

CRISTIANO VIEIRA ROTTA

Adaptações Metabólicas e Fisiológicas decorrentes do Treinamento Intervalado de Alta Intensidade (HIT)



Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão do Curso de Especialização em Fisiologia do Exercício, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

**CURITIBA
2014**

CRISTIANO VIEIRA ROTTA

**Adaptações Metabólicas e Fisiológicas decorrentes do Treinamento
Intervalado de Alta Intensidade (HIT)**

Monografia apresentada como requisito parcial
para a conclusão do Curso de Especialização
em Fisiologia do Exercício, Setor de Ciências
Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Cesar Bassan

**CURITIBA
2014**

Dedico este trabalho aos meus maiores
incentivadores: “minha mãe e meus
amigos”.

AGRADECIMENTOS

Certamente esses parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase da minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes nessas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Reverencio o Professor Dr. Júlio Cesar Bassan pela sua dedicação e pela orientação desta pesquisa e, por meio dele, eu me reporto a toda a comunidade da Universidade Federal Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e Universidade Federal do Paraná (UFPR) pelo apoio incondicional.

Agradeço as professoras Dr. Leandra Ulbrich e Marília Torres, respectivamente pela revisão do conteúdo e correção de português. A todos os colegas da especialização em Fisiologia do Exercício, gostaria de externar minha satisfação de poder conviver com eles durante a realização deste trabalho.

Gostaria de deixar registrado também meu reconhecimento à minha mãe Dona Ana Vieira dos Santos, pelo carinho e ensinamentos, e ao papai do céu por me dar forças para persistir nos momentos mais difíceis. Por último, e nem por isso menos importante, agradeço aos meus amigos pelos incentivos.

RESUMO

Evidências recentes sugerem que uma série de adaptações metabólicas normalmente correlacionadas com o treinamento contínuo (aeróbio) pode ser induzida mais rapidamente do que se pensava anteriormente pelo Treinamento intervalado de alta intensidade (HIT). Menos de seis sessões de HIT, o que equivale a aproximadamente um total de 15 minutos de exercício intenso diário, pode reconfigurar respostas endócrinas, aumentar a capacidade oxidativa da musculatura esquelética e potencializar o metabolismo energético. Portanto, o HIT pode ser uma estratégia eficiente em termos de tempo para melhorar a saúde metabólica. Conclui-se, porém, a necessidade de mais estudos para a compreensão desses resultados em distintas populações.

Palavras-chaves: Adaptação Fisiológica. Exercício Anaeróbio. Treinamento Intervalado de Alta Intensidade.

ABSTRACT

Recent evidences suggest that the number of metabolic adaptations usually correlated with ongoing training (aerobic) can be induced more rapidly than it was previously thought by high-intensity interval training (HIT). Less than six sessions of HIT, which is roughly equivalent to a total of 15 minutes of daily intense exercise, can reconfigure endocrine responses, increasing the oxidative capacity of skeletal muscles and the metabolism and energy. Therefore, the HIT can be an effective strategy in terms of time to improve metabolic health. However, more studies are still necessary to understand these results in different kinds of population.

Key-words: Physiological Adaptation. Anaerobic Exercises. High-Intensity Interval Training.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. METODOLOGIA	10
3. DESENVOLVIMENTO	13
3.1 ADAPTAÇÕES ENDROCRINAS.....	13
3.1.1 Catecolaminas Plasmáticas.....	13
3.2 INSULINA.....	14
3.3 CAPACIDADE OXIDATIVA DA MUSCULATURA ESQUELETICA.....	15
3.4 SUBSTRATO ENÉRGICO E EFEITO TAMPONAMENTO NO HIT.....	17
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

Exercícios de alta intensidade intervalados (High-intensity Interval Training - HIT) geralmente referem-se a sessões repetidas de exercícios intermitentes relativamente breves de alta intensidade, muitas vezes realizados com um esforço “total”, ou uma intensidade maior ou igual a 90% de VO_2 pico ($>$ ou $=$ 90% de VO_2 pico), intercalados com períodos de recuperação aeróbios (exercícios leves ou repouso ativo) (GIBALA e MCGEE, 2008; BOUTCHER, 2011; TRAPP et al., 2012; GIBALA et al., 2012). Dependendo da intensidade do treino, um único esforço pode durar de alguns segundos a vários minutos, com múltiplos esforços separados por até alguns minutos de repouso ou de exercícios de baixa intensidade – repouso ativo ou passivo (GIBALA e MCGEE, 2008).

Uma das características do HIT é o fato de envolver significativamente um menor volume por sessão de treinamento com resultados eficazes e estimular adaptações metabólicas semelhantes a programas de exercícios tradicionais, aeróbios (GIBALA et al., 2006; TALANIAN et al., 2007; TRAPP; CHISHOLM; BOUTCHER 2007; RAKOBOWCHUK et al., 2008; BABRAJ et al., 2009; WHYTE, MR e CATHCART, 2010; BOUTCHER, 2011; ARAÚJO et al., 2012; GIBALA et al., 2012), ou mesmo superiores (GIBALA et al., 2012), induzindo mudanças fisiológicas, de desempenho e dos marcadores relacionados com a saúde tanto em indivíduos saudáveis quanto em populações doentes (HOOD et al., 2011; LITTLE et al., 2011)

Dados indicam que o HIT induz melhorias cardíacas e vasculares, além de maior controle do sistema autônomo (TRAPP; CHISHOLM; BOUTCHER, 2007; HEVDARI, BOUTCHER; BOUTCHER, 2012a; HEVDARI, BOUTCHER; BOUTCHER, 2012b). Por meio dele, há a melhora também da estrutura e da função vascular periférica (RAKOBOWCHUK et al., 2008), ocorrendo a ativação da glândula adrenal para liberação de catecolaminas (noradrenalina e adrenalina) (TRAPP; CHISHOLM; BOUTCHER, 2007, BRACKEN; LINNANE; BROOKS, 2009).

A capacidade oxidativa da musculatura esquelética também aumenta (BURGOMASTER et al., 2007; TALANIAN et al., 2007), bem como a melhora no transporte de glicose (GLUT 4) (BURGOMASTER et al., 2007; LITTLE et al., 2011); o aumento da sensibilidade à insulina (BABRAJ et al., 2009; RICHARDS et al., 2010; WHYTE; GILL; CATHCART, 2010); a diminuição da composição corporal e do Índice de Massa Corporal (IMC) (ARAÚJO et al., 2012) e a ocorrência de respostas

significativas na capacidade de tamponamento muscular (EDGE, BISHOP; GOODMAN, 2006).

Portanto, as evidências disponíveis sugerem que os exercícios de maior intensidade podem oferecer uma estratégia em termo de tempo, proporcionando adaptações fisiológicas e melhora da saúde metabólica (WHYTE; GILL; CATHCART, 2010, GIBALA et al., 2012). Apesar disso, poucos são os trabalhos de revisão que objetivaram sintetizar os resultados desses estudos. Partindo desses dados, o objetivo da presente revisão foi relatar os estudos existentes acerca das adaptações metabólicas e fisiológicas decorrentes de um programa de treino de exercícios intermitentes de alta intensidade.

2 METODOLOGIA

Para a realização da presente revisão, todas as referências foram retiradas das bases de dados da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) que acopla as bases de ciências geral em saúde LILAC, IBECs, MEDLINE, Biblioteca Cochrane e Scielo e uma segunda e principal base de dados, a Pubmed, ambas disponíveis na Internet. Nessa perspectiva, foram buscados primeiramente artigos publicados entre os anos 2000 e 2012, considerados estudos originais publicados nos últimos 12 anos. Entretanto, estudos clássicos que alertaram para a temática e foram desenvolvidos no final da década de 70 e no início da década de 90 foram inseridos também na presente pesquisa pela sua relevância no meio acadêmico.

Como critério de inclusão, foram incluídos apenas artigos científicos ligados à temática de pesquisa, HIT, os quais tinham como amostra distintas populações, idades, gênero e estado de saúde, de modo a expressar os resultados do HIT sob diferentes perspectivas de análise e com protocolos realizados em ciclo-ergômetro, esteira e máquinas de exercícios resistivo. Outro critério também era estarem publicados “*on line*” e com acesso gratuito pelo portal Capes de periódicos (www.periodicos.capes.gov.br/) e pela Biblioteca Virtual em Saúde (www.bireme.br) e serem em língua inglesa. Para isso, palavras-chave como *Exercises*, *Physical Exercise*, *Anaerobic Exercises*, *Interval Exercise*, *Interval Training* e *Intermittent Training* foram combinadas de diversas maneiras. Como resultado dessa combinação, foram encontrados 20 estudos para análise e discussão da temática, representados na tabela 1.

Tabela 1 – Característica dos estudos de HIT em análise, realizados entre 2000 a 2012

(Continua)

Autor	Ano	Genero / Sujeitos	"n"		Teste	Nº de Sessões	Protocolo Prescrição
			Controle	HIT			
Harmer et al	2000	7 Homens, saudáveis, ativos (recreativos)		7	Ciclo ergômetro	21	4 a 10 <i>sprints</i> de 30s / 4 min de recuperação (<i>sprint "all-out"</i>).
Juel et al	2004	6 homens saudáveis		6	Extensora de joelho	34	15 execuções de exercício de 1 min em ~ 150 % do VO ₂ máx coxa separados por 3 min de recuperação.
Burgomaster et al	2005	16 sujeitos jovens (2 mulheres e 14 homens) ativos (recreativos)	8	8	Ciclo ergômetro	4 a 6	30s de <i>sprints</i> por 4 min de recuperação em um tempo total de esforço igual a 6min e 56s (<i>sprint "all-out"</i>).
Burgomaster, Heigenhauser e Gibala	2006	16 homens jovens ativos (recreativos)	8	8	Ciclo ergômetro	6	4 a 7 <i>sprints</i> de 30s / 4 min de recuperação (<i>sprint "all-out"</i>).
Di Pietro et al	2006	25 mulheres (≥ 60 anos), saudáveis	7 BI / 9 MI	9	mini -trampim, esterira, ergômetro de remo e alongamento para grupo de baixa intensidade	144	Tempo de exercício necessário para gastar 300 kcal / sessão (estimada a partir de VO ₂ pico e peso corporal) para Alta Intensidade (80% VO ₂ máx) e Intensidade Moderada (MI) (65% VO ₂ máx) e 45 min de exercício para Baixa Intensidade (BI) (50% VO ₂ máx).
Edge, Bishop e Goodman	2006	16 mulheres ativas, praticantes de esportes coletivos de forma recreativa	8 continuo	8	Ciclo ergômetro	15	6 a 10 <i>sprints</i> de 2min / 1 min de recuperação (HIT) e 80% a 85% do Limiar de Lactato (Continuo).
Burgomaster et al	2007	8 homens ativos		8	Ciclo ergômetro	18	4 a 6 <i>sprints</i> de 30s/ 4 min de recuperação (<i>sprint "all-out"</i>).
Talanian et al	2007	8 mulheres jovens ativas (recreativas)		8	Ciclo ergômetro	7	4 a 6 <i>sprints</i> de 4min de no mínimo a 90% VO ₂ pico com 2 min de recuperação
Trapp	2007	16 mulheres jovens (8 treinadas - atletas e 8 ativas de forma recreacional)		16	Ciclo ergômetro	1	2 séries de exercícios de alta intensidade (" <i>all out</i> ") intermitente: <i>sprints</i> curtos (8s <i>sprint</i> com 12s de recuperação) e corrida longa (24s <i>sprint</i> com 36 s de recuperação) por 20 min em duas ocasiões distintas.
Irving et al	2008	8 filhos, adultos saudáveis e mãe com diabetes tipo 2 e 8 sujeitos não diabetico		16	Ciclo ergômetro	9	Diariamente por 9 dias consecutivos. As sessões de treinamento consistiu de dias de exercício contínuo e HIT de forma alternada. Contínuo = 70-80% VO ₂ de pico para 60 min. HIT = 6 <i>sprints</i> de 5 min a 85-95% VO ₂ pico, com intervalos de recuperação de 3 min a 30-50% VO ₂ máx .
Rakobowchuk et al	2008	20 jovens saudáveis e não treinados (10 homens e 10 mulheres)	10 continuo	10	Ciclo ergômetro	18	Continuo = 40-60 min a 65 % VO ₂ máx) 5 dias / semana . HIT = 30 -s " <i>all- out</i> " testes de Wingate (<i>sprint "all-out"</i>) separados por 4,5 min de recuperação.
Bracken, Linname e Books	2009	12 homens saudáveis -não treinados	6	6	Ciclo ergômetro	1	10 <i>sprints</i> de 6s / 30s de recuperação (<i>sprint "all-out"</i>).
Babraj et al	2009	25 homens jovens ativos saudáveis (recreativos) e sedentários	9	16	Ciclo ergômetro	6	4 a 6 <i>sprints</i> de 30s/ 4 min de recuperação (<i>sprint "all-out"</i>).

Tabela 1 – Característica dos estudos de HIT em análise, realizados entre 2000 a 2012

(Conclusão)

Autor	Ano	Genero / Sujeitos	"n"		Teste	Nº de Sessões	Protocolo Prescrição
			Controle	HIT			
Richards et al	2010	31 Adultos saudáveis (homens e mulheres) sedentários e ativos (recreativos)		31	Ciclo ergômetro	6 e 1	6 sessões de 4 a 7 sprints de 30s com intervalo de 4 min e apenas uma sessão de 4 sprints de 30s com 4 min de recuperação (9** grupo especial) (<i>sprint "all-out"</i>).
White, Gill e Cathcart	2010	10 homens jovens sedentários com sobrepeso/obeso		10	Ciclo ergômetro	6	4 a 6 sprints de 30s/ 4, 5 min de recuperação (<i>sprint "all-out"</i>).
Hood et al	2011	4 homens e 3 mulheres sedentários		7	Ciclo ergômetro	6	10 sprints de 1 min / 1min de recuperação (~ 80% -95% da FC de reserva).
Little et al	2011	8 pacientes com diabetes mellitus tipo 2		8	Ciclo ergômetro	6	10 sprints de 1min ~ 90% da FC _{max} , com intervalo de repouso de 1 min.
Araújo et al	2012	30 crianças obesos (homens e mulheres)	15 continuo	15	Esteira	24	Continuo = 30 min a 80% da FC _{max} , com aumento de 10min, a cada 3 semanas, até um total de 60min. HIT = de 3 a 6 sprints conforme o decorrer das semanas de treinamento com 1min de <i>sprint</i> a 100% da velocidade de pico por 3 min de recuperação a 50% da velocidade de pico.
Heydari, Boutcher e Boutcher	2012 a	38 homens jovens saudáveis e sedentários	18	20	Ciclo ergômetro	36	20min (80 a 90 FC _{max} 80-90% da sua com uma cadência entre 120 e 130 rpm.) de 8s sprints por 12s de recuperação.
Heydari, Boutcher e Boutcher	2012 b	34 homens jovens com sobrepeso	17	17	Ciclo ergômetro	36	20min (80 a 90 FC _{max} 80-90% da sua com uma cadência entre 120 e 130 rpm.) de 8s sprints por 12s de recuperação.

Fonte: Estudos publicados em base de dados de saúde (LILAC, IBECs, MEDLINE, Biblioteca Cochrane, Scielo e Pubmed no período de 2000 a 2012.

Os principais achados deram-se nos periódicos “*The Journal of Physiology*”, “*American Journal of Physiology*” e “*Journal of Applied Physiology*”, elaborados pelo Departamento de Cineantropometria da *Mc Master University*, Hamilton, Canadá. Onze artigos e um Livro foram utilizados como fonte de pesquisa ¹ a fim de realizar a contextualização didática fisiológica do estudo, não sendo utilizado como critério de análise. A coleta de dados foi realizada entre agosto e início de setembro de 2013.

¹ “Tratado de Fisiologia do Trabalho: bases fisiológicas do exercício” de Astrand, Rodahl, Dahl e Stromme (2006).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ADAPTAÇÕES ENDÓCRINAS

3.1.1 Catecolaminas Plasmáticas

Uma característica importante do HIT é o aumento da atividade da glândula adrenal durante a liberação de catecolaminas (noradrenalina, adrenalina e dopamina) (TRAPP; CHISHOLM; BOUTCHER, 2007), especialmente de adrenalina, exercendo relevante ação sobre a lipólise tanto por via subcutânea quanto intramuscular (GALBO et al.,1976). Durante o HIT, Bracken, Linnane e Brooks (2009) observaram que há um aumento gradual de noradrenalina, atingindo valores 14,5 vezes maiores que a sua linha de base, bem como a adrenalina, que atingiu valores 6,3 vezes maiores que em seu estado de repouso, para o mesmo protocolo de exercícios (10 *sprints* de 6 segundos (s) por 30s de repouso). Isso proporciona um aumento nos níveis de ácidos graxos livres (AGL) por meio da estimulação da lipase, ocasionando a ocorrência da Lipólise (GALBO et al.,1976), o que leva a uma maior concentração plasmática de AGL, fator determinante na taxa de utilização lipídica no metabolismo oxidativo (TRAPP; CHISHOLM; BOUTCHER, 2007). Tradd, Chisholm e Boutcher (2007) descrevem que concentrações de glicerol foram mantidas acima dos níveis basais em HIT (24s *sprint*, 24s de recuperação, embora fosse mais baixa em *sprints* curtos de 8s *sprint*, 12s de recuperação), e isso poderia ser resultado de concentrações mais elevadas de adrenalina.

Nos estudos de Talanian et al (2007), por sua vez, concentrações plasmáticas de adrenalina foram aumentadas durante as primeiras sessões de treinamento com o HIT, atenuando suas respostas ao final da sétima sessão. Contudo, observou-se que as concentrações totais de glicerol sanguíneo aumentaram durante todo o treinamento de alta intensidade protocolado (sete sessões). Segundo Greer, Mclean e Graham (1998), concentrações de catecolaminas e de glicerol são concomitantes durante os exercícios de alta intensidade. Essa maior capacidade metabólica oxidativa pela lipólise, mobilização de ácidos graxos como substratos energéticos sobre influência das catecolaminas, pelo HIT, pode induzir maiores alterações na composição corporal (IRVING et al., 2008; WHYTE; GILL; CATHCART, 2010); reduções significativas na gordura

subcutânea e abdominal em jovens com peso normal, em homens um pouco acima do peso, bem como em mulheres (BOUTCHER, 2011); e melhorias semelhantes na rigidez arterial periférica e dilatação fluxo-mediada (RAKOBOWCHUK et al., 2008). No entanto, Whyte, Gill e Cathcart (2010) descrevem a necessidade de intervenção de longo prazo para determinar resultados mais significativos, especialmente em sujeitos sobrepeso e obesos.

3. 2 INSULINA

Babray et al (2009), utilizando-se de um protocolo de HIT em jovens sedentários (homens) por um período de duas semanas (6 sessões de 4 a 6 repetições de 30s por 4 minuto (min) de recuperação), verificou que mesmo com um volume baixo de treinamento de alta intensidade, consegue-se reduzir significativamente a curva de ação da glicose (-12%) e de insulina (-37%). Richards et al (2010), utilizando do mesmo protocolo de HIT, observou um aumento na sensibilidade da insulina. Porém, fatores correlacionados com a ação insulínica como adiponectina e ácidos graxos não esterilizados e fatores derivados do pigmento epitelial não apresentaram correlação significativa, bem como o HIT não afetou o gasto energético de repouso ou a resposta termogênica à estimulação do receptor beta- adrenérgico, analisados no referido estudo.

Numa investigação recente de curto prazo (2 semanas, composto por 6 sessões de 4 a 6 repetições de 30s, com recuperação de 4,5 min entre cada repetição), notou-se que a sensibilidade à insulina (determinada através de um teste de tolerância a glicose por via oral) foi melhorada em homens com sobrepeso e obesos em 24h, mas não em 72h pós treino (WHYTE; GILL; CATHCART, 2010). Esse fato contrapõe-se aos estudos de Babraj et al (2009), utilizando-se de protocolo de treinamento semelhante ao supracitado, que observou melhora substancial da ação contínua da insulina até, pelo menos, três dias após a última sessão de exercício e homeostase da glicose.

As respostas aos treinamentos de alta intensidade de longo prazo descritos por DiPietro et al (2006) proporcionaram benefícios mais duradouros para a ação da insulina em comparação com o exercício de moderada ou baixa intensidade, o que dá credibilidade à suposição de que os exercícios intensos podem induzir adaptações originais sobre a ação muscular especificamente do GLUT4, mesmo que

de curto prazo (BURGOMASTER et al., 2007; LITTLE et al., 2011). Burgomaster et al (2007) relataram um aumento consistente do GLUT4 (aproximadamente 25%) – acima dos valores basais após 6 semanas de HIT, persistindo suas concentrações após seis semanas de destreinamento. Assim como nos estudos de HOOD et al (2011), valores de GLUT 4 total praticamente dobraram em relação a sua linha de base, bem como a sensibilidade à insulina melhorou em 35%, após treinamento de HIT, em duas semanas. Little et al (2011) também observaram melhora substancial no controle glicêmico principalmente nas excursões glicêmicas após refeições em diabéticos 2, reduzindo em apenas 2 semanas a glicemia média e a área sob a curva da glicose (medidos sob condições alimentares padronizados de aproximadamente 48 a 72h após a última sessão de treinamento de HIT).

Percebe-se que o HIT provoca mudanças substanciais na sensibilidade à insulina, o que foi observado após treinamento de *endurance* (resistência de alto volume) (ARAÚJO et al., 2012), embora tenha sido sugerido que a duração é mais importante do que a intensidade quando se prescrevem exercício para melhorar a sensibilidade à insulina (HOUMARD et al., 2004). Além disso, nos trabalhos citados, foram observadas melhoras significativas do controle glicêmico, em distintas populações, adulto de meia idade (HOOD et al., 2011), idosos (DIPIETRO et al., 2006), jovens sedentários (BABRAJ et al., 2009), sobrepeso / obesos (WHYTE; GILL; CATHCART, 2010), crianças obesas (ARAÚJO et al., 2012), sedentários / recreativos ativos (RICHARDS et al., 2010), bem como em diabéticos (LITTLE et al., 2011). Desse modo, pode-se concluir que o HIT pode representar uma estratégia de exercício eficiente / tempo a fim de melhorar o controle metabólico do músculo esquelético e a regulação da glicemia em distintas populações.

3.3 CAPACIDADE OXIDATIVA DA MUSCULATURA ESQUELÉTICA

Trapp, Chisholm e Boutcher (2007) descrevem que o exercício de alta intensidade resulta em elevações significativas das concentrações de glicerol (marcador da lipólise). “As concentrações plasmáticas lipídicas aumentaram ao longo de 20 min de HIT (8s sprint, 12s de recuperação / 12s sprint, 24s de recuperação)”. Estes dados correlacionam-se aos estudos de Talanain et al (2007), devido a observação do efeito do HIT (7 sessões, de 4 a 6 repetições de 4min com recuperação de 2 min), durante o teste de ciclismo de 60min a 60% VO₂pico,

constatando que a oxidação total de gordura aumentou em 36% ($15,0 \pm 2,4$ g vs $20,4 \pm 2,5$ g), assim como, houve uma diminuição recíproca em toda a oxidação de carboidratos corporal em 30, 45 e 60 min. A oxidação total de carboidratos diminuiu em 23% ($80,7 \pm 2,2$ g vs $62,1 \pm 1,4$ g). Taxas de oxidação de gordura e carboidrato após 24h de intervenção do HIT (6 sessões) foram maiores e menores respectivamente relatadas nos estudos Whyte, Gill e Cathcart, 2010), compreendendo-se que as adaptações da capacidade oxidativa da musculatura esquelética ocorrem durante e após as intervenções do HIT.

Essas mudanças na capacidade oxidativa muscular e esquelética estão relacionadas ao aumento da capacidade de oxidação do piruvato via piruvato desidrogenase (PHD) (HARMER et al., 2000; BURGOMASTRE, HEIGENHAUSER; GILBALA, 2006); ao aumento também da atividade enzimática da citrato sintase (cs) (BURGOMASTRE, HEIGENHAUSER; GILBALA, 2006; IRVING et al., 2008; LITTLE et al., 2011; HOOD et al., 2011), ao teor proteico do citocromo c oxidase subunidade 4 (COX4) (BURGOMASTER et al., 2007; HOOD et al., 2011), ao aumento do conteúdo proteico de várias subunidades dos complexos da cadeia de transporte de elétrons (LITTLE et al., 2011), bem como pela expressão de proteínas ligadas a essas respostas adaptativas pelo PGC-1 (alpha) (HOOD et al., 2011).

Cabe ressaltar que o COX 4 aumenta aproximadamente 35% após uma semana de exercícios de alta intensidade, permanecendo superior em comparação a sua linha de base, mesmo depois de 6 semanas de destreinamento ($P < 0,05$) (BURGOMASTER et al., 2007). Contudo, não foi verificado efeito do HIT sobre as proteínas de transporte de ácidos graxos muscular, FABPpm ou FAT/CD36 (BURGOMASTER et al., 2007), bem como não houve mudanças na 3 hidróxiacil – CoA desidrogenase (HAD), o que sugere que HIT de curto prazo (6 sessões) não estimula um aumento coordenado em todas as enzimas mitocondriais (BURGOMESTRE, HEIGENHAUSER; GILBALA, 2006).

Para Burgomastre et al (2005 e 2006), a capacidade oxidativa do músculo pode aumentar após um protocolo de HIT de aproximadamente 15 min de exercício intenso durante seis sessões de treino em 2 semanas, ao longo de um total de compromisso de aproximadamente 2h30min. O HIT de curto prazo (6 semanas), nesse sentido, potencializa estímulos de forma a ampliar a capacidade mitocondrial, proporcionando um aumento da biogênese aeróbia (LITTLE et al., 2011; HOOD et al., 2011). HOOD et al (2011), por sua vez, descrevem que a alta intensidade de

treinamento intervalado aumenta a capacidade oxidativa do músculo esquelético semelhante ao treinamento de resistência tradicional, apesar de um volume total de exercício baixo. Comparações diretas de HIT de baixo volume e treinamento de resistência de alto volume sugerem que ambos os protocolos podem levar a um aumento equivalente em conteúdo mitocondrial muscular e ao desempenho físico de resistência (GIBALA et al., 2006; BURGOMASTER et al., 2007)

A investigação sobre os efeitos metabólicos do HIT na musculatura esquelética, em especial, na capacidade oxidativa são relatadas por distintos autores – Harmer et al (2000) Burgomaster, Heigenhauser e Gibala (2006), Talanain et al (2007), Trapp et al (2007), Burgomaster et al (2007) e Hood et al (2011). Não obstante, apenas Hood et al (2011) direcionaram seus estudos para uma população de meia idade, distintamente dos outros autores que se utilizaram de sujeitos jovens para a intervenção com o HIT, não deixando claro se as adaptações na capacidade oxidativa da musculatura esquelética poderiam trazer benefícios em distintas populações.

3.4 SUBSTRATO ENERGÉTICO E EFEITO DE TAMPONAMENTO NO HIT

Quando o indivíduo se exercita intermitentemente por custos períodos (nesse caso de 10s com intervalo de 20 s) sob uma carga de trabalho extremamente alta, o metabolismo aeróbio é aparentemente adequado, apesar do transporte insuficiente de oxigênio diante do início repentino da atividade. Aos poucos ocorre vasodilatação da musculatura ativa, o que aumenta o suprimento sanguíneo. Ademais, o estoque de oxigênio da hemoglobina pode ser consumido durante a carga de exercício. No período seguinte de repouso, esse depósito é reabastecido com oxigênio (ASTRAND, RODAHL; STROMME, 2006).

Saltin, Essen e Pederson (1976), durante protocolo intermitente de exercício de 5 a 20s de duração com intervalos curtos de repouso (aproximadamente 20s), observaram reduções nas concentrações de trifosfato de adenosina (ATP) e de fosfocreatina (CP), as quais, no entanto, são reabastecidas durante períodos de repouso, evidentemente por processos aeróbios. Essa ressíntese de ATP - CP está diretamente relacionada ao consumo de oxigênio (VO_2), uma vez que, durante a recuperação, o consumo de oxigênio é elevado para ajudar a restaurar as reservas energéticas, podendo sugerir-se que não só o desempenho melhora nos tiros curtos,

mas também a eficiência na recuperação entre cada estímulo (TOMLIN & WENGER, 2001). Esse processo, para Harmer et al (2000), resulta na redução da geração de ATP anaeróbio durante o HIT, sugerindo que o metabolismo aeróbio possa ser reforçado, permitindo o aumento do tempo de fadiga. Do mesmo modo, para Burgomaster, Heigenhauser e Gibala (2006), há uma menor solicitação glicolítica relacionada a uma maior reposição dos substratos ATP e PC, juntamente com aumento do citrato muscular.

Em contraposição, quando esforços repetidos de alta intensidade são intercalados com curtos períodos de descanso, estímulos de exercícios subsequentes começam com um pH muito menor (ASTRAND, RODAHL; STROMME, 2006). Por conseguinte, cada intervalo de exercícios posterior ao estímulo inicial terá sido realizado com uma relevante tensão sobre os mecanismos envolvidos na regulação do pH (EDGE, BISHOP; GOODMAN, 2005). Nota-se, nesse sentido, a necessidade de um intervalo “ótimo” em função de um dado objetivo. Critérios de discussão ainda estão em debate nos protocolos de exercícios do HIT, principalmente quando é avaliada a capacidade de tamponamento muscular (βm *in vitro*) (HARMER, et al., 2000; EDGE, BISHOP; GOODMAN, 2005).

A quebra dos compostos fosforados ricos em energia, o ATP e a CP, portanto, é certamente anaeróbia e essencial. Seu papel quantitativo, por outro lado, é limitado. Assim, a quebra anaeróbia do glicogênio (glicogenólise) e de glicose (glicólise) até lactato apresenta potencial relevante para suportar os processos aeróbios quando esses não podem proporcionar energia suficiente para produção de ATP. Contudo, há um aumento na acidose, pela liberação de íons de hidrogênio (H^+) (ASTRAND, RODAHL; STROMME, 2006).

A acidose é proporcionada pela hidrólise do ATP, resultando em ADP (adenosina difosfato), fosfato inorgânico e H^+ . Com o aumento da intensidade do exercício, aumenta também o processo de hidrólise do ATP, o qual libera energia para a contração muscular, concomitantemente ocorre a liberação de H^+ . Essa liberação do íon H^+ é fator determinante por uma queda do pH intracelular, aumentando a acidose (ASTRAND, RODAHL; STROMME, 2006). A acidose intracelular pode prejudicar o desempenho de tiros realizados de maneira repetida via inibição da glicogenólise/glicólise, ressíntese de CP e/ou interferência com o processo de contração muscular, reduzindo a sensibilidade das proteínas miofibrilares ao Ca^{2+} como resultado de uma queda do pH (CHIN; ALLEN, 1998).

Destarte, os sistemas de tamponamento intra e extracelulares atuam na redução dos íons H^+ na musculatura durante esforços intensos. Aparentemente, há um aumento total da capacidade de transporte de H^+ , estimada a partir da crescente densidade de Na^+ / H^+ , isoforma (NHE1) e MCTs (MCT1 E MCT4)² (15%), relacionando a uma melhora da capacidade de tamponamento muscular (βm *in vitro*.) (JUEL et al., 2004).

Edge, Bishop e Goodman (2006), objetivando investigar os efeitos de dois métodos distintos de treinamento em jovens (a) ativos ³, pareados em trabalho total (volume de treinamento), com o propósito de compreender βm *in vitro*, verificaram que no grupo HIT a βm *in vitro*, melhorou de forma significativa (25%, $123 \pm 7 \pm 5-153 \text{ mmol } H^+ \cdot g \text{ músculo } dm^{-1} \cdot pH^{-1}$, $P < 0,05$), em relação ao treinamento moderado contínuo (2% e $130 \pm 12-133 \pm 7 \text{ mmol } H^+ \cdot g \text{ muscular } dm^{-1} \cdot pH^{-1}$, $P > 0,05$). Contudo ocorreu um aumento significativo do limiar de lactato para ambos os protocolos de treinamento, com a [Lac] média no final de uma sessão de treinamento típica de $16,1 \pm 4,0 \text{ mmol.l}^{-1}$ para o grupo HIT e $5,1 \pm 3,0 \text{ mmol.l}^{-1}$ para o grupo CON. Sugerindo, desse modo, que a intensidade do treinamento é um determinante importante das alterações βm *in vitro*.

Em contraposição, estudos de Harmer et al (2000), utilizando-se do protocolo de alta intensidade (7 semana, 3x por semana de 4 a 10 repetições de 30 s de estímulo por 3 a 4 mim de intervalo (descanso passivo), não encontraram nenhuma mudança na βm *in vitro* e na concentração de íons H^+ . Segundo os autores, os índices do metabolismo anaeróbico não foram aumentados durante o exercício exaustivo após treinamento, apesar do aumento da duração do exercício, o que sugere importantes adaptações aeróbicas no desempenho após HIT.

Em síntese, a literatura do HIT, ainda está prestes a debater suas reais transformações adaptativas da musculatura esquelética. Encontram-se distintos resultados para uma dada variável, βm *in vitro*, assim como apontam um delineamento sobre os principais rearranjos energéticos em relação à execução dos protocolos de alta intensidade intermitentes.

² Em suma estes transportadores contribuem para a regulação do pH durante atividade muscular intensa, enquanto regulação de pH em repouso é principalmente dependente de um efluxo de H^+ mediado pelo NEE1, sistema de transporte ou troca envolvendo bicarbonato (JUEL et al., 2004).

³ Dentre esses jovens, um de intensidade moderada contínua (CON) (80-95% do limiar de lactato) e outro de alta intensidade - HIT (6 a 10 repetições por 2 min a 120 – 140% do limiar de lactato com 1 mim de descanso).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que ainda há interessantes aspectos a serem explorados sobre os efeitos do HIT, mas as evidências crescentes sugerem que esse tipo de treinamento estimula a remodelação fisiológica e metabólica, apesar de um compromisso de tempo substancialmente menor e redução do volume total do exercício, podendo ser uma estratégia alternativa de exercício para a melhoria da saúde cardiometabólica. Enquanto as observações preliminares são intrigantes, os estudos em grande escala e longitudinais são claramente necessários para resolver se o HIT de baixo volume é uma realidade que permitirá recomendações baseadas em evidências, sendo uma alternativa para prescrições de protocolos de exercícios para distintas populações, independentemente da idade, do estado de saúde ou do gênero.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, C. A. C.; ROSCHEL, H.; PICANÇO, A. R.; PRADO, D. M.; VILLARES, S. M.; SÁ PINTO A. L.; GUALANO, B. Similar health benefits of endurance and high intensity interval training in obese children. **PLoS One**. v. 7, e 42747, august, 2012. Disponível em: (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3412799/>). Acesso em agosto de 2013.

ASTRAND P.; RODAHL K.; DAHL H. A.; STROMME S. B. **Tratado de Fisiologia do Trabalho: bases fisiológicas do exercício**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 221 - 224p.

BABRAJ, J. A.; VOLLARD, N. B. J.; KEAST, C.; GUPPY, F. M.; COTTRELL, G.; TIMMONS, J. A. Extremely short duration high intensity training substantially improves insulin action in young sedentary males. **BMC Endocrine Disorders**, v. 9, p. 1-8, 2009. Disponível em: (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2640399/>). Acesso em agosto de 2013.

BOUTCHER, S. H. High-Intensity Intermittent Exercise and Fat Loss. **Journal of Obesity**, v. 2011, p. 1-10, 2011. Disponível em: (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2991639/>). Acesso em setembro de 2013.

BRACKEN, R. M.; LINNANE, D. M.; BROOKS, S. Plasma catecholamine and neprine responses to brief intermittent maximal intensity exercise. **AminoAcids**. v. 36, p. 209–217, 2009. Disponível em: (<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00726-008-0049-2/fulltext.html>). Acesso em agosto de 2013.

BURGOMASTER, K. A.; CERMAK, N. M.; PHILLIPS, S. M.; BENTON, C. R.; BONEN, A.; GIBALA, M. J. Divergent response of metabolite transport proteins in human skeletal muscle after sprint interval training and detraining. **American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**Published, v. 292, p. R1970- 1976, 2007. Disponível em: (<http://ajpregu.physiology.org/content/292/5/R1970>). Acesso em agosto de 2013.

BURGOMASTER, K. A.; HEIGENHAUSER, G. J. F.; GIBALA, M. J. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, p. 2041-2047, 2006. Disponível em: (<http://jap.physiology.org/content/100/6/2041.full?sid=1001627c-9258-4668-a01a-5101a9f133c8>). Acesso em agosto de 2013.

BURGOMASTER, K. A.; HUGHES, S. C.; HEIGENHAUSER, G. J. F.; BRADWELL S. N.; GIBALA, M. J. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 98, p. 1985-1990, 2005. Disponível em : (<http://jap.physiology.org/content/98/6/1985.full>). Acesso em agosto de 2013

BURGOMESTRE, K. A.; HOWARTH, K. R. ; PHILLIPS, S. M.; RAKOBOWCHUK, M.; MACDONALD M. J.; MCGEE S. L.; GIBALA, M. J. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval training and traditional endurance training in humans. *The Journal of Physiology*. v. 586, p. 151-60, 2008. Disponível em: (<http://jp.physoc.org/content/586/1/151.long>). Acesso em agosto de 2013.

CHIN, E. R.; ALLEN, D. G. The contribution of pH dependent mechanisms to fatigue at different intensities in mammalian single muscle fibers. **The Journal of Physiology**, v. 512, p. 831-840, 1998. Disponível em: (<http://jp.physoc.org/content/512/3/831.long>). Acesso em setembro de 2013.

DIPIETRO, L.; DZIURA, J.; YECKEL, C. W.; NEUFER, P. D. Exercise and improved insulin sensitivity in older women: evidence of the enduring benefits of higher intensity training. **Journal of Applied Physiology**. v. 100, p. 142–149, 2006. Disponível em: (<http://jap.physiology.org/content/100/1/142.long>). Acesso em agosto de 2013.

EDGE, J.; BISHOP, D.; GOODMAN, C. The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. **European Journal of Applied Physiology**, v. 96, p. 97-105, 2006. Disponível em: (<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00421-005-0068-6/fulltext.html>). Acesso em agosto de 2013.

GALBO, H.; HOLST, J. J.; CHRISTENSEN, N. J.; HILSTED, J. Glucagon and plasma catecholamines during beta – receptor blockade in exercising man. **Journal of Applied Physiology**. v. 40, p. 855-863, 1976. Disponível em: (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/931921>). Acesso em agosto de 2013.

GIBALA, M. J, LITTLE J. P.; VAN ESSEN M.; WILKIN, G. P.; BURGOMASTER, K.A.; SAFDAR, A.; RAHA, S, TARNOPOLSKY, M. A. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. **The Journal of Physiology**, v. 575, p. 901-911, 2006. Disponível em: (<http://jp.physoc.org/content/575/3/901.long>). Acesso em setembro de 2013.

GIBALA, M. J.; LITTLE, J. P.; MACDONALD, M. J.; HAWLEY, J. A. Physiological adaptations to low-volume, high intensity interval training in health and disease. **the Journal of Physiology**, v. 590, p. 1077-1084, 2012. Disponível em: (<http://www.jphysiol.org/cgi/pmidlookup?view=long&pmid=22289907>). Acesso em setembro de 2013.

GIBALA, M. J.; MCGEE, S. L. Metabolic Adaptations to Short-term High-Intensity Interval Training: A Little Pain for a Lot of Gain? **Exercise and Sport Sciences Reviews**. v. 36, p. 58-63, 2008. Disponível em: (<http://journals.lww.com/acsm-essr/pages/articleviewer.aspx?year=2008&issue=04000&article=00003&type=abstract>). Acesso em agosto de 2013.

GREER, F.; MCLEAN, C.; GRAHAM, T. E. Caffeine, performance, and metabolism during repeated Wingate exercise tests. **Journal of Applied Physiology**. v. 85, p.

1502–1508, 1998. Disponível em: (<http://jap.physiology.org/content/85/4/1502.full>). Acesso em agosto de 2013.

HARMER, A. R.; MCKENNA, M. J.; SUTTON, J. R.; SNOW, R. J.; RUELL P. A.; BOOTH, J.; THOMPSON, M. W.; MACKAY, N. A.; STATHIS, C.G.; CRAMERI R.M.; CAREY M.F.; EAGER D.M. Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. **Journal of Applied Physiology**. v. 89, p. 1793-1803, 2000. Disponível em: (<http://jap.physiology.org/cgi/pmidlookup?view=long&pmid=11053328>). Acesso em setembro de 2013.

HEYDARI, M.; BOUTCHER, Y. N.; BOUTCHER, S. H. High-intensity intermittent exercise and cardiovascular and autonomic function. *Clinical Autonomic Research*, v. 23, p. 57 – 65, 2012 (a). Disponível em: (<http://dx.doi.org/10.1007/s10286-012-0179-1>). Acesso em setembro de 2013.

HEYDARI, M.; BOUTCHER, Y. N.; BOUTCHER, S. H. The effects of high-intensity intermittent exercise training on cardiovascular response to mental and physical challenge. **International Journal of Psychophysiology**, v. 87, p. 141–146, 2012 (b). Disponível em: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167876012006733>) Acesso em agosto de 2013. b

HOOD, M. S.; LITTLE, J. P.; TARNOPOLSKY, M. A.; MYSLIK, F, GIBALA, M. J. Low -volume interval training improves muscle oxidative capacity in sedentary adults. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 43, p. 1849-56, 2011. Disponível em: (<http://journals.lww.com/acsm-msse/pages/articleviewer.aspx?year=2011&issue=10000&article=00005&type=abstract>). Acesso em setembro de 2013.

HOUMARD, J. A.; TANNER, C. J.; SLENTZ, C. A.; DUSCHA, B. D.; MCCARTNEY, J. S.; KRAUS W. E. Effect of the volume and intensity of exercise training on insulin sensitivity. *Journal of Applied Physiology*, v. 96, p. 101-106, 2004. Disponível em: (<http://jap.physiology.org/content/96/1/101.long>). Acesso em setembro de 2013.

IRVING, B. A.; SHORTK R.; NAIR, K. S.; STUMP, C. S. Nine Days of Intensive Exercise Training Improves Mitochondrial Function But Not Insulin Action in Adult Offspring of Mothers with Type 2 Diabetes. **The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism** v. 96, p. E1137-1141, 2011. Disponível em: (<http://jcem.endojournals.org/content/96/7/E1137.full>). Acesso em agosto de 2013.

JUEL, C; KLARSKOV, C; NIELSEN, J. J; KRUSTRUP, P; MOHR, M; BANGSBO, J. Effect of highintensity intermittent training on lactate and H⁺ release from human skeletal muscle. **American Journal Physiology Endocrinology and Metabolism**. 2004 v. 286, p. E245-51, 2004. Disponível em: (<http://ajpendo.physiology.org/content/286/2/E245>). Acesso em agosto de 2013.

LITTLE, J. P.; GILLEN, J. B.; PERCIVAL, M. E.; SAFDAR, A, TARNOPOLSKY, M. A.; PUNTHAKEE, Z, JUNG, M. E.; GIBALA, M. J. Low-volume high-intensity interval

training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. **Journal of Applied Physiology**, v. 111, p. 1554-1560, 2011. Disponível em: (<http://jap.physiology.org/content/111/6/1554.full>). Acesso em agosto de 2013.

RAKOBOWCHUK, M.; TANGUAY, S.; BURGOMESTRE, K. A.; HOWARTH, K. R.; GIBALA, M. J.; MACDONALD M. J. Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. **American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**. V. 295, p. 236-242, 2008. Disponível em: (<http://ajpregu.physiology.org/cgi/pmidlookup?view=long&pmid=18434437>). Acesso em agosto de 2013.

RICHARDS, J. C.; JOHNSON, T. K.; KUZMA, J. N.; LONAC, M. C.; SCHWEDER, M. M, VOYLES W.F BELL, C. Short-term sprint interval training increases insulin sensitivity in healthy adults but does not affect the thermogenic response to beta-adrenergic stimulation. **The Journal of Physiology**, v. 588, p.2961-2972, 2010. Disponível em: (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2956910/>). Acesso em agosto de 2013

SALTIN, B.; ESSEN, B.; PEDERSEN, P. K. 2007. **Intermittent Exercise**: its physiology and some practical application. In *Advances in exercise physiology*, ed. JOKL, E.; ANAND, R. L.; STOBOY, H. P. 23-51. Basel: Karger.

TALANIAN, J. L.; GALLOWAY, S. D.; HEIGENHAUSER, G. J.; BONEN, A.; SPRIET, L. L. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal de Applied Physiology* v. 102, p. 1439-1447, april 2007. Disponível em: (<http://jap.physiology.org/content/102/4/1439.long>). Acesso em agosto de 2013.

TOMLIN, D. L.; WENGER, H. W. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. **Sports Medicine**, v. 31, p. 1-11, 2001. Disponível em: (<http://web.ebscohost.com/ehost/detail?sid=3a619eef-4520-4311-813d-b7f215e1a3a4%40sessionmgr198&vid=1&hid=114&bdata=Jmxhbm9c9cHQtYnlmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=s3h&AN=SPHS-671522>). Acesso em agosto de 2013.

TRAPP, E. G.; CHISHOLM, D. J.; BOUTCHER, S. H. Metabolic response of trained and untrained women during high-intensity intermittent cycle exercise. **American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology** v. 293, p. 2370-5, 2007. Disponível em: (<http://ajpregu.physiology.org/content/293/6/R2370>). Acesso em agosto de 2013.

WHYTE, L. J.; GILL, J. M.; CATHCART, A. J. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. **Metabolism Clinical and Experimental**, v. 59, p. 1421-1428, 2010. Disponível em: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002604951000017X>). Acesso em setembro de 2013.