáxima ($p > 0,05$).

Com relação ao tamanho do efeito, foi observado entre os grupos TA+RFS e CON tamanho de efeito trivial nas variáveis VO_{2pico} (ES = -0,2; IC95% = -1,2 a 0,7), VE (ES = -0,2; IC95% = -1,2 a 0,7) e VCO_2 (ES = 0,1; IC95% = -0,8 a 1,1), com tamanho do efeito moderado para o RER (ES = 1,0; IC95% = 0,0 a 2,0) e FC (ES = 0,7; IC95% = -0,3 a 1,7). Tamanho do efeito pequeno entre os grupos TA+RFS e HIIT para o VO_{2pico} (ES = -0,6; IC95% = -1,6 a 0,3), a RER (ES = 0,2; IC95% = -0,8 a 1,1), a FCmáxima (ES = 0,2; IC95% = -0,8 a 1,1), a VE (ES = -0,6; IC95% = -1,6 a 0,4) e o VCO_2 (ES = -0,5; IC95% = -1,4 a 0,4) foram

observados. Por último, tamanho do efeito pequeno entre os grupos HIIT e CON nas variáveis VO_{2pico} (ES = 0,4; IC95% = -0,5 a 1,4), VE (ES = 0,5; IC95% = -0,4 a 1,6) e VCO_2 (ES = 0,5; IC95% = -0,4 a 1,6), com tamanho do efeito grande para a RER (ES = 1,3; IC95% = 0,2 a 2,4) e moderado para a $FC_{máxima}$ foram detectados (ES = 0,7; IC95% = -0,3 a 1,7).

5.5.3. Potência mecânica correspondente aos limiares ventilatórios (LV_1 e LV_2)

Não houve interação significativa grupo x tempo para as potências mecânicas correspondentes aos LV_1 e LV_2 nos grupos TA+RFS, HIIT e CON ($p > 0,05$). Anova *one-way* dos deltas demonstrou aumento significativo da potência mecânica correspondente do LV_1 nos grupos TA+RFS e HIIT quando comparados ao grupo CON ($p < 0,01$), sem diferença significativa entre os grupos TA+RFS e HIIT ($p > 0,05$). Tamanho do efeito muito grande foi observado entre os grupos TA+RFS e CON (ES = 2,1; IC95% = 1,0 a 3,5) e HIIT e CON (ES = 2,5; IC95% = 1,2 a 4,0). Por outro lado, tamanho do efeito trivial foi observado entre os grupos TA+RFS e HIIT (ES = 0,2; IC95% = -0,7 a 1,2).

Com relação à potência mecânica correspondente do LV_2 , a análise dos deltas detectou diferença significativa nos grupos TA+RFS ($p < 0,05$) e HIIT ($p < 0,01$) quando comparados ao grupo CON. Não houve diferença significativa entre os grupos TA+RFS e HIIT ($p > 0,05$). Tamanho do efeito grande foi observado entre os grupos TA+RFS e CON (ES = 1,5; IC95% = 0,5 a 2,7) e HIIT e CON (ES = 2,0; IC95% = 0,9 a 3,4), com tamanho do efeito moderado entre os grupos TA+RFS e HIIT (ES = -0,8; IC95% = -1,9 a 0,1).

Tabela 5 – Variáveis do teste incremental máximo (TIM) nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) nos momentos pré e pós-treinamento.

	TA+RFS			HIIT			CON		
	Pré	Pós	Delta (%)	Pré	Pós	Delta (%)	Pré	Pós	Delta (%)
Wpico (W)	361,2 ± 32,1	382,1 ± 35,4	5,8 ± 4,3 ^{\$}	350,4 ± 50,9	377,1 ± 58,1	7,6 ± 5,5*	366,5 ± 56,3	350,3 ± 50,3	-4,3 ± 1,8
Wpico relativa (W.kg ⁻¹)	4,6 ± 0,6	4,9 ± 0,7	7,3 ± 5,4 ^{\$}	5,0 ± 0,8	5,4 ± 0,8	7,9 ± 5,0 *	5,1 ± 0,7	4,8 ± 0,7	-5,4 ± 3,6
VO ₂ pico (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	52,2 ± 5,7	52,1 ± 6,2	-0,1 ± 5,8	53,0 ± 6,2	56,2 ± 6,2	7,0 ± 14,9	53,8 ± 7,4	54,3 ± 6,5	1,7 ± 9,2
VE (l/min)	162,7 ± 20,0	162,8 ± 24,8	0,5 ± 12,7	149,4 ± 25,2	165,8 ± 22,5	13,6 ± 22,0	152,7 ± 29,2	156,5 ± 25,2	3,3 ± 8,6
VCO ₂ (ml/min)	5029 ± 480	5110 ± 481	2,0 ± 8,8	4595 ± 808	4877 ± 634	7,5 ± 13,6	4770 ± 528	4793 ± 559	0,8 ± 9,0
RER	1,27 ± 0,1	1,29 ± 0,1	2,4 ± 8,5	1,27 ± 0,1	1,29 ± 0,1	1,2 ± 4,8	1,30 ± 01	1,24 ± 0,1	-4,4 ± 3,2
FC máxima (bpm)	184,4 ± 7,6	188,4 ± 7,6	2,0 ± 3,4	181,4 ± 10,3	183,8 ± 9,2	1,5 ± 2,1	188,7 ± 5,5	186,5 ± 7,1	-0,3 ± 2,8
WLV ₁	233,3 ± 17,7	258,3 ± 30,6	10,6 ± 8,7 ^{\$}	231,3 ± 39,5	253,1 ± 50,8	9,1 ± 6,0 *	246,9 ± 28,1	234,4 ± 22,9	-4,8 ± 5,2
WLV ₂	283,3 ± 35,4	300,0 ± 35,4	6,1 ± 4,7 ^{\$}	271,9 ± 50,8	300,0 ± 46,3	11,1 ± 7,3 *	284,4 ± 35,2	275,0 ± 32,7	-3,1 ± 6,8

Wpico = potência mecânica de pico; Wpico relativa = potência mecânica de pico normalizada pela massa corporal; VO₂pico = consumo de oxigênio de pico; VE = ventilação de pico; VCO₂ = produção de dióxido de carbono; RER = razão de trocas respiratórias; FC máxima = frequência cardíaca máxima; WLV₁ = potência mecânica correspondente ao primeiro limiar ventilatório; WLV₂ = potência mecânica correspondente ao segundo limiar ventilatório. Valores apresentados com média ± desvio padrão. ^{\$}p<0,01 para o delta entre o grupo TA+RFS e o grupo CON. *p<0,01 para o delta entre o grupo HIIT e o grupo CON

5.6. Teste de Tempo Limite (Tlim)

Todas as variáveis do Tlim nos momentos pré e pós-treinamento nos grupos TA+RFS, HIIT e CON são apresentados na Tabela 6. A seguir, o resultado de cada variável analisada no Tlim é descrito individualmente a cada sessão.

5.6.1. Desempenho

A potência mecânica correspondente ao VO_{2pico} (WVO_{2pico}) utilizada no Tlim para cada grupo foi: TA+RFS = $352,8 \pm 31,7W$; HIIT = $334,4 \pm 56,6W$ e CON = $352,5 \pm 50,5W$. Não houve diferença significativa entre os grupos ($p>0,05$).

Com relação ao desempenho medido pelo tempo total em exercício, apesar dos grupos TA+RFS e HIIT melhorarem substancialmente o tempo médio de permanência em $11,8 \pm 22,7\%$ e $50,3 \pm 104,2\%$, respectivamente, com discreto aumento do grupo CON ($1,3 \pm 18,0\%$), nenhuma interação significativa grupo x tempo foi observada ($p>0,05$). No mesmo sentido, Anova *one-way* dos deltas também não detectou diferença significativa entre os grupos TA+RFS, HIIT e CON ($p>0,05$).

Com relação ao tamanho do efeito, o grupo TA+RFS demonstrou efeito pequeno comparado aos grupos HIIT (ES = -0,5; IC95% = -1,5 a 0,5) e CON (ES = -0,2; IC95% = -1,2 a 0,7). Comparação entre os grupos HIIT e CON demonstrou tamanho do efeito moderado (ES = 0,6; IC95% = 0,4 a 1,6).

5.6.2. Consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}) e frequência cardíaca máxima (FCmáxima)

Não houve interação significativa grupo x tempo ($p>0,05$) e a Anova *one-way* dos deltas também não detectou diferença significativa entre os grupos TA+RFS, HIIT e CON para ambas as variáveis VO_{2pico} e FCmáxima ($p>0,05$). Com relação ao tamanho do efeito, o grupo HIIT demonstrou um efeito moderado quando comparado ao grupo TA+RFS (ES = -0,6; IC95% = -1,6 a -0,3) e pequeno comparado ao grupo CON (ES = 0,4; IC95% = -0,5 a 1,4) para o VO_{2pico} . Tamanho do efeito pequeno foi verificado entre os grupos TA+RFS e CON (ES = -0,6; IC95% = -1,6 a 0,3).

Tabela 6 – Variáveis do teste de tempo limite (Tlim) nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) nos momentos pré e pós-treinamento.

	TA+RFS			HIIT			CON		
	Pré	Pós	Delta (%)	Pré	Pós	Delta (%)	Pré	Pós	Delta (%)
Tempo (s)	197,1 ± 42,9	217,3 ± 53,9	11,8 ± 22,7	201,9 ± 40,2	283,1 ± 138,2	50,3 ± 104,2	177,0 ± 40,2	171,4 ± 49,2	1,3 ± 18,0
VO ₂ pico (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	52,0 ± 5,8	51,3 ± 5,2	1,1 ± 7,3	52,3 ± 7,3	57,7 ± 5,7	9,7 ± 8,1	53,7 ± 8,1	55,1 ± 7,1	5,0 ± 7,8
FC máxima (bpm)	184,9 ± 10,2	185,0 ± 8,0	0,0 ± 0,0	179,5 ± 5,9	181,0 ± 9,1	0,8 ± 0,0	184,4 ± 8,3	186,3 ± 6,6	0,0 ± 0,0

Tempo = tempo total de exercício em segundos; VO₂pico = consumo de oxigênio de pico; FC máxima = frequência cardíaca máxima. Valores apresentados com média ± desvio padrão

5.7. Economia de ciclismo (EC)

O percentual do consumo de oxigênio de pico utilizado no teste de economia de ciclismo nas potências de 150W e 200W nos momentos pré e pós-treinamento são apresentados na Tabela 7. Nenhuma interação significativa grupo x tempo ($p>0,05$) foi observada.

Também não foi detectada nenhuma interação significativa grupo x tempo ($p>0,05$) para a EC durante os estágios de 150W e 200W. Anova *one-way* dos deltas também não demonstrou diferença significativa na EC em ambas as potências (150W e 200W) entre os grupos TA+RFS, HIIT e CON ($p>0,05$). Contudo, cabe destacar que o grupo TA+RFS foi o único grupo que reduziu o VO_2 em ambas as potências de 150W e 200W. As Figuras 2A e B apresentam os deltas do VO_2 dos três grupos. Tamanho do efeito pequeno no estágio de 150W foi verificado entre os grupos TA+RFS e CON (ES = -0,6; IC95% = -1,6 a 0,4), por outro lado, foi detectado tamanho do efeito moderado entre os grupos TA+RFS e HIIT (ES = -1,2; IC95% = -2,3 a -0,1). A comparação entre os grupos HIIT e CON foi trivial (ES = 0,2; IC95% = -0,7 a 1,2). Já para o estágio de 200W, tamanho do efeito moderado entre os grupos TA+RFS e CON (ES = -0,8; IC95% = -1,8 a 0,2) e TA+RFS e HIIT (ES = -1,1; IC95% = -2,2 a -0,1) foram observados. A comparação entre os grupos HIIT e CON foi trivial (ES = 0,0; IC95% = -1,0 a 1,0).

Com relação a escolha da cadência (rpm) na realização do teste, não houve nenhuma diferença significativa entre os grupos, as quais foram: TA+RFS = $85,8 \pm 5,8$, HIIT = $86,5 \pm 6,5$ e CON = $88,9 \pm 6,4$ ($p>0,05$).

Tabela 7 - Percentual do consumo de oxigênio de pico ($\text{VO}_{2\text{pico}}$) utilizado no teste de economia de ciclismo nas potências de 150W e 200W nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) nos momentos pré e pós-treinamento.

	TA+RFS (n=9)			HIIT (n=8)			CON (n=8)		
	Pré	Pós	Delta (%)	Pré	Pós	Delta (%)	Pré	Pós	Delta (%)
% $\text{VO}_{2\text{pico}}$ 150W	57,5 ± 8,3	53,4 ± 4,0	-7,4 ± 10,7	57,0 ± 9,6	56,0 ± 6,4	-0,7 ± 9,0	58,5 ± 7,9	58,3 ± 8,5	0,8 ± 18,0
% $\text{VO}_{2\text{pico}}$ 200W	71,7 ± 10,0	66,4 ± 6,1	-7,5 ± 9,8	72,9 ± 11,4	71,0 ± 9,4	-2,0 ± 8,6	72,0 ± 10,2	73,6 ± 11,3	3,2 ± 17,4

% $\text{VO}_{2\text{pico}}$ 150W = percentual do consumo de oxigênio de pico utilizado no teste de economia de ciclismo em 150W; % $\text{VO}_{2\text{pico}}$ 200W = percentual do consumo de oxigênio de pico utilizado no teste de economia de ciclismo em 200W. Valores apresentados com média ± desvio padrão

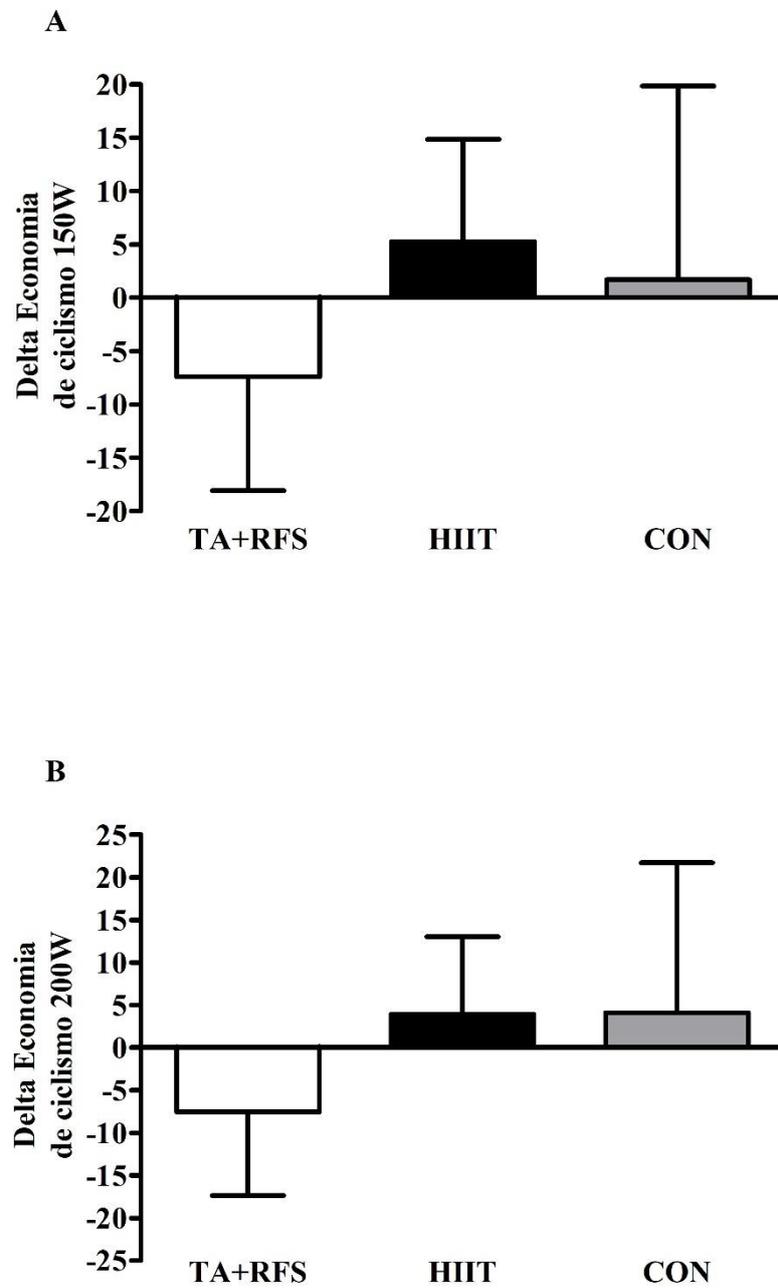


Figura 2 – Percentual de mudança (delta) na economia de ciclismo nas potências de 150W (Figura A) e 200W (Figura B) nos grupos, treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON).

5.8. Contração voluntária isométrica máxima (CVIM)

Não houve interação significativa grupo x tempo para a CVIM ($p>0,05$). No mesmo sentido, Anova *one-way* dos deltas não constatou diferença significativa entre os grupos TA+RFS, HIIT e CON ($p>0,05$). Os dados são apresentados na Tabela 8.

Com relação ao tamanho do efeito, o grupo TA+RFS demonstrou efeito pequeno comparado ao grupo CON (ES = -0,3; IC95% = -1,7 a 0,3) e trivial comparado ao grupo HIIT (ES = 0,0; IC95% = -1,0 a 0,9). Tamanho do efeito pequeno também foi observado entre os grupos HIIT e CON (ES = -0,4; IC95% = -1,2 a 0,1).

5.9. Força Dinâmica Máxima (1RM)

Não houve interação significativa grupo x tempo para a 1RM ($p>0,05$). Anova *one-way* do delta também não constatou diferença significativa entre os grupos TA+RFS, HIIT e CON ($p>0,05$). Os dados são apresentados na Tabela 8.

Com relação ao tamanho do efeito, o grupo TA+RFS demonstrou efeito pequeno comparado ao grupo CON (ES = -0,4; IC95% = -1,4 a 0,5) e trivial comparado ao grupo HIIT (ES = 0,1; IC95% = -0,8 a 1,1). Por outro lado, tamanho do efeito moderado foi verificado entre os grupos HIIT e CON (ES = -1,0; IC95% = -2,1 a 0,0).

Tabela 8 - Variáveis dos testes de contração voluntária isométrica máxima e força dinâmica máxima nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON) nos momentos pré e pós-treinamento.

	RFS (n = 9)			HIIT (n = 8)			CON (n = 8)		
	Pré	Pós	Delta (%)	Pré	Pós	Delta (%)	Pré	Pós	Delta (%)
CVIM (N.m.kg ⁻¹)	3,8 ± 0,4	3,6 ± 0,4	-4,1 ± 2,7	3,6 ± 0,4	3,4 ± 0,6	-6,6 ± 6,0	3,7 ± 0,5	3,7 ± 0,6	-0,3 ± 7,0
1RM (kg.kg ⁻¹)	1,8 ± 0,4	1,8 ± 0,4	-3,4 ± 11,2	1,8 ± 0,7	1,7 ± 0,5	-5,5 ± 8,3	2,0 ± 0,5	1,9 ± 0,4	1,3 ± 8,3

CVIM = contração voluntária isométrica máxima normalizada pela massa corporal; 1RM = força dinâmica máxima normalizada pela massa corporal. Valores apresentados com média ± desvio padrão

5.10. Área de secção transversa dos músculos reto femoral (AST_{RF}) e vasto lateral (AST_{VL})

Não houve interação significativa grupo x tempo para a AST_{RF} e AST_{VL} ($p > 0,05$). Por outro lado, Anova *one-way* dos deltas detectou aumento significativo da AST_{VL} no grupo TA+RFS comparado ao grupo CON ($p < 0,01$) (Figura 3). Não houve diferença significativa na AST_{RF} entre os grupos TA+RFS, HIIT e CON (Figura 4).

Com relação ao tamanho do efeito, análise da AST_{VL} detectou efeito grande entre os grupos TA+RFS e CON ($ES = 1,7$; $IC_{95\%} = 0,6$ a $2,9$) e moderado entre os grupos TA+RFS e HIIT ($ES = 1,0$; $IC_{95\%} = 0,0$ a $2,0$) e HIIT e CON ($ES = 0,7$; $IC_{95\%} = -0,3$ a $1,7$). Já o tamanho do efeito para a AST_{RF} foi efeito trivial entre TA+RFS e CON ($ES = 0,1$; $IC_{95\%} = -0,8$ a $1,1$), TA+RFS e HIIT ($ES = 0,1$; $IC_{95\%} = -0,9$ a $1,0$) e HIIT e CON ($ES = 0,1$; $IC_{95\%} = -0,9$ a $1,1$).

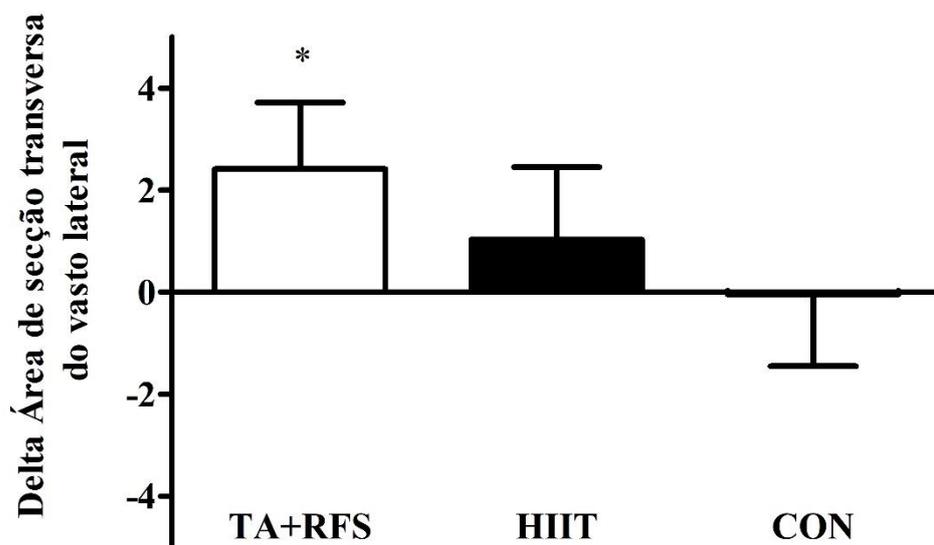


Figura 3 – Percentual de mudança (delta) da área de secção transversa do músculo vasto lateral nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON). * $p < 0,01$ para o delta entre o grupo TA+RFS e o grupo CON.

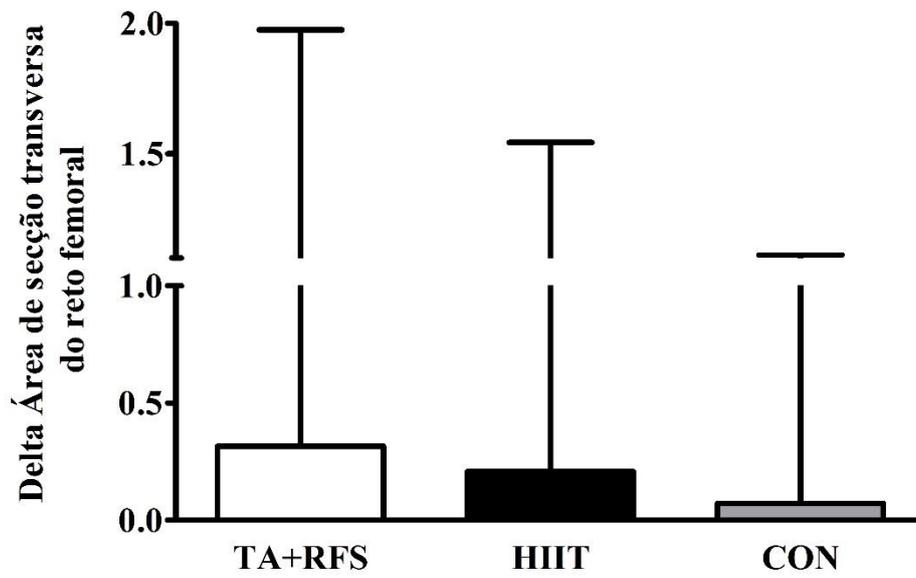


Figura 4 – Percentual de mudança (delta) da área de secção transversa do músculo reto femoral nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS), treinamento intervalo de alta intensidade (HIIT) e controle (CON)

6. DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo investigar e comparar os efeitos do treinamento aeróbio associado à restrição do fluxo sanguíneo e do treinamento intervalado de alta intensidade na aptidão aeróbia, força máxima e desempenho em ciclistas bem treinados. Nossa hipótese foi sustentada sobre os pilares de que o TA+RFS induziria simultaneamente adaptações positivas em importantes variáveis da aptidão aeróbia, na área de secção transversa e na força máxima dos membros inferiores, gerando assim, um melhor desempenho no CR20km quando comparado ao treinamento de HIIT. Nesse contexto, os resultados obtidos suportam parcialmente a nossa hipótese. No caso, o TA+RFS aplicado por nove semanas (2x/semana) não promoveu a melhora esperada do desempenho no CR20km. Embora nenhuma diferença estatisticamente significativa no tempo e na potência média entre os grupos TA+RFS e HIIT tenha ocorrido, o grupo HIIT reduziu o tempo e aumentou a potência média de forma significativa quando comparado ao grupo CON (Tabela 4). Na EC, o grupo TA+RFS reduziu o VO_2 gerando um maior tamanho do efeito (ES moderado) em 150W e 200W comparado ao HIIT e em 200W comparado ao CON (Figura 2). Na AST_{VL} o TA+RFS promoveu um maior tamanho do efeito comparado ao HIIT e ao CON (ES moderado e grande, respectivamente), sendo este significativamente maior comparado ao CON (Figura 3). Ademais, ambos os grupos TA+RFS e HIIT aumentaram de forma semelhante a W_{pico} e a potência mecânica correspondente aos LV_1 e LV_2 , as quais foram significativamente maiores em comparação ao grupo CON.

Descrever os mecanismos envolvidos no aumento da W_{pico} e da potência mecânica correspondente aos LV_1 e LV_2 após o TA+RFS em ciclistas é um tanto quanto desafiador, até porque, o pouco que sabemos atualmente vêm de estudos envolvendo indivíduos fisicamente ativos. Nesses estudos, o TA+RFS têm demonstrado aumentar a capacidade oxidativa por meio de adaptações na biogênese mitocondrial (CHRISTIANSEN et al., 2018; CONCEIÇÃO et al., 2019), na atividade enzimática (ESBJÖRNSSON et al., 1993; KAIJSER et al., 1990), na densidade capilar, além de acelerar a cinética do VO_2 (CHRISTIANSEN et al., 2020; CORVINO et al., 2019; ESBJÖRNSSON et al., 1993; SUNDBERG et al., 1993). Em tese, essas adaptações fisiológicas reduziriam o distúrbio metabólico, retardando a fadiga e aumentando o desempenho (CHRISTIANSEN et al., 2020; LAURSEN et al., 2005b; WESTGARTH-TAYLOR et al., 1997). No entanto, o único estudo que investigou os efeitos da RFS em ciclistas treinados, a qual foi aplicada em repouso entre os intervalos de *sprints* máximos, não encontrou

efeito aditivo desta estratégia comparada ao respectivo grupo controle (que fez apenas os *sprints*) nas variáveis de angiogênese, biogênese mitocondrial e desempenho físico (MITCHELL et al., 2019). Por isso, futuros estudos em ciclistas treinados são necessários para investigar quais mecanismos estão presentes no TA+RFS que poderiam influenciar na melhora observada na W_{pico} e na potência correspondente aos LV_1 e LV_2 .

Adaptações neuromusculares, como o aumento na AST e na força muscular do quadríceps femoral também têm sido descritas após a intervenção com TA+RFS em indivíduos fisicamente ativos (ABE et al., 2010; CONCEIÇÃO et al., 2019; DE OLIVEIRA et al., 2015; EIKEN et al., 1991; PATTERSON et al., 2019; SUNDBERG et al., 1993). No caso, o presente estudo comprovou que o TA+RFS foi capaz de gerar um aumento significativo na AST_{VL} quando comparado ao grupo CON (2,41% vs -0,04, respectivamente) e um maior tamanho do efeito (ES moderado) comparado ao grupo HIIT (2,41% vs 1,03%, respectivamente) (Figura 3). Este resultado em particular pode ser relevante para a população de ciclistas treinados, haja vista que o volume do quadríceps tem sido correlacionado ($r=0,87$) com a potência pico gerada num *sprint* em ciclistas de elite (KORDI et al., 2020). Assim, os ciclistas agora têm a sua disposição mais uma estratégia de treinamento que os possibilite aumentar a massa muscular do vasto lateral treinando com alta especificidade e com reduzidos volume e intensidade de treinamento. Por outro lado, quando analisada a AST_{RF} intra ou inter-grupos, nenhuma alteração significativa foi notada. É provável que a contribuição de cada músculo durante o ciclo da pedalada tenha colaborado para este resultado. Por exemplo, enquanto o músculo VL é o músculo mais ativo do quadríceps na fase de propulsão (0-180°), o RF tem sua maior ativação na fase de recuperação (180-360°) do ciclo da pedalada (DA SILVA et al., 2016; HOLLIDAY et al., 2019), sugerindo assim uma possível relação entre ativação muscular e hipertrofia (HUG et al., 2006). Estudos anteriores em TA+RFS também demonstraram aumento da AST_{VL} ou do quadríceps em diferentes magnitudes (ABE et al., 2010; CONCEIÇÃO et al., 2019). Por exemplo, Conceição et al. (2019) verificaram aumento de 10,7% na AST_{VL} após submeterem indivíduos sedentários ao TA+RFS em cicloergômetro por oito semanas (4x/semana). Cada sessão de treino foi realizada por 30min (40% do $VO_{2máx}$ com a 80% da RFS total de repouso), resultando num volume total de 16h de treinamento. Já no estudo de Abe et al. (2010), aumento de 4,6% da AST do quadríceps foi comprovado em indivíduos fisicamente ativos após oito semanas (3x/semanas) de TA+RFS (15min cada sessão a 40% do $VO_{2máx}$ com 160-200 mmHg de RFS), ocasionando um volume total de 6h de treinamento.

No caso do presente estudo, o aumento de 2,4% da AST_{VL} foi obtido através de um volume total de 5,4h ao longo de nove semanas de treinamento. Obviamente, realizar uma comparação direta entre os estudos de Conceição et al. (2019), Abe et al. (2010) e o presente estudo não é ideal, em decorrência da diferença das amostras e das estratégias de treinamento utilizadas nos estudos. Mas ainda, é possível realizar uma interpretação dos dados anteriormente expostos e sugerir uma relação entre o volume total do TA+RFS e o aumento da massa muscular. Embora a literatura ainda careça de evidências para essa hipótese, Abe et al. (2009) observaram que o volume muscular da coxa foi substancialmente menor após redução de ~50% no volume total do treino. Além do volume total, outros fatores também podem contribuir para o aumento da AST, como por exemplo, o próprio estresse metabólico induzido pela RFS (TAKADA et al., 2012), as elevações nas concentrações de GH e testosterona, o aumento na sinalização das vias de hipertrofia (i.e. redução da miostatina e o aumento da mTOR), a proliferação de células satélites e a maior ativação das fibras do tipo II (ABE et al., 2010; ABE; KEARNS; SATO, 2006; CONCEIÇÃO et al., 2019; DE OLIVEIRA et al., 2015; EIKEN et al., 1991; ESBJÖRNSSON et al., 1993; HWANG; WILLOUGHBY, 2019; JESSEE et al., 2018; KARABULUT ABE, T., SATO, Y., BEMBEN, M., 2007; LIXANDRÃO et al., 2018).

O aumento na AST da coxa também tem sido associado à melhora na EC (VIKMOEN et al., 2016). No estudo de Vikmoen et al. (2016), após 11 semanas de TF (2x/semana), os autores observaram que o delta no VO_2 a 150W foi correlacionado significativamente com o delta da AST do músculo quadríceps de ciclistas bem treinadas ($r=-0,54$). De fato, o TF quando associado ao treinamento aeróbio habitual de ciclistas treinados tem gerado melhoras significantes entre 3,4% e 4,8% na EC (SUNDE et al., 2010; VIKMOEN et al., 2016, 2017). O presente estudo verificou uma melhora de 7,4% e 7,5% no grupo TA+RFS nas potências de 150W e 200W, respectivamente, enquanto ligeira piora da EC ocorreu nos grupos HIIT e CON (Figura 2). Todavia, é importante enfatizar que nenhuma diferença significativa ocorreu na EC intra e inter-grupos; porém, maior tamanho do efeito (ES moderado) foi observado nas potência de 150W e 200W comparado ao HIIT e em 200W comparado ao CON. É provável que a alta variabilidade dos dados e o reduzido número amostral tenham contribuído para ausência de significância estatística. No entanto, não podemos negar a aplicabilidade prática desse resultado. É razoável sugerir que o aumento na AST_{VL} tenha contribuído para a melhora da EC no grupo TA+RFS. Com o aumento na AST do músculo esquelético, poderia haver uma redução na taxa de trabalho por fibra muscular para a mesma intensidade absoluta (COYLE, 1995; VIKMOEN et al., 2016); assim, menor quantidade de unidades motoras seriam recrutadas

para realizar o trabalho nas potências de 150W e 200W, diminuindo o consumo de oxigênio e aumentando a EC.

Embora a AST do músculo esquelético esteja associada à força muscular (ENOKA, 1988; FUKUNAGA et al., 2001; JONES et al., 2008; KOMI, 1986), nenhuma alteração da força isométrica e dinâmica máximas ocorreu no grupo TA+RFS. No mesmo sentido, os grupos HIIT e CON também não demonstraram nenhuma alteração significativa (Tabela 8). Nossos resultados vão na contramão do que recentes estudos encontraram em indivíduos fisicamente ativos ou sedentários quando submetidos ao TA+RFS ou HIIT em cicloergômetro (ABE et al., 2010; CONCEIÇÃO et al., 2019; DE OLIVEIRA et al., 2015; MARTINEZ-VALDES et al., 2017). Esses estudos reportam aumentos significantes da força isométrica ou dinâmica máximas (médias de ~7,5% e ~9,3%, respectivamente) quando comparado com seus respectivos grupos controle. É possível que devido ao baixo nível de treinamento desses indivíduos o estímulo recebido tenha sido suficiente para induzir as adaptações necessárias para provocar o aumento da força máxima, como por exemplo, uma maior ativação neuromuscular em decorrência da alta intensidade utilizada no HIIT (BUCHHEIT; LAURSEN, 2013a; TURNES et al., 2016). Em contrapartida, ciclistas treinados já possuem uma treinabilidade menor em decorrência da carga total de treinamento (LUCIA et al., 1998, 2000a), por isso, provavelmente esses indivíduos necessitariam do uso de estratégias como o próprio treinamento de força (AAGAARD et al., 2011; BARRETT-O'KEEFE et al., 2012; HANSEN et al., 2012; MUJKA; RONNESTAD; MARTIN, 2016; RONNESTAD et al., 2015; RONNESTAD; HANSEN; RAASTAD, 2010b, 2010a; RONNESTAD; HANSEN; NYGAARD, 2017; SUNDE et al., 2010; VIKMOEN et al., 2016).

Talvez a especificidade fique a parte quando falamos do aumento no VO_2 máx proporcionado pelo TA+RFS. Estudos com indivíduos destreinados mostram que esse método de treinamento consegue induzir aumentos no VO_2 máx (entre 5,6% e 11%) com intensidade inferior (i.e. 40% do VO_2 máx) da menor já observada na literatura (45% do VO_2 máx) (GAESSER; RICH, 1984). Com isso, o aumento no VO_2 máx passou a ser uma das principais variáveis utilizadas para tentar explicar a melhora do desempenho físico encontrado pelos estudos de Conceição et al. (2019), de Oliveira et al. (2015) e Karabulut et al. (2010). Em contrapartida, em ciclistas recreativos ou bem treinados que associaram a RFS ao intervalo entre *sprints* máximos, o aumento significativo no VO_2 máx não foi suficiente para melhorar o desempenho no CR15km ou no teste de potência crítica (MITCHELL et al., 2019; TAYLOR; INGHAM; FERGUSON, 2016). Já o presente estudo, contradizendo o padrão observado até o

momento, e a nossa própria hipótese, não verificou aumento no VO_{2pico} após o período de intervenção com TA+RFS. O aumento no VO_{2pico} era esperado pelo fato de estudos prévios demonstrarem que o TA+RFS induz adaptações musculares periféricas (aumentos na densidade capilar, na atividade oxidativa, na biogênese mitocondrial e na proporção de fibras do tipo I) que estão relacionadas com seu aumento (ABE et al., 2010; CONCEIÇÃO et al., 2019; ESBJÖRNSSON et al., 1993; GUSTAFSSON et al., 1999; KAIJSER et al., 1990; SUNDBERG et al., 1993). Todavia, em virtude dos sujeitos serem ciclistas treinados, com no mínimo três anos de experiência, a magnitude de aumento das respostas adaptativas provavelmente foi reduzida, explicando assim a ausência de aumento no VO_{2pico} do grupo TA+RFS (LUCIA et al., 1998; RODRIGUEZ et al., 2002).

Esse resultado está em linha com estudos prévios, os quais demonstram uma dissociação entre o $VO_{2máx}$ e o desempenho físico e/ou esportivo em atletas de *endurance* (LAURSEN; BLANCHARD; JENKINS, 2002; NOAKES; MYBURGH; SCHALL, 1990). Esse também seria o motivo pelo qual o grupo HIIT não demonstrou o aumento significativo no VO_{2pico} . De fato, outros estudos observaram respostas positivas do desempenho físico-esportivo em ciclistas bem treinados (i.e., W_{pico} e CR40km), sem constatar alterações em enzimas oxidativas, glicolíticas, fatores angiogênicos ou mesmo no VO_{2pico} após um período de treinamento de HIIT (LAURSEN; BLANCHARD; JENKINS, 2002; LAURSEN; JENKINS, 2002; MITCHELL et al., 2019; WESTON et al., 1997). Os mecanismos responsáveis pelo aumento do desempenho em indivíduos já treinados ainda são incertos, podendo ocorrer em diferentes sítios, tais como, cardiovascular, muscular ou mesmo pelo aumento na habilidade do indivíduo em tolerar o esforço e resistir a fadiga (ALMQUIST et al., 2020; MAHJOUB et al., 2019; O'LEARY et al., 2017; PINHEIRO et al., 2018; STEPTO et al., 1999; WESTON et al., 1997).

A capacidade de resistir a fadiga, o tamponamento muscular e a maior habilidade de remoção do lactato estão diretamente associados ao tempo em que um indivíduo consegue sustentar o exercício em intensidades $>LV_2$, como por exemplo, o teste de T_{lim} na WVO_{2pico} (MESSONNIER et al., 2002). Estudos anteriores sugeriram que o TA+RFS poderia aumentar a capacidade de tamponamento muscular e reduzir as concentrações de lactato para a mesma intensidade absoluta decorrente de uma maior capilarização e distribuição do oxigênio à musculatura (CHRISTIANSEN et al., 2020; DE OLIVEIRA et al., 2015; PINHEIRO et al., 2018). No entanto, o grupo TA+RFS não demonstrou aumento significativo do desempenho no T_{lim} . Comportamento semelhante também ocorreu com o grupo HIIT. Ambos os grupos TA+RFS e HIIT aumentaram substancialmente o tempo médio em exercício ($11,8 \pm 22,7$ % e

50,3 ± 104,2%, respectivamente), enquanto o grupo CON teve um discreto aumento médio (1,3 ± 18%) (Tabela 6). Essa diferença substancial no tempo do grupo HIIT comparado ao CON resultou num maior tamanho do efeito (ES moderado). Weston et al. (1997) após seis sessões de HIIT em ciclistas bem treinados relataram um aumento significativo de 22% no desempenho no Tlim em 150% da Wpico abaixo do observado no presente estudo com o grupo HIIT. Por isso, não podemos deixar de destacar o efeito prático desses resultados. Elevada variabilidade dos dados e do próprio teste podem ter ocasionado a ausência de diferença significativa do ponto de vista estatístico. Por ser um teste aberto, ou seja, sem ponto final pré-definido e por ser em alta intensidade, fatores motivacionais também podem ter influenciado o resultado do Tlim (BOSQUET; LEGER; LEGROS, 2002). Outros estudos também têm reportado alta variabilidade no teste de Tlim (MESSONNIER et al., 2002; WESTON et al., 1997). Por outro lado, Corvino et al. (2014) após investigarem o efeito do TA+RFS no Tlim a 110% Wpico (4 semanas, 3x/semana a 30% da Wpico) em indivíduos fisicamente ativos, constataram significativo aumento de 53% do desempenho comparado ao pré-treino, sendo, essa melhora significativa quando comparada ao grupo controle. Como pode ser visto, a magnitude de melhora relatada por Corvino et al. (2014) após o TA+RFS em indivíduos fisicamente ativos é semelhante a observada no presente estudo com o grupo HIIT, o qual treinou numa intensidade três vezes maior. Nesse sentido, indivíduos com baixo nível de condicionamento talvez consigam se beneficiar em maior extensão das adaptações geradas pelo TA+RFS comparado aos ciclistas bem treinados, os quais já “alcançaram um nível elevado” em suas adaptações fisiológicas, sendo necessário intensidades próximas do VO₂pico para proporcionar a melhora do desempenho esportivo (LAURSEN; JENKINS, 2002).

Assim, a ausência de melhora significativa no CR20km do grupo TA+RFS pode de certa forma ser explicada através do princípio da especificidade. De acordo com Young (2006) as sessões de treinamento devem imitar ao máximo as situações de uma competição, proporcionando adaptações semelhantes às do contexto esportivo. Nesse sentido, embora o TA+RFS tenha gerado melhoras significantes em variáveis preditoras do desempenho em contrarrelógios de longa duração (i.e. ≥15km), tais como a Wpico, a potência mecânica correspondente ao LV₂ e a EC (FARIA; PARKER; FARIA, 2005; JEUKENDRUP; CRAIG; HAWLEY, 2000), esta estratégia parece não ser capaz de imitar algumas particularidades do treinamento de HIIT. Por exemplo, a alta intensidade utilizada no treinamento de HIIT (≥LL₂/LV₂) obriga o organismo a experimentar um elevado estresse em diferentes sistemas, tais como o neuromuscular, o metabólico e o cardiorrespiratório, gerando assim, uma alta

percepção de esforço e de fadiga (O'LEARY et al., 2017; ROBERTSON, 1982; RØNNESTAD et al., 2020; RØNNESTAD; VIKMOEN, 2019; SEILER; TØNNESEN, 2009; STEPTO et al., 1999; WESTGARTH-TAYLOR et al., 1997; WESTON et al., 1997).

Nesse contexto, o HIIT além de promover adaptações fisiológicas parece também induzir adaptações psicológicas, contribuindo para que o atleta adquira maior resistência a fadiga e perca por mais tempo em intensidades próximas do LL_2/LV_2 (O'LEARY et al., 2017; STEPTO et al., 1999). Recentes estudos têm demonstrado que quanto maior é o tempo total despendido em intensidades próximas do $VO_{2máx}$ no treinamento de HIIT ($\geq 90\%$ do $VO_{2máx}$ ou da FC de reserva), maiores são as adaptações e o desempenho físico-esportivo (RØNNESTAD et al., 2020; SYLTA et al., 2017a). Além disso, tarefas de CR de longa duração ($CR \geq 20km$) parecem promover elevada magnitude de fadiga central (TAYLOR; INGHAM; FERGUSON, 2016; THOMAS et al., 2014). A fadiga central ocasiona uma perda gradual na capacidade de geração de força ou potência muscular em decorrência de uma redução do drive eferente do sistema nervoso central até a placa neuromotora (MEEUSEN; WATSON, 2007; THOMAS et al., 2014). No caso, o treinamento de HIIT parece atenuar os efeitos da fadiga central após seis semanas de treinamento (3x/semana) quando comparado ao treinamento aeróbio contínuo, sendo este equalizado pelo trabalho total (O'LEARY et al., 2017). De acordo com os próprios autores, algumas adaptações no sistema nervoso central podem explicar essa melhora, como por exemplo, a redução na captação de amônia, maior resistência à serotonina, melhora da excitabilidade reflexa espinal e maior resistência aos efeitos inibitórios gerados pelos nervos aferentes do grupo III/IV. Nesse sentido, o treinamento de HIIT aplicado no presente estudo pode ter contribuído para reduzir a fadiga central, melhorando assim seu desempenho de maneira significativa comparado ao grupo CON.

Com isso, é importante destacar que embora não tenha ocorrido diferença significativamente estatística do desempenho no CR20km entre os grupos TA+RFS e HIIT, o treinamento de HIIT deve ser mantido como parte integrante de um programa estruturado de treinamento, haja vista que o mesmo pode ajudar os ciclistas em momentos decisivos da prova, como a fuga de um pelotão ou no momento do *sprint* final. No entanto, como o HIIT pode gerar uma elevada carga de treinamento ao ciclista, gerando um alto desgaste fisiológico e/ou psicológico, o TA+RFS vem auxiliar os ciclistas e seus treinadores, permitindo com que os ciclistas em certos momentos da temporada possam aumentar o desempenho físico e a massa muscular do vasto lateral utilizando uma estratégia de treinamento de elevada especificidade e

baixa intensidade, gerando assim, menor trabalho total quando comparado ao treinamento de HIIT (Anexos - Figuras 1 e 2).

7. LIMITAÇÕES

Embora considerável esforço tenha sido realizado no monitoramento, controle e equalização do volume e da intensidade do treinamento aeróbio habitual submáximo entre os grupos (TA+RFS, HIIT e CON), é relevante assumir o fato de que não foi possível termos o controle total com relação ao treinamento/competições dos voluntários ao longo da intervenção.

8. CONCLUSÃO

O TA+RFS demonstrou ser um método de treinamento capaz de aumentar o desempenho físico de ciclistas treinados por meio de importantes variáveis da aptidão aeróbia (W_{pico} , a potência mecânica correspondente aos LV_1 e LV_2) semelhante ao HIIT. Adicionalmente, o TA+RFS foi capaz de aumentar a EC e a AST_{VL} . Vale destacar que essas melhoras foram adquiridas com apenas um quinto do trabalho total do treinamento realizado pelo grupo HIIT. No entanto, o HIIT ainda parece ser o melhor método para gerar o aumento do desempenho em CR20km. Isso pode ser consequência da especificidade do treinamento de HIIT, o qual assemelha-se mais às intensidades que são utilizadas em tarefas deste tipo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, P. *et al.* Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], v. 21, n. 6, p. e298-307, 2011. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2010.01283.x. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21362056>.

ABE, T. *et al.* Effects of Low-Intensity Cycle Training with Restricted Leg Blood Flow on Thigh Muscle Volume and VO₂MAX in Young Men. **Journal of Sports Science & Medicine**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 452–458, 2010. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24149640>.

ABE, T. *et al.* Skeletal muscle size and strength are increased following walk training with restricted leg muscle blood flow: implications for training duration and frequency. **International Journal of Kaatsu Training Research**, [S. l.], v. 5, p. 9–15, 2009.

ABE, T.; KEARNS, C. F.; SATO, Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. **Journal of Applied Physiology (1985)**, [S. l.], v. 100, n. 5, p. 1460–1466, 2006. DOI: 10.1152/jappphysiol.01267.2005. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16339340>.

ALMQUIST, N. W. *et al.* Systemic and muscular responses to effort-matched short intervals and long intervals in elite cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1111/sms.13672.

ASTORINO, T. A. *et al.* High-Intensity Interval Training Increases Cardiac Output and V-O₂max. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 2017. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001099.

ATKINSON, GREG; DAVISON, RICHARD; NEVILL, ALAN M. Response: inverse relationship between VO₂max and economy in world class cyclists. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 2004. DOI: 10.1249/01.mss.0000128141.03976.b8.

BALMER, J.; DAVISON, R. C.; BIRD, S. R. Peak power predicts performance power during an outdoor 16.1-km cycling time trial. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 32, n. 8, p. 1485–1490, 2000. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10949016>.

BARNES, K. R.; KILDING, A. E. Running economy: measurement, norms, and determining factors. **Sports Medicine Open**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 8, 2015. DOI: 10.1186/s40798-015-0007-y. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27747844>.

BARRETT-O'KEEFE. *et al.* Maximal strength training and increased work efficiency: contribution from the trained muscle bed. **Journal of Applied Physiology (1985)**, [S. l.], v. 113, n. 12, p. 1846–1851, 2012. DOI: 10.1152/jappphysiol.00761.2012. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22984253>.

BERTUZZI, Rômulo Cássio de Moraes. Estimativa dos metabolismos anaeróbios no déficit máximo acumulado de oxigênio. 2008. **Universidade de São Paulo**, [S. l.], 2008. DOI: 10.11606/T.39.2008.tde-12112009-162424. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/39/39132/tde-12112009-162424/pt-br.php>.

BILLAT, V. L. *et al.* Interval training at VO₂max: effects on aerobic performance and overtraining markers. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 156–163, 1999. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9927024>.

BILLAT, V. L. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: anaerobic interval training. **Sports Medicine**, [S. l.], v. 31, n. 2, p. 75–90, 2001. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11227980>.

BLACK, M. I. *et al.* Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains. **Journal of Applied Physiology**, [S. l.], 2017. DOI: 10.1152/jappphysiol.00942.2016.

BOSQUET, L.; LEGER, L.; LEGROS, P. Methods to determine aerobic endurance. **Sports Medicine**, [S. l.], v. 32, n. 11, p. 675–700, 2002. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12196030>.

BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. **Sports Medicine**, 2013. a. DOI: 10.1007/s40279-013-0029-x.

BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. **Sports Medicine**, 2013. b. DOI: 10.1007/s40279-013-0066-5.

CHRISTIANSEN, D. *et al.* Increased FX₁ and PGC-1 α mRNA after blood flow-restricted running is related to fibre type-specific AMPK signalling and oxidative stress in human muscle. **Acta Physiologica**, [S. l.], 2018. DOI: 10.1111/apha.13045.

CHRISTIANSEN, D. *et al.* Cycling with blood flow restriction improves performance and muscle K⁺ regulation and alters the effect of anti-oxidant infusion in humans. **Journal of Physiology**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1113/JP277657.

CHRISTIANSEN, D. *et al.* Training with blood flow restriction increases femoral artery diameter and thigh oxygen delivery during knee-extensor exercise in recreationally trained men. **Journal of Physiology**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1113/jp279554.

CLARK, B. *et al.* Effects of a seven day overload-period of high-intensity training on performance and physiology of competitive cyclists. **PLoS One**, [S. l.], v. 9, n. 12, p. e115308, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0115308. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25521824>.

CONCEIÇÃO, M. S. *et al.* Augmented Anabolic Responses after 8-wk Cycling with Blood Flow Restriction. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001755.

CORVINO, R. B. *et al.* Speeding of oxygen uptake kinetics is not different following low-intensity blood-flow-restricted and high-intensity interval training. **Experimental Physiology**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1113/EP087727.

CORVINO, R. B. *et al.* Four weeks of blood flow restricted training increases time to exhaustion at severe intensity cycling exercise. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, [S. l.], 2014. DOI: 10.5007/1980-0037.2014v16n5p570.

COYLE, E. F. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. **Exercise & Sport Sciences Reviews**, [S. l.], 1995. DOI: 10.1249/00003677-199500230-00004.

DA SILVA, J. C. L. *et al.* Quadriceps and hamstring muscle activity during cycling as measured with intramuscular electromyography. **European Journal of Applied Physiology**, [S. l.], 2016. DOI: 10.1007/s00421-016-3428-5.

DAVIS, J. A. Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 1985. DOI: 10.1249/00005768-198502000-00003.

DE OLIVEIRA, M. F. *et al.* S. Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], 2015. DOI: 10.1111/sms.12540. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26369387>.

EIKEN, O. *et al.* Effects of ischaemic training on force development and fibre-type composition in human skeletal muscle. **Clinical Physiology**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 41–49, 1991. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2019077>.

ENOKA, R. M. Muscle Strength and Its Development: New Perspectives Sports Medicine: **An International Journal of Applied Medicine & Science in Sport & Exercise**, 1988. DOI: 10.2165/00007256-198806030-00003.

ESBJÖRNSSON, M. *et al.* Muscle fibre types and enzyme activities after training with local leg ischaemia in man. **Acta Physiologica Scandinavica**, [S. l.], 1993. DOI: 10.1111/j.1748-1716.1993.tb09554.x.

FARIA, E. W.; PARKER, D. L.; FARIA, I. E. The science of cycling: physiology and training - part 1. **Sports Medicine**, [S. l.], v. 35, n. 4, p. 285–312, 2005. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15831059>.

FERNANDEZ-GARCIA, B. *et al.* Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 32, n. 5, p. 1002–1006, 2000. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10795793>.

FOSS, MERLE, L.; KETEVIAN, STEVEN, J. **Bases fisiológicas do exercício e do esporte**. 6. ed. [s.l.: s.n.].

FOSTER, C. *et al.* A new approach to monitoring exercise training. **Journal of Strength & Conditioning Research**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 109–115, 2001. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11708692>.

FUKUNAGA, T. *et al.* Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. **Acta Physiologica Scandinavica**, [S. l.], 2001. DOI: 10.1046/j.1365-201X.2001.00867.x.

GAESSER, G. A.; RICH, R. G. Effects of high- and low-intensity exercise training on aerobic capacity and blood lipids. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 1984. DOI: 10.1249/00005768-198406000-00012.

GARBER, C. E. *et al.* American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 43, n. 7, p. 1334–1359, 2011. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318213fefb. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21694556>.

GASTIN, P. B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. **Sports Medicine**, 2001. DOI: 10.2165/00007256-200131100-00003.

GIBALA, M. J.; GILLEN, J. B.; PERCIVAL, M. E. Physiological and health-related adaptations to low-volume interval training: influences of nutrition and sex. **Sports Medicine**, [S. l.], v. 44 Suppl 2, p. S127-37, 2014. DOI: 10.1007/s40279-014-0259-6. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25355187>.

GIBALA, M. J.; MCGEE, S. L. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? **Exercise & Sport Sciences Review**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 58–63, 2008. DOI: 10.1097/JES.0b013e318168ec1f. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18362686>.

GUSTAFSSON, T. *et al.* Exercise-induced expression of angiogenesis-related transcription and growth factors in human skeletal muscle. **American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology**, [S. l.], 1999. DOI: 10.1152/ajpheart.1999.276.2.h679.

HANSEN, E. A. *et al.* Cyclists' improvement of pedaling efficacy and performance after heavy strength training. **International Journal of Sports Physiology & Performance**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 313–321, 2012. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23197584>.

HAWKINS, M. N. *et al.* Maximal oxygen uptake as a parametric measure of cardiorespiratory capacity. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 39, n. 1, p. 103–107, 2007. DOI: 10.1249/01.mss.0000241641.75101.64. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17218891>.

HAWLEY, J. A.; NOAKES, T. D. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology**, [S. l.], v. 65, n. 1, p. 79–83, 1992. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1505544>.

HOLLIDAY, W. *et al.* Cycling: joint kinematics and muscle activity during differing intensities. **Sports Biomechanics**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1080/14763141.2019.1640279.

HOLLOSZY, J. O.; BOOTH, F. W. Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. **Annual Review of Physiology**, [S. l.], v. 38, p. 273–291, 1976. DOI: 10.1146/annurev.ph.38.030176.001421. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/130825>.

HOPKER, J. G. *et al.* The influence of training status, age, and muscle fiber type on cycling efficiency and endurance performance. **Journal of Applied Physiology**, (1985), [S. l.], v. 115, n. 5, p. 723–729, 2013. DOI: 10.1152/jappphysiol.00361.2013. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23813527>.

HOPKINS, W. *et al.* Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 2009. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31818cb278.

HUANG, Y. C. *et al.* High-Intensity Interval Training Improves Left Ventricular Contractile Function. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001931.

HUG, F. *et al.* Selective training-induced thigh muscles hypertrophy in professional road cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, [S. l.], 2006. DOI: 10.1007/s00421-006-0218-5.

HWANG, P. S.; WILLOUGHBY, D. S. Mechanisms behind blood flow-restricted training and its effect toward muscle growth. **Journal of Strength & Conditioning Research**, 2019. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002384.

JESSEE, M. B. *et al.* Mechanisms of blood flow restriction: The new testament. In: **TECHNIQUES IN ORTHOPAEDICS 2018**, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] DOI: 10.1097/BTO.0000000000000252.

JEUKENDRUP, A. E. *et al.* Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. **Int Journal of Sports Medicine**, [S. l.], v. 13, n. 7, p. 534–541, 1992. DOI: 10.1055/s-2007-1021312. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1459749>.

JEUKENDRUP, A. E.; CRAIG, N. P.; HAWLEY, J. A. The bioenergetics of world class cycling. **Journal of Science & Medicine in Sport**, [S. l.], v. 3, n. 4, p. 414–433, 2000. DOI: 10.1016/S1440-2440(00)80008-0.

JONES, A. M.; CARTER, H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. **Sports Medicine**, [S. l.], v. 29, n. 6, p. 373–386, 2000. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10870864>.

JONES, E. J. *et al.* Cross-sectional area and muscular strength: A brief review. **Sports Medicine**, 2008. DOI: 10.2165/00007256-200838120-00003.

JOYNER, M. J.; COYLE, E. F. Endurance exercise performance: the physiology of champions. **Journal of Physiology**, [S. l.], v. 586, n. 1, p. 35–44, 2008. DOI: 10.1113/jphysiol.2007.143834. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17901124>.

KAIJSER, L. *et al.* Muscle oxidative capacity and work performance after training under local leg ischemia. **Journal of Applied Physiology** (1985), [S. l.], v. 69, n. 2, p. 785–787, 1990. DOI: 10.1152/jappl.1990.69.2.785. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2146245>.

KARABULUT, M.; ABE, T.; BEMBEN, M. Overview of neuromuscular adaptations of skeletal muscle to KAATSU Training. **International Journal of Kaatsu Training Research**, [S. l.], v. 3, p. 1–9, 2007.

KARABULUT, M.; ABE, T.; BEMBEN, M. The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. **European Journal of Applied Physiology**, [S. l.], v. 108, n. 1, p. 147–155, 2010. DOI: 10.1007/s00421-009-1204-5. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19760431>.

KAWADA, S. What phenomena do occur in BFR muscle.pdf. **International Journal of Kaatsu Training Research**, [S. l.], v. 1, p. 37–44, 2005.

KENNEY, W. L.; WILMORE, J. H.; COSTIL, D. L. **Physiology of Sport and Exercise. Sixth Edition**. [s.l.: s.n.] 2015.

KOMI, P. V. Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. **International Journal of Sports Medicine**, [S. l.], 1986. DOI: 10.1055/s-2008-1025796.

KORDI, M. *et al.* Mechanical and morphological determinants of peak power output in elite cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1111/sms.13570.

LARKIN, K. A. *et al.* Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 44, n. 11, p. 2077–2083, 2012. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3182625928. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22677927>.

LAURENTINO, G. C. *et al.* Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 44, n. 3, p. 406–412, 2012. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318233b4bc. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21900845>.

LAURSEN, P. B. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], v. 20 Suppl 2, p. 1–10, 2010. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20840557>.

LAURSEN, P. B.; BLANCHARD, M. A.; JENKINS, D. G. Acute high-intensity interval training improves \dot{V}_{O2} and peak power output in highly trained males. **Canadian Journal of Applied Physiology**, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 336–348, 2002. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12442351>.

LAURSEN, P. B.; JENKINS, D. G. The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. **Sports Medicine**, [S. l.], v. 32, n. 1, p. 53–73, 2002. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11772161>.

LAURSEN, P. B. *et al.* Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 34, n. 11, p. 1801–1807, 2002. DOI: 10.1249/01.MSS.0000036691.95035.7D. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12439086>.

LAURSEN, P. B. *et al.* Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. **Journal of Strength & Conditioning Research**, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 527–533, 2005. a. DOI: 10.1519/15964.1. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16095414>.

LAURSEN, P. B. *et al.* Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. **Journal of Strength & Conditioning Research**, [S. l.], 2005. b. DOI: 10.1519/15964.1.

LEVINE, B. D. $\dot{V}O_{2\max}$: what do we know, and what do we still need to know? **Journal of Physiology**, [S. l.], v. 586, n. 1, p. 25–34, 2008. DOI: 10.1113/jphysiol.2007.147629. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18006574>.

LINDSAY, F. H. *et al.* Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 28, n. 11, p. 1427–1434, 1996. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8933495>.

LIXANDRÃO, M. E. *et al.* Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Medicine**, 2018. DOI: 10.1007/s40279-017-0795-y.

LUCIA, A.; HOYOS, J.; CHICHARRO, J. L. Physiology of professional road cycling. **Sports Medicine**, [S. l.], v. 31, n. 5, p. 325–337, 2001. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11347684>.

LUCIA, A. *et al.* Metabolic and neuromuscular adaptations to endurance training in professional cyclists: A longitudinal study. **Japanese Journal of Physiology**, [S. l.], 2000. a. DOI: 10.2170/jjphysiol.50.381.

LUCIA, A. *et al.* Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 32, n. 10, p. 1777–1782, 2000. b. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11039652>.

LUCIA, A. *et al.* Physiological differences between professional and elite road cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, [S. l.], v. 19, n. 5, p. 342–348, 1998. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9721058>.

LUCIA, A. *et al.* Inverse relationship between [latin capital V with dot above] O₂max and economy/efficiency in world-class cyclists. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 2002.

MACINNIS, M. J.; GIBALA, M. J. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. **Journal of Physiology**, 2017. DOI: 10.1113/JP273196.

MAHJOUR, H. *et al.* Cardiac remodeling after six weeks of high-intensity interval training to exhaustion in endurance-trained men. **American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1152/ajpheart.00196.2019.

MARON, B. J.; PELLICCIA, A. The heart of trained athletes: Cardiac remodeling and the risks of sports, including sudden death. **Circulation**, 2006. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.613562.

MARTINEZ-VALDES, E. *et al.* Differential motor unit changes after endurance or high-intensity interval training. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 2017. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001209.

MARTINEZ-VALDES, E. *et al.* Early Motor Unit Conduction Velocity Changes to High-Intensity Interval Training versus Continuous Training. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 2018. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001705.

MEEUSEN, R.; WATSON, P. Amino acids and the brain: do they play a role in “central fatigue”? **International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism**, [S. l.], 2007. DOI: 10.1123/ijsnem.17.s1.s37.

MESSONNIER, L. *et al.* Time to exhaustion at VO₂max is related to the lactate exchange and removal abilities. **International Journal of Sports Medicine**, [S. l.], 2002. DOI: 10.1055/s-2002-33740.

MITCHELL, E. A. *et al.* The combined effect of sprint interval training and postexercise blood flow restriction on critical power, capillary growth, and mitochondrial proteins in trained cyclists. **Journal of Applied Physiology**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1152/jappphysiol.01082.2017.

MONTERO, D.; LUNDBY, C. The Effect of Exercise Training on the Energetic Cost of Cycling. **Sports Medicine**, [S. l.], v. 45, n. 11, p. 1603–1618, 2015. DOI: 10.1007/s40279-015-0380-1. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26373646>.

MOREIRA, A. *et al.* Training periodization of professional Australian football players during an entire Australian football league season. **International Journal of Sports Physiology & Performance**, [S. l.], 2015. DOI: 10.1123/ijspp.2014-0326.

MUJIKA, I.; RONNESTAD, B. R.; MARTIN, D. T. Effects of Increased Muscle Strength and Muscle Mass on Endurance-Cycling Performance. **International Journal of Sports Physiology & Performance**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 283–289, 2016. DOI: 10.1123/IJSPP.2015-0405. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27068517>.

NAKAJIMA, T. Key considerations when conducting KAATSU training. **International Journal of Kaatsu Training Research**, [S. l.], v. 7, p. 1–6, 2011.

NOAKES, T. D.; MYBURGH, K. H.; SCHALL, R. Peak treadmill running velocity during the VO₂ max test predicts running performance. **Journal of Sports Science**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 35–45, 1990. DOI: 10.1080/02640419008732129. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2359150>.

O'LEARY, T. J. *et al.* Endurance capacity and neuromuscular fatigue following high- vs moderate-intensity endurance training: A randomized trial. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], 2017. DOI: 10.1111/sms.12854.

PARK, S. *et al.* Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. **European Journal of Applied Physiology**, [S. l.], v. 109, n. 4, p. 591–600, 2010. DOI: 10.1007/s00421-010-1377-y. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20544348>.

PATTERSON, S. D. *et al.* Blood flow restriction exercise position stand: Considerations of methodology, application, and safety. **Frontiers in Physiology**, 2019. DOI: 10.3389/fphys.2019.00533.

PELLICCIA, A.; MARON, M. S.; MARON, B. J. Assessment of Left Ventricular Hypertrophy in a Trained Athlete: Differential Diagnosis of Physiologic Athlete's Heart From Pathologic Hypertrophy. **Progress in Cardiovascular Diseases**, [S. l.], 2012. DOI: 10.1016/j.pcad.2012.01.003.

PINHEIRO, F. A. *et al.* Comments on Point: Counterpoint: Can blood flow restriction move beyond the limits of peripheral fatigue development in aerobic exercise?; **Journal of Applied Physiology**, [S. l.], 2018.

REEVES, N. *et al.* Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. **European Journal of Applied Physiology**, [S. l.], 2004. DOI: 10.1007/s00421-003-0961-9.

ROBERTSON, R. J. Central signals of perceived exertion during dynamic exercise. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 1982. DOI: 10.1249/00005768-198205000-00014.

RODRIGUEZ, L. P. *et al.* Effects of training status on fibers of the musculus vastus lateralis in professional road cyclists. **American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation**, [S. l.], 2002. DOI: 10.1097/00002060-200209000-00004.

RONNESTAD, B. R.; HANSEN, E. A.; RAASTAD, T. Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, [S. l.], v. 108, n. 5, p. 965–975, 2010. a. DOI: 10.1007/s00421-009-1307-z. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19960350>.

RONNESTAD, B. R.; HANSEN, E. A.; RAASTAD, T. In-season strength maintenance training increases well-trained cyclists' performance. **European Journal of Applied Physiology**, [S. l.], v. 110, n. 6, p. 1269–1282, 2010. b. DOI: 10.1007/s00421-010-1622-4. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20799042>.

RONNESTAD, B. R.; HANSEN, E. A.; RAASTAD, T. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 250–259, 2011. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2009.01035.x. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19903319>.

RONNESTAD, B. R.; HANSEN, J.; ELLEFSEN, S. Block periodization of high-intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 34–42, 2014. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2012.01485.x. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22646668>.

RONNESTAD, B. R. *et al.* Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. e89-98, 2015. DOI: 10.1111/sms.12257. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24862305>.

RONNESTAD, B. R.; HANSEN, J.; NYGAARD, H. 10 weeks of heavy strength training improves performance-related measurements in elite cyclists. **Journal of Sports Science**, [S. l.], v. 35, n. 14, p. 1435–1441, 2017. DOI: 10.1080/02640414.2016.1215499. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27486014>.

RØNNESTAD, B. R. *et al.* Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], 2015. DOI: 10.1111/sms.12165.

RONNESTAD, B. R.; MUJKA, I. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 603–612, 2014. DOI: 10.1111/sms.12104. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23914932>.

RØNNESTAD, B. R. *et al.* Superior performance improvements in elite cyclists following short-interval vs effort-matched long-interval training. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1111/sms.13627.

RØNNESTAD, B. R.; VIKMOEN, O. A 11-day compressed overload and taper induces larger physiological improvements than a normal taper in elite cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1111/sms.13536.

SAUNDERS, P. U. *et al.* Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**, [S. l.], v. 34, n. 7, p. 465–485, 2004. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15233599>.

SCHARHAG-ROSENBERGER, F.; MEYER, T.; WALITZEK, S.; KINDERMANN, W. Time course of changes in endurance capacity: a 1-yr training study. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 41, n. 5, p. 1130–1137, 2009. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181935a11. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19346973>.

SEILER, K. S.; KJERLAND, G. O. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 49–56, 2006. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16430681>.

SEILER, S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? **International Journal of Sports Physiology and Performance**, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 276–291, 2010. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20861519>.

SEILER, S.; TØNNESEN, Espen. Intervals , Thresholds , and Long Slow Distance : the Role of Intensity and Duration in Endurance Training. **Training**, [S. l.], v. 13, n. 13, p. 32–53, 2009. Disponível em: <http://sportssci.org/2009/ss.htm>.

SKINNER, J. S.; MCLELLAN, T. M. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. **Research Quarterly for Exercise & Sport**, [S. l.], v. 51, n. 1, p. 234–248, 1980. DOI: 10.1080/02701367.1980.10609285. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7394286>.

SLIVKA, D. R.; HAILES, W. S.; CUDDY, J. S.; RUBY, B. C. Effects of 21 days of intensified training on markers of overtraining. **Journal of Strength & Conditioning Research** , [S. l.], v. 24, n. 10, p. 2604–2612, 2010. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181e8a4eb. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20733522>.

STEPTO, N. K. *et al.* Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 31, n. 5, p. 736–741, 1999. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10331896>.

STOREN, O. *et al.* Physiological determinants of the cycling time trial. **Journal of Strength & Conditioning Research** , [S. l.], v. 27, n. 9, p. 2366–2373, 2013. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31827f5427. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23238091>.

SUNDBERG, C. J. *et al.* Effects of ischaemic training on local aerobic muscle performance in man. **Acta Physiologica Scandinavica**, [S. l.], v. 148, n. 1, p. 13–19, 1993. DOI: 10.1111/j.1748-1716.1993.tb09526.x. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8333292>.

SUNDE, A. *et al.* Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. **Journal of Strength & Conditioning Research** , [S. l.], v. 24, n. 8, p. 2157–2165, 2010. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181aeb16a. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19855311>.

SWART, J.; *et al.* Effects of high-intensity training by heart rate or power in well-trained cyclists. **Journal of Strength & Conditioning Research** , [S. l.], v. 23, n. 2, p. 619–625, 2009. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31818cc5f5. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19204572>.

SWINNEN, Wannes; KIPP, Shalaya; KRAM, Rodger. Comparison of running and cycling economy in runners, cyclists, and triathletes. **European Journal of Applied Physiology**, [S. l.], 2018. DOI: 10.1007/s00421-018-3865-4.

SYLTA, Ø. *et al.* Effects of high-intensity training on physiological and hormonal adaptations in well-trained cyclists. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 2017. a. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001214.

SYLTA, Ø. *et al.* Effects of High-Intensity Training on Physiological and Hormonal Adaptions in Well-Trained Cyclists. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 49, n. 6, p. 1137–1146, 2017. b. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001214. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28121800>.

SYLTA, Ø. *et al.* The effect of different high-intensity periodization models on endurance adaptations. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 2016. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001007.

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 (1985)**, [S. l.], v. 113, n. 2, p. 199–205, 2012. DOI: 10.1152/jappphysiol.00149.2012. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22628373>.

TAKARADA, Y.; SATO, Y.; ISHII, N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. **European Journal of Applied Physiology**, [S. l.], v. 86, n. 4, p. 308–314, 2002. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11990743>.

TAKARADA, Y. *et al.* Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. **Journal of Applied Physiology (1985)**, [S. l.], v. 88, n. 6, p. 2097–2106, 2000. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10846023>.

TAYLOR, C. W.; INGHAM, S. A.; FERGUSON, R. A. Acute and chronic effect of sprint interval training combined with postexercise blood-flow restriction in trained individuals. **Experimental Physiology**, [S. l.], v. 101, n. 1, p. 143–154, 2016. DOI: 10.1113/EP085293. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26391312>.

THOMAS, K. *et al.* Central and peripheral fatigue in male cyclists after 4-, 20-, and 40-km time trials. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], 2014. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000448.

TONNESSEN, E. *et al.* The annual training periodization of 8 world champions in orienteering. **International Journal of Sports Physiology & Performance**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 29–38, 2015. DOI: 10.1123/ijsp.2014-0005. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24896267>.

TONNESSEN, E. *et al.* The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. **PLoS One**, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e101796, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0101796. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25019608>.

TURNES, T. *et al.* High-intensity Interval Training in the Boundaries of the Severe Domain: Effects on Sprint and Endurance Performance. **International Journal of Sports Medicine**, [S. l.], v. 37, n. 12, p. 944–951, 2016. DOI: 10.1055/s-0042-109068. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27551939>.

VIKMOEN, O. *et al.* Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO₂max and cycling economy in female cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [S. l.], v. 26, n. 4, p. 384–396, 2016. DOI: 10.1111/sms.12468. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25892654>.

VIKMOEN, O. *et al.* Heavy strength training improves running and cycling performance following prolonged submaximal work in well-trained female athletes. **Physiological Reports**, [S. l.], v. 5, n. 5, 2017. DOI: 10.14814/phy2.13149. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28292885>.

WEGMAN, D. H.; FULMER, Scott. Guide to Evaluating the Effectiveness of Strategies for Preventing Work Injuries: How to Show Whether a Safety Intervention Really Works. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, [S. l.], 2002. DOI: 10.1097/00043764-200204000-00021.

WESTGARTH-TAYLOR, C. *et al.* Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology**, [S. l.], v. 75, n. 4, p. 298–304, 1997. DOI: 10.1007/s004210050164. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9134360>.

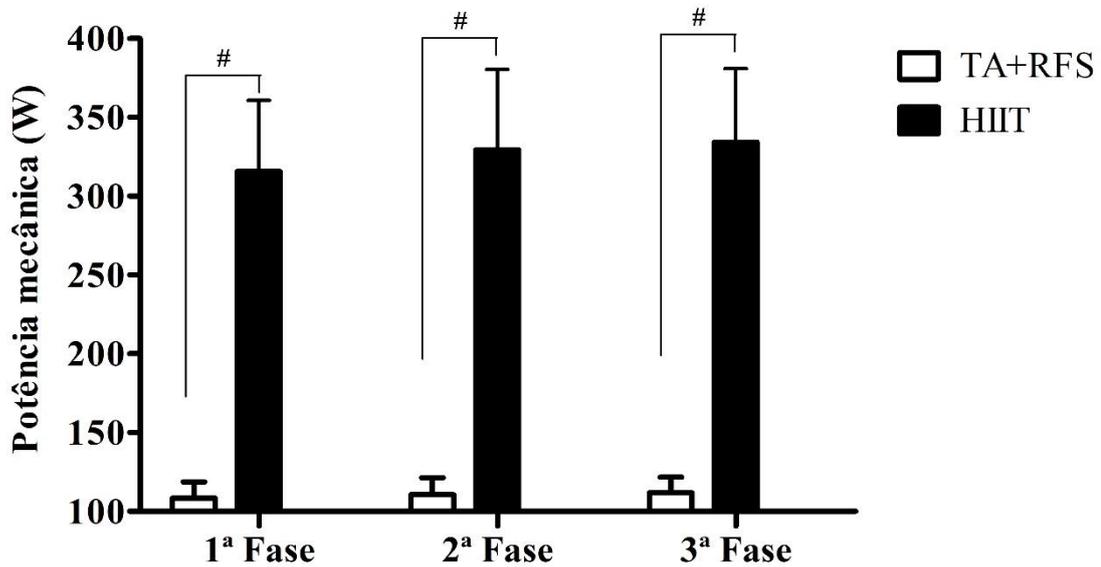
WESTON, A. R. *et al.* Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology**, [S. l.], v. 75, n. 1, p. 7–13, 1997. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9007451>.

WILMORE, J. H. *et al.* Cardiac output and stroke volume changes with endurance training: the HERITAGE Family Study. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 99–106, 2001. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11194119>.

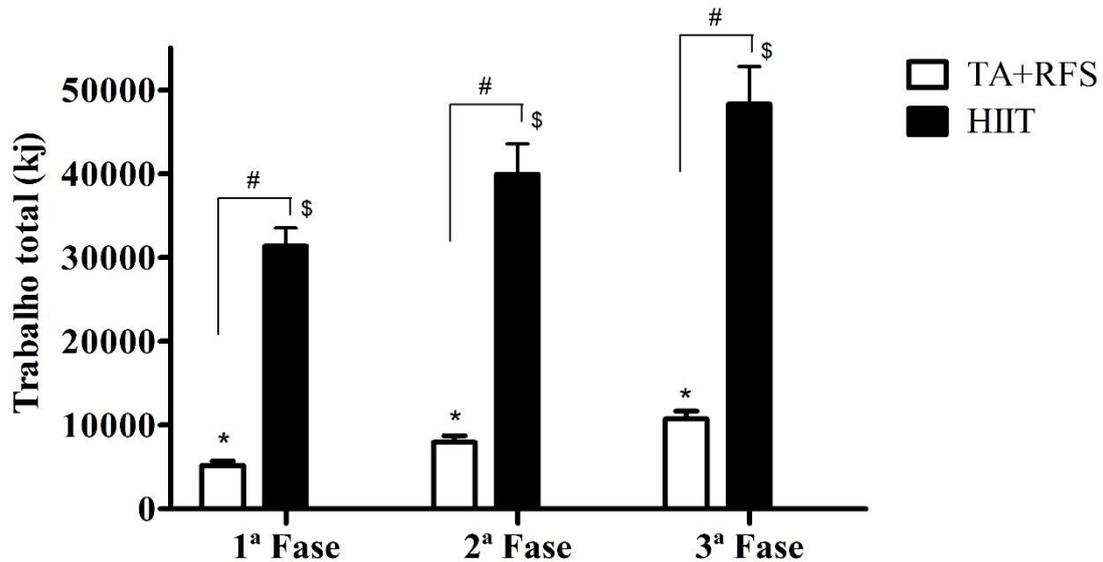
YOUNG, W. B. Transfer of strength and power training to sports performance. **International Journal of Sports physiology & performance**, 2006. DOI: 10.1123/ijsp.1.2.74.

ZAPICO, A. G. *et al.* Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. **Journal of Sports Medicine & Physical Fitness**, [S. l.], v. 47, n. 2, p. 191–196, 2007. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17557057>.

ANEXOS



ANEXO 1 – Potência mecânica aplicada em cada fase do treinamento nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS) e treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT). # $p < 0,01$ significante entre grupos.



ANEXO 2 – Trabalho total realizado em cada fase do treinamento nos grupos treinamento aeróbio associado à restrição de fluxo sanguíneo (TA+RFS) e treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT). # $< 0,01$ significante entre grupos; * $p < 0,01$ efeito de tempo no grupo RFS; \$ $p < 0,01$ efeito de tempo no grupo HIIT.