



EFEITOS CRÔNICOS DO TREINAMENTO DE EXERCÍCIOS INTERMITENTES DE ALTA INTENSIDADE

Rodrigo Monteiro da Fonseca

Renato Barroso

Bruno Marques Fernandes Pivetti

Fernando Seabra

Renê Drezner

Emerson Franchini

Universidade de São Paulo – Brasil

Resumo: Esta revisão procurou organizar o conhecimento produzido sobre os efeitos crônicos dos exercícios intermitentes de alta intensidade. Existem três tipos de adaptações crônicas causadas pelo exercício intermitente de alta intensidade: as adaptações funcionais, as metabólicas e as morfológicas. No caso das adaptações funcionais é possível encontrar uma quantidade satisfatória de informações, as quais permitem uma maior extrapolação para fins práticos. Porém, no que diz respeito às adaptações metabólicas, há carência da avaliação de mais parâmetros como a influência da duração e da intensidade dos esforços e dos intervalos de recuperação. Já no âmbito das adaptações morfológicas apenas um estudo investigou a alteração na área de secção transversa da fibra muscular com a maioria avaliando apenas a mudança fenotípica.

Palavras-chave: treinamento intermitente, efeito crônico, exercício.

TITLE: CHRONIC EFFECTS OF HIGH-INTENSITY INTERMITTENT EXERCISES

Abstract: The purpose of this review was to identify the chronic effects of high-intensity intermittent exercises. There are three levels of adjustments due to training involving this type of exercise: functional, metabolic and morphological adjustments. Considering functional adjustments, it is possible to find a satisfactory amount of information, which may be applied to the practical field. On the other hand, there is a lack of information regarding the metabolic adjustments, particularly about the effects of exercise's duration, intensity, and rest interval. Only one study investigated the morphological adjustments caused by high-intensity intermittent exercises with most of them looking at changes in skeletal muscle phenotype.

Keywords: intermittent training, chronic effect, adjustments.

INTRODUÇÃO

Na literatura científica vigente nos deparamos com trabalhos acerca dos efeitos agudos do exercício intermitente de alta intensidade (McCARTNEY, SPRIET HEIGENHAUSER, KOWALCHUK, SUTTON & JONES, 1986; BOGDANIS, NEVILL, & LAKOMY, 1994; HARGREAVES, McKENNA, JENKINS, WARMINGTON, LI, SNOW & FEBBRAIO, 1998; BISHOP, EDGE & GOODMAN, 2004). No entanto, as adaptações crônicas inerentes a um programa de treinamento envolvendo exercícios intervalados intensos são menos claras (EDGE, BISHOP, GOODMAN & DAWSON, 2005; NEVILL, BOOBIS, BROOKS &

WILLIAMS, 1989; JACOBS, ESBJORNSSON, SYLVEN, HOLM & JANSSON, 1987; ØRTENBLAD, LUNDE, LEVIN, ANDERSEN, PREBEN & PEDERSEN, 2000; DAWSON, FITZSIMONS, GREEN, GOODMAN, CAREY & COLE, 1998; HARRIDGE, BOTTINELLI, CANEPARI, PELLEGRINO, REGGIANI, ESBJORNSSON, BALSOM & SALTINI, 1998; JANSSON, ESBJORNSSON, HOLM & JACOBS, 1990). A maioria dos trabalhos publicados nesta área refere-se basicamente a três tipos de adaptações no organismo decorrentes deste tipo de treino, as quais podem ser funcionais, metabólicas e morfológicas.

As adaptações funcionais do organismo aos estímulos crônicos de exercícios intermitentes de alta intensidade relacionam-se ao aumento da capacidade de desempenho da tarefa proposta. BILLAT (2001) em sua revisão de literatura indica uma tendência de melhora do consumo máximo de oxigênio ($VO_{2\text{ MAX}}$) decorrente de um programa de treino intervalado de alta intensidade. Ainda, as vertentes de potência pico e média (NEVILL, BOOBIS, BROOKS & WILLIAMS, 1989), o trabalho total (SIMONEAU, LORTIE, BOULAY, MARCOTTE, THIBAUT & BOUCHARD, 1986) e o tempo para exaustão (MEDBØ & BURGERS, 1989) são também freqüentemente utilizadas como preditores de rendimento.

No que concerne às variáveis metabólicas avaliadas para estabelecer as adaptações induzidas ao organismo neste tipo de trabalho, as atividades de algumas enzimas chaves no metabolismo anaeróbico (SIMONEAU, LORTIE, BOULAY, MARCOTTE, THIBAUT & BOUCHARD, 1986), concentração de ATP e CP no músculo (NEVILL, BOOBIS, BROOKS & WILLIAMS, 1989), de lactato sanguíneo e muscular, a concentração de íons de hidrogênio sanguíneo e muscular (EDGE, BISHOP, GOODMAN & DAWSON, 2005) e o metabolismo do cálcio no retículo sarcoplasmático (ØRTENBLAD, LUNDE, LEVIN, ANDERSEN & PEDERSEN, 2000) são comumente analisados.

Por último, temos as modificações morfológicas nas fibras musculares decorrentes de um programa de treino intermitente de alta intensidade. Para quantificar tais mudanças, os autores têm avaliado as alterações na tipologia de fibras musculares e mensurado a área de secção transversa das fibras por meio da técnica de biópsia muscular (JACOBS, ESBJORNSSON, SYLVEN, HOLM & JANSSON, 1987; ØRTENBLAD, LUNDE, LEVIN, ANDERSEN, PREBEN & PEDERSEN, 2000; DAWSON, FITZSIMONS, GREEN, GOODMAN, CAREY & COLE, 1998; HARRIDGE, BOTTINELLI, CANEPARI, PELLEGRINO, REGGIANI, ESBJORNSSON, BALSOM & SALTINI, 1998; JANSSON, ESBJORNSSON, HOLM & JACOBS, 1990)

Contudo, poucos trabalhos de revisão objetivaram sintetizar os resultados destes estudos. Assim, o objetivo da presente revisão foi analisar os estudos existentes acerca das adaptações funcionais, metabólicas e morfológicas geradas no organismo de indivíduos fisicamente ativos decorrentes de um programa de treino de exercícios intermitentes de alta intensidade. Além disso, buscamos estabelecer novas diretrizes para condução de novos trabalhos dada algumas lacunas observadas na literatura sobre os efeitos crônicos dos exercícios intermitentes de altas intensidades.

ADAPTAÇÕES FUNCIONAIS

Os estudos das adaptações crônicas provocadas pelo treinamento intermitente têm utilizado preferencialmente o ciclo ergômetro tanto para o treinamento quanto para avaliação (CREER, RICHARD, CONLEE, HOYT & PARCELL, 2004; MCDUGALL, AUDREY, HICKS, MCDONALD, MCKELVIE, GREEN & SMITH, 1998; HARMER, MCKENNA, SUTTON, SNOW, RUELL, BOOTH, THOMPSON, MACKAY, STATHIS, CRAMERY, CAREY & EAGER, 2000; LINOSSIER, DORMOIS, GEYSSANT & LACOUR, 1993; ØRTENBLAD, LUNDE, LEVIN, ANDERSEN & PEDERSEN, 2000) pelo maior controle laboratorial proporcionado nesta condição. Há também alguns estudos que utilizaram corrida como exercício de treino e esteira para as medições laboratoriais (NEVILL, BOOBIS, BROOKS & WILLIAMS, 1989; MEDBØ & BURGERS, 1989).

As variáveis de desempenho mais utilizadas nos estudos com treinamento intermitente de alta intensidade no ciclo ergômetro são potência pico (PP), potência média (PM), trabalho total (TT), tempo para exaustão (TE). Enquanto PP, PM e TT são parâmetros de desempenho em atividades anaeróbias máximas como o teste de Wingate, o TE é um parâmetro da capacidade de trabalho anaeróbia em atividades supramáximas (acima do $VO_{2\text{ MAX}}$) ou aeróbias em atividades submáximas (abaixo do $VO_{2\text{ MAX}}$).

POTÊNCIA PICO, POTÊNCIA MÉDIA, TRABALHO TOTAL E TEMPO PARA POTÊNCIA PICO

Num treinamento de esforços máximos de 30 s por quatro minutos de recuperação ativa com duração de quatro semanas, realizados duas vezes por semana, CREER, RICHARD, CONLEE, HOYT & PARCELL (2004) observaram, em ciclistas, um aumento médio da PP, PM e TT. O número de tiros semanais aumentou de oito para 20 da primeira para a última semana. Contudo, os aumentos da PP e PM não foram diferentes dos obtidos pelo grupo controle. Como ambos os grupos continuaram com seus programas de treinamento, a explicação mais provável é o fato de que o treinamento em condições não-laboratoriais possa ter representado um estímulo diferente entre os grupos afetando o resultado.

MCDUGALL, AUDREY, HICKS, MCDONALD, MCKELVIE, GREEN & SMITH (1998) observaram aumento médio da PP e do TT após sete semanas de treino três vezes por semana, sendo que as diferenças que contribuíram para a melhora do desempenho aconteceram no segundo, terceiro e quarto tiros. Neste estudo os autores aumentaram o volume do treino acrescentando um tiro e diminuíram o tempo de recuperação em 30 s a cada semana – da primeira para a última semana de treino, o número de tiros aumentou de quatro para 10 e o tempo de recuperação entre tiros diminuiu de quatro para dois minutos.

HARMER, MCKENNA, SUTTON, SNOW, RUELL, BOOTH, THOMPSON, MACKAY, STATHIS, CRAMERY, CAREY & EAGER (2000) também promoveram uma progressão semelhante da carga: de quatro tiros de 30 s na primeira semana para 10 tiros na sexta e sétima (última) semanas de um treinamento realizado três vezes por semana. De forma similar aos resultados de MCDUGALL et al. (1998), os autores relatam um aumento da PP e do TT em um único tiro de 30 s. Infelizmente, tiros subseqüentes, como no teste de Wingate não foram realizados.

LINOSSIER, DORMOIS, GEYSSANT & LACOUR (1993) observaram aumento médio da PP e do TT, e uma diminuição do tempo para atingir PP em cada tiro. Neste estudo o treinamento utilizou esforços de 5 s em duas séries que aumentaram progressivamente de oito para 13 repetições durante o período de treinamento de sete semanas. O intervalo de recuperação entre séries foi de 15 minutos e entre repetições 55 segundos. A potência calculada a cada 2 s foi significativamente maior pós-treino até os 18 segundos.

ØRTENBLAD, LUNDE, LEVIN, ANDERSEN & PEDERSEN (2000) realizaram um estudo com cinco semanas de duração com treinamento intermitente utilizando 20 tiros máximos de 10 s por 50 s de recuperação, três vezes por semana. O teste utilizado foi um protocolo intermitente de 10 tiros de 8 s. A PM e PP aumentaram. É provável que o aumento da potência média em todos os tiros deve ter resultado num aumento do TT, que não foi apresentado pelos autores.

Tabela 1. Protocolos de treinamento de diferentes estudos e impacto sobre variáveis de fisiológicas, metabólicas e de desempenho.

Estudo	Frequência semanal	Tempo de esforço (s)	de Volume total (min)	Melhora do desempenho (%)			VO ₂ MAX (%)
				PP	PM	TT	
Creer et al (2004)	2	30	28	6	6	6	5
Harmer et al. (2000)	3	30	78	9		10,6	6
McDougall et al. (1998)	3	30	73,5	22		9	7
Ortenblad et al. (2000)	3	10	50	↑ nm	12	↑ nm	S.A.
Linossier et al. (1993)	4	5	50,7	26		16	S.A.

PP = potência de pico; PM = potência média; TT = trabalho total; nm=não mensurado; S.A.=sem alteração

Em um programa de treinamento que envolvia tiros realizados em esteira rolante, cujos sujeitos eram corredores recreacionais, NEVILL et al. (1989) puderam observar um aumento geral no desempenho de tiros. O grupo experimental realizou oito semanas de treinamento com uma frequência de três a quatro vezes na semana. As sessões de treinamento compreendiam duas séries de tiros de 30 s com 10 minutos de intervalo entre as séries (completadas duas vezes por semana), seis a dez tiros de seis segundos com 54 s de intervalo (completadas uma vez por semana) e de duas a cinco séries de corrida de dois minutos a 110% do VO₂ MAX com cinco minutos de recuperação entre as séries (completadas uma vez por semana). Houve aumento na PP e na PM de tiros de 30 s. Adicionalmente, o grupo experimental melhorou o tempo nos tiros de 50 m e de 200 m.

O trabalho de SIMONEAU, LORTIE, BOULAY, MARCOTTE, THIBAUT & BOUCHARD (1986) tinha por objetivo verificar o papel de fatores genéticos na resposta da capacidade anaeróbia máxima e nas características histoquímicas e bioquímicas musculares em 14 pares de gêmeos monozigóticos após um programa de 15 semanas de treinamento envolvendo exercícios contínuos e intervalados. Os autores observaram que aproximadamente 65% da resposta do treino para a capacidade anaeróbia láctica estavam associados ao genótipo do indivíduo. Esses resultados sugerem que as adaptabilidades dos fatores metabólicos e bioquímicos referentes aos tiros de 90 s estão mais associadas ao genótipo em comparação com os tiros de 10 s. Outro aspecto importante a ser observado nesse estudo é que exercícios em intensidades máximas com duração de 60 a 120 s sofrem contribuições similares do sistema anaeróbio e aeróbio (GASTIN, 2001), e considerando a duração dos exercícios utilizada (90 s), é plausível especular que o sistema aeróbio, apesar de não ter sido medido, tenha tido participação significativa no fornecimento de energia.

Considerando os resultados dos estudos apresentados é possível sugerir que esforços intermitentes máximos de curta duração são responsáveis por melhorar o desempenho em atividades de alta intensidade e que o desempenho nesse tipo de atividade é relacionado a fatores genéticos.

ADAPTAÇÕES FISIOLÓGICAS E METABÓLICAS

$VO_{2\text{MAX}}$

A análise da contribuição do $VO_{2\text{MAX}}$ para atividades de cunho intermitente é de grande importância, pois indivíduos que possuem maiores valores de $VO_{2\text{MAX}}$ apresentam, em geral, recuperação mais eficiente em exercícios intervalados. Além disso, os exercícios intervalados também são capazes de aumentar o $VO_{2\text{MAX}}$ (TOMLIN E WENGER, 2001). De certa forma então é possível afirmar que o $VO_{2\text{MAX}}$ seja capaz de influenciar no rendimento em exercícios intermitentes justificando a medição do mesmo quando investigadas as adaptações crônicas aos mesmos.

Segundo o estudo de NEVILL et al. (1989), não houve mudanças no consumo total de oxigênio durante os tiros de 30 s ou corrida a 110% do $VO_{2\text{MAX}}$ como resultado do treinamento anaeróbio. Para o grupo experimental, o débito de oxigênio foi aumentado depois do treino de tiros de 30 s. O consumo de oxigênio está diretamente relacionado à ressíntese de ATP-CP, uma vez que durante a recuperação o consumo de oxigênio é elevado para ajudar a restaurar as reservas energéticas, podemos sugerir que não só o desempenho melhora nos tiros curtos, mas também a eficiência na recuperação entre cada estímulo (TOMLIN & WENGER, 2001). O aumento do débito de oxigênio demonstra a maior necessidade de eficácia na recuperação, dado o aumento geral de desempenho tanto nos tiros de 30 s (potência pico e média e $VO_{2\text{MAX}}$, respectivamente).

Já no final da década de 1970, ao comparar dois programas de treinos intervalados, um de alta e o outro de baixa intensidade, FOX, BARTELS, KLIZING & RAGG (1977) concluíram que o $VO_{2\text{MAX}}$ aumentou significativamente em ambos os grupos, demonstrando a eficiência dos exercícios intermitentes na adaptação crônica do consumo de oxigênio. A este respeito, os estudos em que o treinamento teve tempo de esforço menor de 30 s (ØRTENBLAD et al., 2000; LINOSSIER et al. 1993) não observaram aumentos do $VO_{2\text{MAX}}$, ao passo que estudos que utilizaram pelo menos 30 s de esforço (CREER et al., 2004; HARMER et al., 2000; MCDUGALL et al., 1998) encontraram aumento do $VO_{2\text{MAX}}$, mesmo com a duração e frequência de treinamento e variados.

ATIVIDADE ENZIMÁTICA

LINOSSIER et al (1993) observaram aumento da atividade enzimática da fosfofrutoquinase (PFK) e da lactato desidrogenase (LDH) e nenhuma alteração na atividade da Hexoquinase e das enzimas oxidativas citrato sintase (CS) e 3-HAD. MCDUGALL et al. (1998), por outro lado, encontraram aumento da atividade da PFK e da Hexoquinase e nenhuma alteração na atividade da glicogênio fosforilase e da LDH. Dentre as enzimas oxidativas, observaram aumento da CS, da succinato desidrogenase (SDH) e da malato desidrogenase (MDH). ROBERTS et al. (1982) observaram aumento significativo das enzimas PFK, glicogênio fosforilase, LDH, gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase (GAPDH) e MDH.

Um dos problemas com a utilização da atividade enzimática na literatura é que há uma grande variabilidade nas enzimas utilizadas de um estudo para o outro, o que dificulta a comparação entre eles. Além disso, nem todos estudos trabalham com atividade enzimática. De todo modo, parece que o treinamento intermitente de alta intensidade promove aumento na atividade enzimática das enzimas glicolíticas.

Quanto às enzimas oxidativas, os resultados apresentados apontam uma certa controvérsia. O estudo de MCDUGALL et al (1998), que encontrou maiores evidências de aumento da atividade enzimática oxidativa, usou um protocolo de treinamento com esforços máximos de 30 s por quatro minutos de recuperação entre repetições em série única. O estudo de ROBERTS et

al. (1982) também usou 30 s, mas de intensidade não máxima e dois minutos de recuperação. Entretanto, os estímulos eram divididos em duas séries de quatro tiros com 10 minutos de recuperação entre elas. Já no estudo de LINOSSIER et al. (1993), que usou duas séries de oito a 13 repetições, os esforços máximos eram de apenas 5 segundos. Tanto no estudo de ROBERTS et al (1982), quanto no estudo de LINOSSIER et al. (1993) o débito de oxigênio produzido pela intermitência dos esforços devem ter sido menores que no estudo de MCDUGALL et al.(1998); o primeiro devido ao intervalo de 10 minutos entre as séries e a intensidade não máxima da corrida; o segundo devido à curta duração do esforço. É possível, portanto, que o metabolismo oxidativo tenha sido mais solicitado no estudo de MCDUGALL et al. (1998), ocasionando aumento da atividade enzimática de enzimas oxidativas. Outra explicação possível é a maior participação aeróbia na transferência de energia mesmo durante a maioria dos tiros, uma vez que a partir do segundo tiro no ciclo-ergômetro o metabolismo aeróbio já é responsável por aproximadamente 49% da transferência de energia (BOGDANIS, NEVILL, BOOBIS & LAKOMY, 1996) e a partir do terceiro tiro de 30 s o esforço é mantido predominantemente pelo metabolismo aeróbio (SPRIET, MICHAEL, LINDINGER, MCKELVIE, HEIGENHAUSER & JONES, 1989).

CONCENTRAÇÕES DE CREATINAFOSFATO (CP), ATP E GLICOGÊNIO

LINOSSIER et al. (1993) relataram que o treinamento não promoveu alterações nas concentrações de CP de repouso nem na depleção durante o teste de Wingate. Num teste supramáximo até a exaustão (130% $VO_{2\text{ MAX}}$), HARMER et al. (2000) também não encontraram diferenças da depleção de CP após o treinamento; o mesmo ocorreu para depleção de glicogênio e produção de lactato. Por outro lado, houve uma menor depleção de ATP. De qualquer maneira, a produção de ATP anaeróbia estimada não apresentou alteração após o treinamento, para este mesmo teste.

Corroborando os resultados acima, o referido estudo de NEVILL et al. (1989) mostra que a creatina muscular total permaneceu constante (114mmol/kg de músculo seco) antes e depois do treino. Tanto a corrida a 110% do $VO_{2\text{ MAX}}$, quanto o tiro de 30 s demonstraram um decréscimo na CP, porém a magnitude deste decréscimo foi equivalente antes e depois do treino. Neste estudo, os autores não acharam diferenças entre a concentração em repouso e a degradação de CP e ATP no pré e no pós-treino. Assim, as alterações positivas referentes ao desempenho, devido às recentes de ATP por fontes anaeróbias, não podem ser explicadas pelo aumento dos níveis de CP e ATP no repouso. Os autores evidenciaram um aumento da ressíntese de ATP a partir de fontes anaeróbias durante o exercício de 30 s. Os mesmos especularam que este aumento pode ter sido devido a um possível aumento da atividade da glicogênio fosforilase e/ou a uma melhora na capacidade de tamponamento da musculatura esquelética, permitindo que a glicólise anaeróbia pudesse garantir um suprimento energético mais eficiente dado o pH ótimo observado pelo maior efluxo de íons H^+ da célula muscular após o período de treino.

LACTATO

LINOSSIER et al. (1993) encontraram aumento na produção de lactato muscular durante o teste de Wingate após treinamento com tiros de 5 s. CREER et al. (2004) também encontraram aumento na produção de lactato sanguíneo pós-treinamento durante o teste de Wingate. HARMER et al. (2000) observaram em um teste supramáximo (130% $VO_{2\text{ MAX}}$ até a exaustão) aumento significativo na produção de lactato sanguíneo após um período de treinamento que envolvia tiros de 30 s. Estes dados podem sugerir que o treinamento intermitente aumenta a transferência de energia via glicólise anaeróbia. (MEDBØ & BURGERS, 1989; EDGE, BISHOP, GOODMAN & DAWSON, 2005; TABATA, NISHIMURA, KOUZAKI, HIRAI, OGITA, MIYACHI, YAMAMOTO, 1996; PARRA, CADEFAU, RODAS, AMIGÓ, CUSSÓ, 2000).

ROBERTS, BILLETER & HOWALD (1982) não encontraram aumento na produção de lactato após cinco semanas de treinamento intermitente com oito corridas de 200m, divididas em duas séries de quatro, realizadas a 90% da velocidade máxima com duração média de 29 s e dois minutos de recuperação. Possíveis explicações para este resultado podem residir na natureza do esforço – não foram esforços máximos, ou seja, o treinamento não teria sido eficaz em aumentar a taxa de transferência de energia pela glicólise anaeróbia – e na sensibilidade do método de avaliação, uma única corrida em esteira a 16 km/h com 15% de inclinação. Possivelmente o teste não exigiu uma taxa máxima de produção de lactato. O fato de o tempo para exaustão (TE) ter aumentado pode representar um aumento da taxa de transferência de energia pela via aeróbia. Conseqüentemente, considerando que são testes realizados até exaustão e o possível aumento da contribuição aeróbia para o exercício, qualquer discussão precisa a respeito da produção de lactato é difícil, pois a produção de lactato pode ter sido subestimada.

pH E CAPACIDADE DE TAMPONAMENTO

Um dado importante a ser explicitado foi o fato de NEVILL et al. (1989) terem atribuído o mecanismo de aumento da ressíntese de ATP à melhora na capacidade de tamponamento da musculatura esquelética. Isto permite que a glicólise anaeróbia tenha uma grande contribuição no suprimento energético no mesmo pH muscular. No referido estudo, apesar da concentração de lactato muscular ter aumentado, o pH não se alterou em decorrência do treino. Atrelado a isto, o decréscimo acentuado do pH muscular após o teste de 30 s após o treinamento demonstra um possível aumento da capacidade de tamponamento, com maior efluxo dos íons H^+ .

Cabe ressaltar que a produção de lactato está relacionada à ressíntese de ATP em atividades de alta intensidade. Contudo, a produção de lactato não é responsável pelo aumento da acidose, mas sim a hidrólise do ATP, que resulta em ADP, fosfato inorgânico e H^+ . Com o aumento da intensidade da atividade, aumenta também a hidrólise do ATP para liberação de energia para a contração muscular, elevando a liberação de H^+ . A liberação do íon H^+ promove então a diminuição do pH intracelular aumentando a acidose. O lactato age como uma substância tamponante e contribui para a manutenção do pH intracelular (ROBERGS, GHIASVAND, PARKER, 2004).

BISHOP, EDGE, GOODMAN (2004), em um estudo publicado mais de uma década depois do trabalho de NEVILL et al. (1989), corroboram os resultados obtidos no final da década de 1980. Tais autores investigaram, de maneira aguda, a influência da capacidade de tamponamento muscular e do sistema aeróbio na capacidade de se realizar tiros de curta duração com máxima intensidade. 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. Parte do decréscimo na força contrátil durante situações de fadiga vem sendo atribuída à redução da sensibilidade das proteínas miofibrilares ao Ca^{2+} como resultado da acidose (CHIN & ALLEN, 1998). Os sistemas de tamponamento intra e extracelulares atuam na redução dos íons H^+ na musculatura durante esforços intensos. Assim, indivíduos com uma grande capacidade de tamponamento (atenuando o acúmulo de H^+ na musculatura) podem minimizar uma redução do desempenho de exercícios intensos de baixa duração.

CATECOLAMINAS PLASMÁTICAS

Segundo NEVILL et al. (1989), a concentração de norepinefrina aumentou após o tiro de 30 s executado no pós-treino. Antes do treino, aqueles indivíduos com as maiores alterações na concentração de norepinefrina durante o exercício máximo de 30 s também tiveram o maior pico de potência gerado. Por fim, os indivíduos com os maiores valores de epinefrina plasmática depois do tiro de 30 s também tiveram a mais elevada capacidade de tamponamento, aumento do desempenho no teste de 50 m e altas taxas de ressíntese de ATP de fontes anaeróbias.

ADAPTAÇÕES MORFOLÓGICAS

Na literatura científica poucos autores contemplaram a análise das adaptações morfológicas ao treinamento intermitente de intensidade máxima. Em sua maior parte, os estudos voltados a este tema têm utilizado o ciclo ergômetro como exercício de treinamento. Nesses estudos, as variáveis morfológicas analisadas foram a mudança fenotípica e a área de secção transversa da fibra muscular (ASTF) e para tais análises todos os estudos encontrados utilizaram biópsia muscular.

O primeiro estudo de nosso conhecimento que investigou tais adaptações, aplicando o treinamento intermitente de intensidade máxima, foi o de JACOBS, ESBJORNSSON, SYLVEN, HOLM & JANSSON (1987). O resultado encontrado por esses autores foi uma tendência a aumento da porcentagem de fibras do tipo IIa. Os participantes treinaram duas três vezes por semana durante quatro semanas, realizando dois esforços máximos de 15 s e dois de 30 s de duração na primeira semana, progredindo para seis de 15 s e seis de 30 s na sexta e última semana. Entretanto uma das limitações desse estudo foi à falta de controle do intervalo de recuperação para os tiros de 15 s. Esse fato pode ter levado os sujeitos a treinarem em diferentes intensidades tornando os resultados obtidos por cada um deles impossíveis de serem comparados diretamente.

JANSSON, ESBJORNSSON, HOLM & JACOBS (1990) também analisaram as mudanças histoquímicas causadas pelo treinamento intermitente máximo. Os resultados encontrados de um de seus grupos de treinamento foram muito próximos ao de JACOBS, ESBJORNSSON, SYLVEN, HOLM & JANSSON (1987), devido à similaridade do treinamento aplicado. Porém, o outro grupo de treinamento do estudo de JANSSON, ESBJORNSSON, HOLM & JACOBS (1990) apresentou um protocolo diferente: os sujeitos treinaram de duas a três vezes por semana realizando três tiros máximos de 30 s durante quatro semanas. Esse protocolo de treinamento não causou nenhuma mudança estatisticamente significativa na porcentagem dos tipos de fibras. É possível que o baixo volume do treino e o intervalo entre os esforços sejam responsáveis por esses achados. Cada sessão de treino continha somente três tiros de 30 s com carga de 75g/kg de peso corporal, e os intervalos entre os tiros foram bastante longos (20 minutos). A duração total do treinamento foi apenas de quatro semanas, diferente do outro grupo que treinou seis semanas. Esses fatos permitem especular que o estímulo desse modelo de treinamento não foi suficiente para causar adaptações morfológicas nas fibras musculares.

HARRIDGE, BOTTINELLI, CANEPARI, PELLEGRINO, REGGIANI, ESBJORNSSON, BALSOM & SALTINI (1998) não encontraram alterações significantes em relação à mudança de fenótipo das fibras musculares ao aplicarem o treinamento intermitente máximo (Tabela 3). Os autores, baseados nos resultados encontrados por JACOBS, ESBJORNSSON, SYLVEN, HOLM & JANSSON (1987) e JANSSON, ESBJORNSSON, HOLM & JACOBS (1990), queriam investigar se o aumento da porcentagem de fibras do tipo IIa ocorria no sentido bi-direcional, ou seja, devido ao decréscimo tanto da porcentagem das fibras do tipo I como das fibras do tipo IIb (Tabela 3). O protocolo utilizado foi de exercícios curtos (3 s) de intensidade máxima com intervalos de 30 s entre eles. A frequência semanal foi de quatro vezes, durante seis semanas. Os autores

discutem que o período de treinamento pode ter sido muito curto para causar mudanças nos fenótipos das fibras musculares e que os ganhos de desempenho que foram observados (aumento na velocidade do ciclo ergômetro e no torque do joelho) ocorreram exclusivamente devido a mecanismos neurais.

DAWSON, FITZSIMONS, GREEN, GOODMAN, CAREY & COLE (1998) realizaram o único estudo que pesquisou as adaptações morfológicas ao treinamento intermitente máximo utilizando a corrida como exercício de treino (Tabela 3). Os resultados encontrados foram diferentes em relação aos estudos anteriores. Além dos autores terem observado aumento significativo da porcentagem das fibras do tipo II (a e b), também encontraram uma queda na porcentagem das fibras do tipo I. Este estudo permite especular que o treinamento intermitente máximo na corrida pode gerar adaptações no fenótipo muscular diferentes do treinamento intermitente máximo no ciclo ergômetro.

Por fim, ØRTENBLAD, LUNDE, LEVIN, ANDERSEN, PREBEN & PEDERSEN (2000), apesar de terem utilizado um protocolo de treinamento diferente dos estudos anteriores, também não encontraram nenhuma diferença significativa na mudança fenotípica muscular (Tabela 3). O protocolo tinha como principal diferença dos estudos anteriores um volume maior de treino no ciclo ergômetro. Contudo, os autores encontraram um aumento no desempenho e na liberação do Ca^{2+} do retículo sarcoplasmático não advindo da mudança das cadeias pesadas de miosina.

JACOBS, ESBJORNSSON, SYLVEN, HOLM & JANSSON (1987) foram os únicos autores que, utilizando o treinamento intermitente de máxima intensidade, avaliaram a ASTF (Tabela 3). Os resultados encontrados por esses autores em relação à mudança de fenótipo das fibras, como citado acima, foi um aumento da porcentagem de fibras do tipo IIa sem alteração significativa da porcentagem de fibras do tipo I e IIb. Todavia, essa mudança morfológica não veio acompanhada de mudanças significativas na ASTF e devido às falhas metodológicas já mencionadas (falta de controle do intervalo de recuperação e da frequência semanal) é complicado especular sobre os resultados, pois além de serem falhas que influenciam diretamente no objetivo principal da pesquisa, poder-se-ia incorrer no erro de tirar conclusões errôneas sobre o tema.

Tabela 3. Resumo das adaptações funcionais e morfológicas ao exercício intermitente de alta intensidade.

Estudo	Duração	Freq Sem	Esforço	Recuperação	Nº de tiros	Intensidade	Desempenho	Adaptações
Simoneau et al. (1985)	15 sem	4 a 5	15 a 90 s	120 - 130 bpm	4 a 15	60 a 90 % do Trabalho Máximo	nm	↑ % fibras tipo I e ↓ % tipo IIb. ↑ área tipo I e ↑ área tipo IIb
Jacobs et al. (1987)	6 sem	2.5	15 e 30 s	Tiro de 15 s – 45 s Tiro de 30 s – 15 min	2 a 6	Intensidade máxima	↔	↑ % fibras do tipo IIa. Sem alterações na % do tipo I e IIb. Sem alterações nas áreas.
Jansson et al. (1990)	6 sem – grupo 1 4 sem – grupo 2	2 a 3	15 e 30 s	15 a 20 min	---	Intensidade máxima	↔	↑ % fibras do tipo IIa para o grupo I.
Dawson et al. (1998)	6 sem	2 a 3	30 a 80 metros	2 a 4 min	4 a 8	90 a 100%	↓ Tempo da corrida de 40m, e supramáxima, e ↑ VO _{2max} absoluto e relativo.	↑ % fibras tipo II e ↓ fibras do tipo I.
Harridge et al. (1998)	6 sem	4	3 s	30 s	3	Intensidade máxima	↑ Vel. no cicloergometro com 4,5, 6 e 7,5% do peso corporal, e ↑ torque máximo no joelho em 20, 50 e 100 Hz	S.A.
Ortenblad et al. (2000)	5	3	10 s	50 s	20	Intensidade máxima	↑ TT, PP, PM.	S.A.

Legenda – sem (semanas); bpm (batimentos por minuto); ↑, ↓, ↔ (aumento e diminuição respectivamente; % (porcentagem); Hz (Hertz); min (minutos); s (segundos); Vel. (velocidade), PP = potência de pico; PM = potência média; TT = trabalho total; nm=não mensurado; S.A.=sem alteração.

CONCLUSÃO

O treinamento intermitente de alta intensidade promove adaptações funcionais, metabólicas e morfológicas. A melhora do desempenho, alterações em atividades enzimáticas e capacidade de tamponamento e distribuição dos tipos de fibra e mudanças no tamanho das fibras musculares são adaptações resultantes do treinamento intermitente de alta intensidade.

A magnitude dessas adaptações parece ser dependente de variáveis associadas ao treino, como volume, intensidade, frequência, intervalo de recuperação e duração do período de treinamento. Contudo, existe a necessidade de mais investigações no que concernem as adaptações crônicas ao treinamento com exercícios intermitentes de alta intensidade. O tema que ainda necessita de mais respostas atualmente, apesar de sua grande relevância, são as adaptações morfológicas. As mudanças do tipo de fibra assim como alterações na ASTF representam uma lacuna muito grande no que diz respeito às adaptações a esse tipo de treinamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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*, v. 31, n. 2, p.75-90, 2001.

BISHOP, D. EDGE, J.; GOODMAN, C. Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. *European Journal of Applied Physiology*, v. 92, p. 540-547, 2004.

BOGDANIS, G. C.; NEVILL, M. E.; BOOBIS, L. H.; LAKOMY, H. K. A. *Journal of Applied Physiology*, v. 80, n. 3, p. 876-884, 1996.

BOGDANIS, G. C.; NEVILL, M. E.; LAKOMY, H. K. A. Effects of previous dynamic arm exercise on power output during repeated maximal sprint cycling. *Journal of Sports Sciences*, v. 12, p. 363-370, 1994.

CHIN, E. R.; ALLEN, D. G. The contribution of pH dependent mechanisms to fatigue at different intensities in mammalian single muscle fibres. *Journal of Physiology*, v. 512, p. 831-840, 1998.

CREER, A. R.; RICARD, M. D.; CONLEE, R. K.; HOYT, G. L.; PARCELL, A. C. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, v. 25, p 92-98, 2004.

DAWSON, B; FITZSIMONS, M; GREEN, S; GOODMAN, C; CAREY, M & COLE, K. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *European Journal of Applied Physiology*, 78: 163 – 169, 1998.

EDGE, J.; BISHOP, D.; GOODMAN, C.; DAWSON, B. Effects of high and moderate intensity training on metabolism and repeated sprints. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, p. 1975-1982, 2005.

FOX, E. L.; BARTELS, R. L.; KLIZING, J.; RAGG, K. Metabolic responses to interval training programs of high and low power output. *Medicine and Science in Sports*, v. 9, n.3, p. 191-196, 1977.

GASTIN, P. B; Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*, 31(10), 725-741, January 2001.

HARRIDGE, S. D. R; BOTTINELLI, R; CANEPARI, M; PELLEGRINO, M; REGGIANI, C; ESBJORNSSON, M; BALSOM, P. D; & SALTINI, B. Sprint training, in vivo and in vitro muscle function, and myosin heavy chain expression. *Journal of applied physiology*, 84(2): 442 – 449, 1998.

HARGREAVES, M.; MCKENNA, M. J.; JENKINS, D. G.; WARMINGTON, S. A.; LI, J. L.; SNOW, R. J.; FEBBRAIO, M. A. Muscle metabolites and performance during high-intensity, intermittent exercise. *American Physiological Society*, p. 1687-1691, 1998.

HARMER, A. R.; MCKENNA, M. J.; SUTTON, J. R.; SONW, R. J.; RUELL, P. A.; BOOTH, J.; THOMPSON, M.W.; MACKAY, N. A.; STHATIS, C. G.; CRAMERI, R. M.; CAREY, M. F.; EAGER, D. M. *Journal of Applied Physiology*, v. 89, p. 1793-1803, 2000.

JACOBS, I; ESBJORNSSON, M; SYLVEN, C; HOLM, I & JANSSON, E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types and blood lactate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 19, pp. 368 – 374, 1987.

JANSSON, E; ESBJORNSSON, M; HOLM, I & JACOBS I. Increase in the proportion of fast – twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta Physiologica Scandinavica* v 140, p. 359 – 363, 1990.

LINOSSIER, M.-T.; DENIS, C.; DORMOIS, D. GEYSSANT, A.; LACOUR, J. R. Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *European Journal of Applied Physiology*, v. 67, p. 408-414, 1993.

MACDOUGALL, J. D.; HICKS, A. L.; MACDONALD, J. R.; MCKELVIE, R. S.; GREEN, H. J.; SMITH, K. M. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of Applied Physiology*, v. 84, n. 6, p. 2138-2142, 1998.

MEDBØ, J. I.; BURGERS, S. Effect of training on the anaerobic capacity. *Medicine & Science in sports & Exercise*, v. 22, n.4, p. 501-507, 1989.

McCARTNEY, N.; SPRIET, L. L.; HEIGENHAUSER, G. J. F.; KOWALCHUK, J. M.; SUTTON, J. R.; JONES, N. L. Muscle power and metabolism in maximal intermittent exercise. *American Physiological Society*, p. 1164-1169, 1986.

NEVILL, M. E.; BOOBIS, L. H.; BROOKS, S.; WILLIAMS, C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *American Physiological Society*, p. 2376-2382, 1989.

ØRTENBLAD, N.; LUNDE, P.K; LEVIN, K.; ANDERSEN, J. L. PEDERSEN, P. K. Enhanced sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ release following intermittent sprint training. *American Journal of Physiology and Regulatory Integrative Comp (?) Physiology*, n. 279, p. 152-160, 2000.

PARRA, J.; CADEFAU, J. A.; RODAS, G.; AMIGÓ, N.; CUSSÓ, R. The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high intensity training in human muscle. *Acta Physiologica Scandinavia*, v. 169, p. 157-165, 2000.

ROBERGS, R. A, GHIASVAND, F., PARKER, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology Regulatory Integration Comp Physiology*, v. 287, n. 3, R502-R516, 2004.

ROBERTS, A. D.; BILLETTER, R.; HOWALD, H. Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *International journal of sports medicine*, v. 3, n. 1, p. 18-21, 1982.

SIMONEAU, J. A.; LORTIE, G.; BOULAY, M. R.; MARCOTTE, M.; THIBAUT, M. C.; BOUCHARD, C. Inheritance of human skeletal muscle and anaerobic capacity adaptation to high-intensity intermittent training, *International Journal of Sports Medicine*, v.7, p. 167-171, 1986.

SPRIET, L. L.; LINDINGER, M. I.; MCKELVIE, R. S.; HEIGENHAUSER, G. J. F.; JONES, N. L. Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *Journal of Applied Physiology*, v. 66, n. 1, p. 8-13, 1989.

TABATA, I.; NISHIMURA, K. KOUZAKI, M.; HIRAI, Y.; OGITA, F.; MIYACHI, M.; YAMAMOTO, K. Effects of moderate intensity endurance and high intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, p. 1327-1330, 1996.

TOMLIN, D. L.; WENGER, H. W. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine*, v. 31, n. 1, p. 1-11, 2001.

Contatos

Universidade de São Paulo

Fone: (11) 7456-5511 (11) 2291-9251

Endereço: R. Roque Petrela, 1146, casa 09, Vila Cordeiro - São Paulo, SP

E-mail: rodrigofonseca79@gmail.com

Tramitação

Recebido em: 17/10/2007

Aceito em: 02/08/2010