

Efeitos do treino contínuo e intervalado na cinética do consumo de oxigénio e da desoxigenação muscular

Autores

Dália Curto¹; Cristina Monteiro^{1,2}; Francisco B. Alves^{1,2}; Joana F. Reis^{1,2,3}

dalia_serrasqueiro@outlook.com

Resumo

O treino contínuo de baixa intensidade (END) e o treino intervalado de elevada intensidade (HIIT) induzem uma aceleração da cinética do consumo de oxigénio (VO₂) sem alterar a cinética da extração muscular de oxigénio (HHb). No entanto, as características do treino que otimizam esses parâmetros ainda não estão claramente estabelecidas. O objetivo do presente estudo foi comparar o efeito de quatro semanas de treino HIIT e END na cinética do VO₂ e da HHb em transições para a corrida moderada e supramáxima em indivíduos fisicamente ativos.

Trinta e quatro sujeitos foram aleatoriamente divididos em 3 grupos. Os grupos END e HIIT completaram 12 sessões de HIIT (6-8 x 30s a 120% velocidade aeróbia máxima (VAM), com 30s de intervalo) ou END (24-32 min no domínio pesado).

Antes e após o período de intervenção, todos os sujeitos realizaram um teste incremental até à exaustão e testes de transições para as intensidades moderada e supramáxima. Em todos os testes, o VO₂ foi recolhido respiração a respiração e os dados da HHb do vasto lateral do quadríceps foram determinados por espectroscopia no infravermelho próximo.

O grupo CONT não apresentou alterações nas variáveis estudadas. Quatro semanas de HIIT e END não foram suficientes para induzir alterações na cinética do VO₂ e da HHb em transições para a corrida moderada ou supramáxima. No entanto, HIIT foi capaz de induzir melhorias no rácio HHb/VO₂ no domínio moderado e no VO₂max, sugerindo a necessidade de um treino de maior intensidade para induzir melhorias nestes parâmetros. A diminuição nos valores de HHb/VO₂ parecem ser indicadores

¹ Faculdade de Motricidade Humana, Lisboa, Portugal

² Centro Interdisciplinar de Estudo da Performance Humana

³ Universidade Europeia, Lisboa, Portugal

de uma melhor correspondência entre a distribuição microvascular de oxigénio e a sua utilização pelos músculos.

Adicionalmente, como HIIT e END provocaram melhorias comparáveis na VAM e nos limiares ventilatórios, o último parece ser uma abordagem mais eficiente em termos de tempo.

Palavras-chave: Cinética $\dot{V}O_2$; Cinética HHb; Rácio HHb/ $\dot{V}O_2$; $\dot{V}O_{2max}$; Desempenho; Resistência; HIIT; END

Introdução

No contexto do desporto, o corpo humano tem de se ajustar a inúmeras alterações nas necessidades energéticas. Em muitas modalidades, a velocidade de resposta dos atletas a estas transições de energia pode ser determinante para o desempenho desportivo (1). O estudo da cinética do consumo de oxigénio ($\dot{V}O_2$) pulmonar consiste na descrição da resposta dinâmica do $\dot{V}O_2$ em transições de intensidade, permitindo fornecer informações acerca do metabolismo muscular e dos mecanismos fisiológicos implicados nas transições de intensidade (2,3). Por outro lado, a espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) (4), tem-se revelado uma abordagem não invasiva que permite recolher informações acerca das alterações na oxigenação do tecido muscular (5). Este método permite analisar a cinética da hemoglobina não oxigenada (HHb), que reflete o equilíbrio entre a entrega e a utilização de O_2 (6). Assim, o estudo integrado da cinética do $\dot{V}O_2$ e HHb parece ser uma estratégia eficaz para compreender de que forma o treino é capaz de influenciar o ajuste dinâmico da utilização de O_2 durante o exercício.

A literatura revela que o treino contínuo de elevado volume a baixa intensidade (END) (7–9), tal como o treino intervalado de alta intensidade (HIIT) (10–12) têm repercussões positivas na cinética do $\dot{V}O_2$, enquanto a cinética da HHb se mantém inalterada como resultado destes tipos de treino (11,12). No entanto, existem estudos contraditórios no que respeita à superioridade do HIIT ou END nas adaptações da cinética do $\dot{V}O_2$ (9,11,32).

De facto, não se encontra ainda claramente estabelecido qual o tipo "ótimo" de treino que otimize as melhorias dos parâmetros da cinética do $\dot{V}O_2$ e da HHb, apesar de recentemente, ter sido levantada a hipótese do HIIT de baixo volume ser uma estratégia eficaz, em termos de tempo. Adicionalmente, a literatura tem sobretudo avaliado as respostas das cinéticas $\dot{V}O_2$ e HHb no regime moderado e em bicicleta. Apesar da corrida ser das formas de exercício mais utilizadas e das intensidades supramáximas serem as mais próximas da situação competitiva, existe uma enorme escassez de estudos que avaliem a resposta ao treino nessas condições.

O objetivo do presente estudo foi comparar os efeitos de quatro semanas de treino HIIT e END na cinética do $\dot{V}O_2$ e da HHb durante o exercício de intensidade moderada e supramáxima em indivíduos fisicamente ativos.

Foram colocadas as seguintes hipóteses: 1) Ambos os treinos induzem um aumento da cinética de $\dot{V}O_2$ sem alterações da cinética da HHb e conseqüentemente, uma diminuição do rácio $\Delta HHb/\Delta \dot{V}O_2$; 2) O treino HIIT é mais efetivo do que o treino contínuo na aceleração da cinética do $\dot{V}O_2$ durante os exercícios moderado e supramáximo.

Métodos

Amostra

Trinta e quatro indivíduos (média \pm DP; 1.70 \pm 0.08 m; 25,3 \pm 5,3 anos ; 63.9 \pm 9.9 kg), 18 do género masculino e 16 do género feminino, participaram no presente estudo. Todos os sujeitos eram fisicamente ativos, mas nenhum deles tinha estado envolvido em treino sistemático de corrida nos 6 meses anteriores ao início do estudo. Em cada sessão de avaliação foi solicitado aos sujeitos que chegassem ao laboratório em estado hidratado e que evitassem exercícios vigorosos, álcool e cafeína nas 24 horas anteriores a cada sessão. Todas as sessões de avaliação foram realizados na mesma hora do dia (+/- 2 horas).

Desenho experimental

Os participantes dos grupos experimentais realizaram 4 semanas de treino (12 sessões) e 3 sessões de avaliação antes do treino (Pré) e 3 após o treino (Pós). Cada bloco de avaliação consistiu na realização de um teste progressivo e 2 sessões para

a realização de transições do repouso para intensidade moderada e supramáxima. Após a realização do teste progressivo, os sujeitos foram distribuídos para cada um dos grupos: grupo END (n=13; 1,68 ± 0,08 m; 24,0 ± 4,3 anos; 62,8 ± 10,5 kg); grupo HIIT (n=14; 1,71 ± 0,08 m; 25,1 ± 5,6 anos ; 66,7 ± 9,8 kg); ou grupo de controlo (CONT) (n=7; 1,68 ± 0,07 m; 27,8 ± 6,6 anos; 60,5 ± 8,8 kg). O grupo CONT realizou as sessões de avaliação com a mesma distância temporal dos restantes grupos. Todas as sessões de avaliação foram realizadas em passadeira motorizada (HP Cosmos Pulsar, Alemanha), com análise de gases expirados (MetaMax 3B, Cortex Biophysik, Leipzig, Alemanha) e de extração de O₂ do vasto lateral do quadríceps da perna direita através de NIRS(Nimo, Nirox Optoelectronics, Brescia, Itália).

Teste progressivo

Os participantes realizaram um teste progressivo com início aos 5 km.h⁻¹ com incrementos de 1km.h⁻¹ a cada minuto, até à exaustão, para determinação do consumo máximo de oxigénio ($\dot{V}O_{2max}$), primeiro e segundo limiares ventilatórios (LV1, LV2), bem como a velocidade aeróbia máxima (VAM) e as velocidades do LV1 e LV2.

O $\dot{V}O_{2max}$ foi registado como a média mais elevada num período de 30 segundos, e os limiares ventilatórios foram calculados de acordo com Wasserman (14). A VAM foi definida de acordo com Billat (15).

Transições de intensidade

Em cada momento de avaliação, cada participante realizou duas sessões de transições de intensidade compostas por três transições a partir do repouso, duas para a intensidade moderada (80% do LV1) (16) e uma para a intensidade supramáxima (110% da VAM) (17), todas elas separadas por 6 minutos de recuperação passiva. O exercício moderado foi realizado durante 6 minutos, enquanto o exercício supramáximo foi mantido até à exaustão.

Protocolo de treino

Ambos os grupos de treino realizaram um total de doze sessões de treino de corrida durante quatro semanas. O grupo de controlo manteve os seus níveis habituais de atividade física. Em cada sessão a parte principal do treino consistiu, para o grupo

END, em realizar corrida ao longo de 24 a 32 minutos com uma FC entre o LV1 e o LV2 (18,19). E para o grupo HIIT, na realização de 6-8 repetições de 30 segundos a 120%-122% da VAM com de 30 segundos de recuperação passiva entre repetições. Todos os participantes completaram 100% das sessões de treino prescritas para o grupo de treino em que estavam inseridos. A carga de treino para os dois grupos foi equalizada através de Unidades Arbitrárias de Carga (20).

Tratamento de dados

Para a determinação dos parâmetros da cinética de $\dot{V}O_2$, inicialmente foram removidos os valores que se afastavam mais de 4 desvios padrão da média local. Posteriormente, realizou-se uma interpolação linear para fornecer valores segundo a segundo. Os primeiros 20 segundos de dados após o início do exercício foram excluídos (21, 22) de modo a excluir a influência da fase cardio-dinâmica. Para ajustar os dados foi, então, utilizado o seguinte modelo monoexponencial (23,24).

$$\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_{2base} + A \left(1 - e^{-\frac{t-td}{\tau}} \right)$$

Onde o $\dot{V}O_2(t)$ representa o $\dot{V}O_2$ relativo num determinado momento, o $\dot{V}O_{2base}$ representa o $\dot{V}O_2$ em repouso; td , τ e A representam, respetivamente, o tempo de atraso, a constante temporal e a amplitude da resposta.

Após a normalização relativa ao repouso, dos dados segundo a segundo para cada sujeito (25). A resposta ΔHHb foi determinada através de um modelo monoexponencial, semelhante ao descrito para a resposta do $\dot{V}O_2$. O perfil geral da cinética ΔHHb foi descrito pelo τ' ($\tau + td$) (26).

Por fim, os dados segundo a segundo de $\dot{V}O_2$ e HHb foram normalizados e alinhados temporalmente sendo que, para o $\dot{V}O_2$ foram retirados os 20 segundos iniciais (31). Posteriormente foi calculado o rácio $\Delta HHb/\Delta \dot{V}O_2$ para cada transição de intensidade (28) através do valor médio dos primeiros 20 a 180 e a 90 segundos para o exercício moderado e supramáximo, respetivamente.

Tratamento estatístico

A análise estatística foi realizada através do *software* SPSS (IBM SPSS Statistics for Macintosh, Version 25.0). As diferenças entre os momentos de avaliação no grupo de controlo foram avaliadas através da aplicação de um teste t para amostras emparelhadas. A comparação do efeito do treino END e HIIT foi realizada através de uma ANOVA dupla para medidas repetidas, para determinar os efeitos das intervenções nas variáveis fisiológicas. Quando a análise revelou efeito significativo, foi usado um teste t para amostras emparelhadas com correção de Bonferroni para determinar a origem do efeito. Para efeitos de interpretação e análise dos dados, o grau de significância aceite foi de $p \leq 0,05$.

Resultados

Não existiram diferenças significativas nos parâmetros fisiológicos analisados entre os três grupos, no momento PRE.

As variáveis obtidas no teste progressivo nos momentos Pré e Pós, nos três grupos de indivíduos, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Média \pm desvio padrão (DP) dos parâmetros obtidos no teste progressivo para os grupos END, HIIT e CONT, no momento Pré e Pós treino.

	END Pré	END Pós	HIIT Pré	HIIT Pós	CONT Pré	CONT Pós
LV1 (l/min)	1,81 \pm 0,56	2,02 \pm 0,58 ^a	2,10 \pm 0,32	2,26 \pm 0,60 ^a	1,89 \pm 0,74	1,73 \pm 0,68
VLV1 (km/h)	8,0 \pm 1,2	8,9 \pm 1,4 ^a	8,8 \pm 1,1	9,7 \pm 1,4 ^a	8,4 \pm 1,8	8,3 \pm 1,9
LV2 (l/min)	2,47 \pm 0,63	2,65 \pm 0,70 ^a	2,71 \pm 0,42	3,01 \pm 0,49 ^a	2,65 \pm 0,78	2,71 \pm 0,79
VLV2 (km/h)	10,5 \pm 1,6	11,9 \pm 1,8 ^a	11,6 \pm 1,2	12,6 \pm 1,3 ^{a,b}	11,3 \pm 2,4	11,8 \pm 2,7
$\dot{V}O_2$ max (l/min)	2,99 \pm 0,68	3,07 \pm 0,65	3,24 \pm 0,55	3,57 \pm 0,56 ^{a,b}	3,17 \pm 0,91	3,08 \pm 0,79
$\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min)	48 \pm 8	49 \pm 6	49 \pm 7	55 \pm 5 ^{a,b}	50 \pm 8	50 \pm 8
VAM (km/h)	13,5 \pm 1,9	14,3 \pm 1,8 ^a	14,4 \pm 1,2	15,1 \pm 1,3 ^a	14,3 \pm 2,5	14,3 \pm 2,5

Pré, antes do treino; Pós, depois do treino; END, treino contínuo; HIIT, treino intervalado; CONT, controlo; LV1, LV2, consumo de oxigénio no primeiro e segundo limiares ventilatórios respetivamente; VLV1, VLV2 velocidade no primeiro e segundo limiares ventilatórios, respetivamente; $\dot{V}O_2$ max, consumo máximo de oxigénio; VAM, velocidade aeróbia máxima. ^a - Significativamente diferente do momento Pré ($p < 0,05$). ^b - Significativamente diferente do grupo END ($p < 0,05$).

No grupo CONT não se verificaram diferenças significativas entre o momento Pré e Pós em qualquer das variáveis.

Ambos os tipos de treino resultaram em aumentos significativos ($p < 0,05$) no LV1 e LV2 (END: 13 ± 18 ; HIIT: 7 ± 14 %, $p < 0,05$) (END: 8 ± 15 ; HIIT: 12 ± 15 %, $p < 0,05$), respetivamente. No entanto, não se verificaram diferenças significativas entre os dois grupos de treino. O grupo HIIT apresentou melhorias significativas no $\dot{V}O_2$ max absoluto (11 ± 11 %, $p < 0,05$) e relativo (11 ± 10 %, $p < 0,05$) após o treino, enquanto no grupo END não foram observadas alterações.

As velocidades associadas ao LV1 e LV2 aumentaram significativamente após os dois tipos de treino e o mesmo aconteceu com a VAM. Nas variáveis VLV1 e VAM, não foram observadas diferenças significativas entre os grupos de treino (VLV1: 12 ± 7 e 10 ± 15 %; VAM: 6 ± 6 e 5 ± 4 %, $p < 0,05$ para END e HIIT, respetivamente). No entanto, o treino END provocou um maior aumento na VLV2 comparativamente com o treino HIIT (END: 14 ± 8 ; HIIT: 7 ± 8 %, $p < 0,05$).

Os parâmetros da cinética do $\dot{V}O_2$ no domínio moderado e supramáximo nos dois momentos de avaliação, são apresentados na Tabela 2.

Não se verificaram alterações significativas em nenhum parâmetro da cinética do $\dot{V}O_2$ no grupo CONT. Em ambos os grupos de treino, nas variáveis $\dot{V}O_2$ de repouso, t_d e τ não foram verificadas diferenças significativas para os dois domínios de intensidade. Foram observados aumentos significativos na amplitude da resposta do $\dot{V}O_2$ para as intensidades moderada e supramáxima, respetivamente (END: 7 ± 11 ; HIIT: 11 ± 17 %, $p < 0,05$), (END: 5 ± 6 ; HIIT: 9 ± 14 %, $p < 0,05$) não existindo diferenças significativas entre grupos. Adicionalmente, o $\dot{V}O_2$ final (END 5 ± 10 ; HIIT: 9 ± 18 %, $p < 0,05$) para o domínio moderado aumentou significativamente nos dois grupos, enquanto no domínio supramáximo somente o treino HIIT promoveu alterações significativas nesta variável (11 ± 16 %, $p < 0,05$).

Os parâmetros da cinética da HHb no domínio moderado e supramáximo, no momento Pré e Pós período de intervenção são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2. Média \pm DP dos parâmetros da cinética do $\dot{V}O_2$ obtidos na transição do repouso para o exercício de intensidade moderada e supramáxima nos grupos END, HIIT e CONT no momento Pré e Pós treino.

	END Pré	END Pós	HIIT Pré	HIIT Pós	CONT Pré	CONT Pós
DOMÍNIO MODERADO						
$\dot{V}O_2$ base (ml/kg/min)	5,15 \pm 0,69	5,04 \pm 1,0	5,21 \pm 0,69	5,29 \pm 0,91	4,71 \pm 0,95	5,0 \pm 0,58
Td (s)	5 \pm 4	4 \pm 4	7 \pm 5	6 \pm 5	4 \pm 4	5 \pm 5
τ (s)	32 \pm 4	31 \pm 7	28 \pm 8	26 \pm 7	29 \pm 10	29 \pm 8
Amplitude (ml/kg/min)	25 \pm 3	27 \pm 3 ^a	25 \pm 3	28 \pm 4 ^a	27 \pm 4	26 \pm 5
$\dot{V}O_2$ final (ml/kg/min)	31 \pm 3	32 \pm 4 ^a	31 \pm 4	33 \pm 4 ^a	32 \pm 4	32 \pm 4
Vmod (km/h)	6,40 \pm 0,92	7,13 \pm 1,15 ^a	7,09 \pm 0,88	7,77 \pm 1,15 ^a	6,74 \pm 1,45	6,62 \pm 1,58
DOMÍNIO SUPRAMÁXIMO						
$\dot{V}O_2$ base (ml/kg/min)	5,15 \pm 0,69	5,04 \pm 1,0	5,21 \pm 0,69	5,29 \pm 0,91	4,71 \pm 0,95	5,0 \pm 0,58
Td (s)	6 \pm 5	5 \pm 5	7 \pm 5	6 \pm 4	1 \pm 2	1 \pm 2
τ (s)	21 \pm 8	21 \pm 7	21 \pm 10	21 \pm 5	22 \pm 4	23 \pm 6
Amplitude (ml/kg/min)	41 \pm 7	42 \pm 5 ^a	42 \pm 8	46 \pm 7 ^a	45 \pm 7	45 \pm 7
$\dot{V}O_2$ final (ml/kg/min)	46 \pm 6	46 \pm 4	48 \pm 8	53 \pm 6 ^{a,b}	50 \pm 7	49 \pm 6
Vsupra (km/h)	14,85 \pm 2,09	15,69 \pm 1,97 ^a	15,83 \pm 1,29	16,54 \pm 1,39 ^a	15,71 \pm 2,81	15,71 \pm 2,81
Tempo de Exaustão (s)	137 \pm 28	125 \pm 26	129 \pm 14	131 \pm 18	126 \pm 9	124 \pm 8

Td, tempo de atraso; τ , constante temporal; $\dot{V}O_{2\text{base}}$, consumo de oxigénio em repouso. ^a - Significativamente diferente do momento Pré ($p < 0,05$). ^b -Significativamente diferente do grupo END ($p < 0,05$).

Tabela 3. Média \pm DP dos parâmetros da cinética da HHb nas transições para intensidade moderada e supramáxima nos grupos END, HIIT e CONT, no momento Pré e Pós treino.

	END Pré	END Pós	HIIT Pré	HIIT Pós	CONT Pré	CONT Pós
DOMÍNIO MODERADO						
Amplitude (UA)	50 \pm 26	44 \pm 28	41 \pm 19	53 \pm 31	30 \pm 9	43 \pm 22
τ' (s)	35 \pm 15	30 \pm 14	27 \pm 10	26 \pm 13	30 \pm 13	18 \pm 7
$\Delta\text{HHb}/\Delta\dot{V}O_2$	1,03 \pm 0,07	1,02 \pm 0,09	1,09 \pm 0,09	1,00 \pm 0,09 ^{a,b}	1,07 \pm 0,06	1,10 \pm 0,04
DOMÍNIO SUPRAMÁXIMO						
Amplitude (UA)	66 \pm 28	61 \pm 26	98 \pm 51	107 \pm 51	52 \pm 15	55 \pm 12
τ' (s)	17 \pm 12	18 \pm 11	22 \pm 15	20 \pm 13	18 \pm 3	18 \pm 5
$\Delta\text{HHb}/\Delta\dot{V}O_2$	1,02 \pm 0,0	0,96 \pm 0,06	0,98 \pm 0,10	0,96 \pm 0,07	1,00 \pm 0,05	1,03 \pm 0,09

HHb, hemoglobina desoxigenada; τ' , constante temporal + tempo de atraso. Δ , variação. ^a - Significativamente diferente do momento Pré ($p < 0,05$). ^b -Significativamente diferente do grupo END ($p < 0,05$).

Nenhum dos grupos de treino promoveu alterações significativas na amplitude da resposta e no τ' para as intensidades moderada e supramáxima. No entanto, no domínio moderado, após as quatro semanas de treino HIIT o rácio $\Delta\text{HHb}/\Delta\dot{V}\text{O}_2$ sofreu uma diminuição significativa ($8 \pm 5\%$, $p < 0,05$) (Fig. 1).

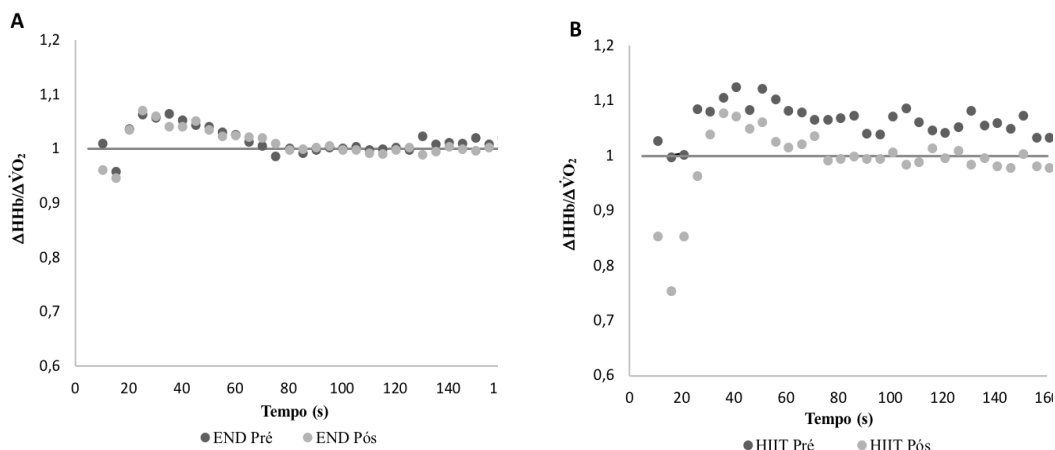


Figura 1. Perfis médios das alterações no rácio $\Delta\text{HHb}/\Delta\dot{V}\text{O}_2$ ao longo dos 180 segundos iniciais da transição do repouso para uma intensidade moderada no grupo END (A) e HIIT (B). Os dados Pré treino são apresentadas a cinzento escuro e Pós treino a cinzento claro.

Discussão

O presente estudo comparou os efeitos de quatro semanas de um programa de treino HIIT e END, na cinética do $\dot{V}\text{O}_2$ e da HHb em transições para o exercício de intensidade moderada e supramáxima em indivíduos fisicamente ativos. Esta é a primeira investigação a comparar em simultâneo as adaptações no $\dot{V}\text{O}_2$ pulmonar e na extração de O_2 muscular no domínio supramáximo, ao treino HIIT e END, em corrida. As principais conclusões do presente estudo são: 1) quatro semanas de treino END e HIIT de baixo volume não foram suficientes para alterar a cinética do $\dot{V}\text{O}_2$ e da HHb em intensidades supramáximas; 2) em intensidades moderadas, após o treino HIIT, o rácio $\Delta\text{HHb}/\Delta\dot{V}\text{O}_2$ sofreu uma diminuição, sugerindo uma melhor correspondência entre a entrega de O_2 aos tecidos e sua utilização pelos músculos. No entanto, nesta intensidade, a cinética do $\dot{V}\text{O}_2$ e da HHb não se alteraram em nenhum dos grupos de treino; 3) Apenas HIIT foi capaz de induzir melhorias no $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$. Porém, ambos os tipos de treino resultaram em aumentos da VAM e dos limiares ventilatórios.

No presente estudo, em transições para o domínio moderado e supramáximo, não foram verificadas reduções no τ da cinética do $\dot{V}O_2$ em consequência do treino END ou HIIT. Estes resultados contrastam com uma parte significativa da literatura, onde são relatadas melhorias na cinética do $\dot{V}O_2$, após os dois tipos de treino (9,11,29,30). Levanta-se assim a hipótese de que o volume de treino realizado no HIIT de baixo volume não seja suficiente para induzir adaptações ao nível da velocidade da cinética do $\dot{V}O_2$. De facto, o tempo que os indivíduos estiveram, por sessão, com um elevado $\dot{V}O_2$ foi bastante reduzido e não parece ser estímulo capaz de provocar melhorias na velocidade da cinética do $\dot{V}O_2$ (32).

Por outro lado, em transições para o domínio moderado e supramáximo, não foram observadas alterações no τ' da cinética da HHb em consequência do treino END ou HIIT. Estes dados corroboram com estudos anteriores (11,29,12). No entanto, estudos que utilizaram o repeated sprint training (RST) encontraram melhorias ao nível da extração muscular de O_2 (32,33). Desta forma, parecem ser necessárias intensidades de treino muito elevadas para que sejam alcançadas alterações na cinética da HHb. Por outro lado, foi observada uma redução do rácio $\Delta HHb/\Delta \dot{V}O_2$ após o treino HIIT, no exercício moderado, enquanto o treino END não foi capaz de induzir alterações neste parâmetro. Estes dados podem indicar que a correspondência entre o aporte e distribuição de O_2 dentro dos capilares e a utilização do mesmo pelos músculos ativos é sensível à intensidade do treino. Esta diminuição representa uma adaptação aeróbia positiva, uma vez que um rácio $\Delta HHb/\Delta \dot{V}O_2$ superior representa um excesso na extração de O_2 microvascular por unidade de $\dot{V}O_2$, o que poderá estar associado a uma pior distribuição do fluxo sanguíneo microvascular (6,29).

Porém, nenhum dos dois tipos de treino foi capaz de provocar alterações no rácio $\Delta HHb/\Delta \dot{V}O_2$ no domínio supramáximo. Podendo estes resultados funcionar como indicador de que o treino HIIT de baixo volume não é capaz de induzir alterações no domínio supramáximo, assim é possível especular-se que para obter adaptações nestas intensidades serão necessários treinos caracterizados por intensidades mais elevadas, como é exemplo o treino RST.

Adicionalmente, apenas o treino HIIT foi capaz de induzir aumentos no $\dot{V}O_{2max}$, no entanto, ambos os tipos de treino se revelaram igualmente efetivos na indução de melhorias na VAM e no LV1 e LV2. Estes resultados são coerentes com estudos

anteriores que relataram melhorias semelhantes nos valores dos limiares, após o treino END e HIIT (11,12,34), Por outro lado, através do aumento observado na VAM podemos inferir que tanto o treino END como o HIIT são capazes de provocar melhorias no desempenho. Atendendo a que ao maior valor da VAM está associada uma maior velocidade mínima para atingir o $\dot{V}O_2\text{max}$ é espectável que as velocidades abaixo do $\dot{V}O_2\text{max}$ sejam também mais elevadas. Assim é provável que os atletas tanto no treino como na competição atinjam velocidades superiores através de solicitações predominantemente aeróbias. Permitindo isto uma menor concentração de metabolitos e conseqüentemente uma maior tolerância à fadiga.

No que respeita ao $\dot{V}O_2\text{max}$, a presente investigação é consistente com outras que também relataram aumentos no $\dot{V}O_2\text{max}$ após o treino HIIT (12,30,35) e nenhuma alteração após o treino END (32). Assim, o treino HIIT de baixo volume parece ser uma ótima alternativa em termos de tempo na indução de melhorias no $\dot{V}O_2\text{max}$.

De facto, quatro semanas de treino HIIT resultaram no aumento do $\dot{V}O_2\text{max}$, mas não tiveram efeito sobre a velocidade da cinética do $\dot{V}O_2$. A dissociação entre as alterações de um e outro parâmetro parece refletir os diferentes mecanismos subjacentes que regulam essas adaptações.

Aplicações práticas

O treino HIIT de baixo volume ao contrário de END foi capaz de promover reduções no rácio $\Delta\text{HHb}/\Delta\dot{V}O_2$ em intensidades moderadas bem como, aumentos no $\dot{V}O_2\text{max}$. Assim, uma das aplicações práticas destas descobertas para os treinadores prende-se com a inclusão do HIIT de baixo volume nos treinos, conseguindo desta forma uma boa economia em termos de tempo. Porém em modalidades dependentes do esforço supramáximo este tipo de treino não apresenta benefícios. Assim, é importante que os treinadores façam uma avaliação individual de cada atleta e das suas necessidades, principalmente ao nível de elite. Atendendo à natureza aeróbia das adaptações conseguidas, o HIIT de baixo volume parece ser uma ferramenta valiosa para treinadores de modalidades em que o sistema oxidativo seja o mais solicitado. Tolerância à fadiga por menor concentração de metabolitos

Conclusões

Quatro semanas de treino END e HIIT não foram suficientes para alterar a velocidade da cinética do $\dot{V}O_2$ e da HHb em transições para o exercício de intensidade moderada e supramáxima. Por outro lado, no exercício moderado, o treino HIIT resultou em diminuições nos valores de $\Delta HHb/\Delta \dot{V}O_2$. Em contraste, o treino END não alterou significativamente os valores deste rácio. As melhorias em $\Delta HHb/\Delta \dot{V}O_2$ após treino HIIT sugerem a presença de uma melhor correspondência entre a entrega e distribuição de O_2 nos capilares e a sua utilização pelos músculos.

Adicionalmente, o treino HIIT, ao contrário do treino END revelou-se capaz de induzir melhorias significativas no $\dot{V}O_{2max}$. Assim, intensidade do treino parece ser um fator de importância acrescida na indução de algumas adaptações. Em conjunto, os dados observados podem indicar a existência de diferentes mecanismos fisiológicos subjacentes às adaptações no $\dot{V}O_{2max}$ e na cinética do $\dot{V}O_2$ e da HHb.

Referências Bibliográficas

1. Jones AM, Burnley M. Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. *Int J Sports Physiol Perform.* 2009;4(4):524–32.
2. Grassi B, Poole DC, Richardson RS, Knight DR, Erickson BK, Wagner PD. Muscle O₂ uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *J Appl Physiol.* 1996;80(3):988–98.
3. Rossiter HB, Ward SA, Doyle VL, Howe FA, Griffiths JR, Whipp BJ. Inferences from pulmonary O₂ uptake with respect to intramuscular [phosphocreatine] kinetics during moderate exercise in humans. *J Physiol.* Wiley Online Library; 1999;518(3):921–32.
4. Hamaoka T, McCully KK, Quaresima V, Yamamoto K, Chance B. Near-infrared spectroscopy/imaging for monitoring muscle oxygenation and oxidative metabolism in healthy and diseased humans. *J Biomed Opt.* International Society for Optics and Photonics; 2007;12(6):62105.
5. Perrey S, Ferrari M. Muscle oximetry in sports science: a systematic review. *Sport Med.* Springer; 2017;48(3):597–616.
6. DeLorey DS, Kowalchuk JM, Paterson DH. Relationship between pulmonary O₂ uptake kinetics and muscle deoxygenation during moderate-intensity exercise. *J Appl Physiol.* American Physiological Society; 2003;95(1):113–20.
7. Drescher U, Scheffter T, Koschate J, Schiffer T, Brixius K, Schneider S, et al. Oxygen Uptake Kinetics Following Six Weeks of Interval and Continuous Endurance Exercise Training – An explorative pilot study. *Respir Physiol Neurobiol.* Elsevier B.V.; 2017; 247:156-66
8. McLay KM, Murias JM, Paterson DH. Similar pattern of change in $\dot{V}O_2$ kinetics, vascular function, and tissue oxygen provision following an endurance training stimulus in older and young adults. *Am J Physiol Integr Comp Physiol.* American Physiological Society Bethesda, MD; 2017;312(4):R467–76.
9. Berger NJA, Tolfrey K, Williams AG, Jones AM. Influence of Continuous and Interval Training on Oxygen Uptake Kinetics; 2006;38(3), 504-12.
10. Demarle AP, Slawinski JJ, Laffite LP, Bocquet VG, Koralsztein JP, Billat VL. Decrease of O₂ deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. *J Appl Physiol.* American Physiological Society Bethesda, MD; 2001;90(3):947–53.

11. McKay BR, Paterson DH, Kowalchuk JM. Effect of short-term high-intensity interval training vs . continuous training on O₂ uptake kinetics , muscle deoxygenation , and exercise performance. 2009;(18):128–38.
12. Williams AM, Paterson DH, Kowalchuk JM. High-intensity interval training speeds the adjustment of pulmonary O₂ uptake, but not muscle deoxygenation, during moderate-intensity exercise transitions initiated from low and elevated baseline metabolic rates. *J Appl Physiol. American Physiological Society*; 2013;114(11):1550–62.
13. Da Boit M, Bailey SJ, Callow S, DiMenna FJ, Jones AM. Effects of interval and continuous training on O₂ uptake kinetics during severe-intensity exercise initiated from an elevated metabolic baseline. *J Appl Physiol. American Physiological Society Bethesda, MD*; 2014;116(8):1068–77.
14. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol. United States*; 1973;35(2):236–43.
15. Billat L, Koralsztein JP. Significance of the Velocity at VO₂max and Time to Exhaustion at this Velocity. 1996;22(2):90–108.
16. Spencer MD, Murias JM. Are the parameters of VO₂ , heart rate and muscle deoxygenation kinetics affected by serial moderate-intensity exercise transitions in a single day ? *European journal of applied physiology*; 2010; 111(4), 591-600.
17. Whipp B, Rossiter H. The kinetics of oxygen uptake. Physiological inferences from parameters. In: Poole D, Jones AM, editors. *Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine*. Routledge Book Company (Taylor & Francis Group); 2005. p. 62–94.
18. Meyer T, Gabriel HH, Kindermann W. Is determination of exercise intensities as percentages of VO₂max or HRmax adequate? *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(9):1342–5.
19. Gass GC, McLellan TM, Gass EM. Effects of prolonged exercise at a similar percentage of maximal oxygen consumption in trained and untrained subjects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol. Springer*; 1991;63(6):430–5.
20. Mujika I, Chatard J-C, Busso T, Geysant A, Barale F, Lacoste L. Effects of training on performance in competitive swimming. *Can J Appl Physiol. NRC Research Press*; 1995;20(4):395–406.

21. Whipp BJ, Ward SA, Rossiter HB. Pulmonary O₂ uptake during exercise: conflating muscular and cardiovascular responses. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(9):1574–85.
22. Benson AP, Bowen TS, Ferguson C, Murgatroyd SR, Rossiter HB. Data collection, handling, and fitting strategies to optimize accuracy and precision of oxygen uptake kinetics estimation from breath-by-breath measurements. *J Appl Physiol.* 2017;123(1):227–42.
23. Whipp BJ, Mahler M. Dynamics of Pulmonary Gas Exchange during. In J. West (Eds), *Pulmonary gas exchange.* Academic Press; 1980. p. 33-85.
24. Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol.* 1981;50(1):217–21.
25. Perrey S, Ferrari M. *Muscle Oximetry in Sports Science: A Systematic Review.* Sport Med. Springer International Publishing; 2018;48(3):597–616.
26. Murias JM, Kowalchuk JM, Paterson DH. VO₂ kinetics with endurance training in old and young men is Speeding of associated with improved matching of local O₂ delivery to muscle O₂ utilization. 2010;913–22.
27. Murias JM, Spencer MD, Kowalchuk JM, Paterson DH. Muscle deoxygenation to VO₂ relationship differs in young subjects with varying tvO₂. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(12):3107–18.
28. Hamasaki A, Arima S, Hirakoba K. Changes in pulmonary oxygen uptake and muscle deoxygenation kinetics during cycling exercise in older women performing walking training for 12 weeks. *Eur J Appl Physiol.* Springer Berlin Heidelberg; 2018;118(10):2179–88.
29. Zoladz JA, Grassi B, Majerczak J, Szkutnik Z, Korostyński M, Grandys M, et al. Mechanisms responsible for the acceleration of pulmonary VO₂ on-kinetics in humans after prolonged endurance training. *Am J Physiol Integr Comp Physiol.* American Physiological Society Bethesda, MD; 2014;307(9):R1101–14.
30. Daussin FN, Zoll J, Dufour SP, Ponsot E, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, et al. Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *Am J Physiol Integr Comp Physiol.* American Physiological Society; 2008;295(1):R264–72.
31. Murias JM, Kowalchuk JM, Paterson DH. Speeding of VO₂ kinetics in response

- to endurance-training in older and young women. *Eur J Appl Physiol*. Springer; 2011;111(2):235–43.
32. Bailey SJ, Wilkerson DP, Dimenna FJ, Jones AM, Bailey SJ, Wilkerson DP, et al. Influence of repeated sprint training on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. 2009;1875–87.
 33. Krstrup P, Hellsten Y, Bangsbo J. Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. *J Physiol*. Wiley Online Library; 2004;559(1):335–45.
 34. Overend TJ, Paterson DH, Cunningham DA. The effect of interval and continuous training on the aerobic parameters. *Can J Sport Sci*. 1992;17(2):129–34.
 35. Weston M, Taylor KL, Batterham AM, Hopkins WG. Effects of low-volume high-intensity interval training (HIT) on fitness in adults: a meta-analysis of controlled and non-controlled trials. *Sport Med*. Springer; 2014;44(7):1005–17.