

Padrões de oxidação de substratos durante exercício cardiorespiratório prescrito por métodos direto e indireto

<http://dx.doi.org/10.11606/1807-5509201700020373>

Marcelo Luis MARQUEZI*
Marco Antonio UZUNIAN*
Roberto GIMENEZ*
Maurício Teodoro de SOUZA*

*Universidade Cidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

Resumo

O Colégio Americano de Medicina Esportiva recomenda intensidades de 55 a 70% da frequência cardíaca de reserva (FCr) para prescrição do exercício de resistência cardiorespiratória (ECr) objetivando a alteração da composição corporal. Entretanto, vários estudos verificaram que a oxidação de lipídeos (LIPox) máxima está diretamente relacionada ao primeiro limiar anaeróbio (LAN1) e ocorre em intensidades por volta de 60% da frequência cardíaca máxima (FCmax) e 55% do consumo máximo de oxigênio (VO₂max). O objetivo do presente estudo foi verificar e comparar as taxas de oxidação de substratos resultantes do ECr prescrito pelos métodos dos limiares anaeróbios ventilatórios (método "direto", mDR) e da reserva da frequência cardíaca (método "indireto", mIND). Sete indivíduos ativos não treinados foram submetidos a 60min de ECr nas intensidades do LAN1 e 55% da FCr para determinação das taxas de oxidação de lipídeos (LIP) e carboidratos (CHO) por calorimetria indireta, após jejum noturno de 8h seguido de ingestão de maltodextrina (2g/kg, solução a 6%) 30min antes do início da atividade. Nossos resultados demonstraram que os métodos de prescrição promoveram padrões distintos de LIPox (0,23 ± 0,01 e 0,10 ± 0,01 g/min; mDR e mIND, respectivamente; *p* < 0,05); como consequência, a contribuição relativa de LIP para o dispêndio calórico durante a sessão mDR foi aproximadamente 1,8 vezes maior em comparação a mIND (25,9 ± 0,9 e 14,6 ± 1,0 %; mDR e mIND, respectivamente; *p* < 0,05). Apesar da prescrição por método da reserva da frequência cardíaca subestimar a LIPox, este método indicou para uma aplicabilidade que se aproxima dos critérios cientificamente preconizados, o que para uma indicação de intensidade em situações de campo poderá acarretar em menor margem de erros.

PALAVRAS-CHAVE: Oxidação de substratos; Limiares anaeróbios; Reserva da frequência cardíaca; Resistência cardiorespiratória.

Introdução

A prescrição de exercícios físicos, de acordo com o nível de aptidão e objetivos do indivíduo, envolve as variáveis frequência (número de sessões semanais), volume (duração) e intensidade¹. A duração e frequência do treinamento físico são variáveis relativamente fáceis de monitorar, existindo consenso na literatura sobre suas formas de aplicação. Por outro lado, existem diversas maneiras de monitorar a intensidade de exercício e um balanço entre validade, aplicabilidade e praticidade desses métodos deve ser considerado²⁻⁵.

A resistência cardiorespiratória (expressa pelo consumo máximo de oxigênio, VO₂max) é um dos

componentes mais importantes da aptidão física. Ela consiste na capacidade de realizar exercícios dinâmicos envolvendo grandes grupos musculares, em intensidades de moderada a alta, por períodos prolongados¹. O treinamento desta capacidade promove, entre outras adaptações, aumento da atividade oxidativa mitocondrial⁶⁻⁷, elevação da oxidação de lipídeos (LIP)⁸⁻⁹ e redução da concentração sanguínea de lactato mesmo em altas intensidades relativas de esforço¹⁰⁻¹², implicando em melhoria do desempenho, maior taxa de oxidação de lipídeos (LIPox) durante o exercício e alterações da composição corporal¹³.

Com relação ao metabolismo lipídico, alterações do estado nutricional e suplementação de agentes que estimulam a oxidação de ácidos graxos (AGs) têm sido utilizadas como estratégias para alterar a composição corporal, uma vez que baixas LIPOx podem estar envolvidas com o desenvolvimento de sobrepeso, diabetes tipo II e doenças cardiovasculares¹⁴. Entretanto, a utilização de LIP pelos músculos esqueléticos é extremamente sensível à intensidade do exercício¹⁵. Por volta de 50% do VO_2 max (intensidade próxima ao primeiro limiar anaeróbio, LAN1), por exemplo, o fluxo de substratos através da via glicolítica é limitado pelos produtos finais da degradação de LIP, principalmente citrato e ATP, em virtude do recrutamento predominante de fibras musculares do tipo I e elevada atividade oxidativa. A demanda energética, em consequência, é satisfatoriamente suprida por mecanismos oxidativos (ciclo dos ácidos tricarboxílicos, CAT, e fosforilação oxidativa), através da degradação preferencial de AGs¹⁶⁻²⁰.

Aumentos de intensidade ao longo do exercício elevam o recrutamento de fibras do tipo II, a atividade do sistema nervoso autonômico simpático, a demanda energética e, em consequência, as concentrações de ADP, AMP, P_i e NH_4^+ , estimulando a atividade glicogenolítica e glicolítica¹⁹⁻²¹. Nas intensidades entre 50% a 75% do VO_2 max, a oxidação de AGs em relação à oxidação de glicogênio/glicose diminui, inibida, principalmente, pelo aumento do recrutamento de fibras do tipo II e elevação da atividade glicolítica e, parcialmente, pela maior produção e acumulação de íons H^+ . Acima de 75% do VO_2 max (intensidade próxima ao segundo limiar anaeróbio, LAN2), a oxidação de glicogênio/glicose aumenta acentuada e progressivamente, assim como a esterificação de AGs¹⁶⁻²⁰. Após o LAN2 a demanda energética passa a ser

suprida predominantemente pela glicogenólise hepática/muscular e glicólise muscular, sendo que o subsequente acúmulo sanguíneo de lactato e íons hidrogênio indicam o aumento da atividade destas vias.

O Colégio Americano de Medicina Esportiva recomenda intensidades de 55 a 70% da frequência cardíaca de reserva (FCr) para prescrição do exercício de resistência cardiorespiratória (ECr) objetivando a alteração da composição corporal¹. Entretanto, vários autores verificaram que a LIPOx máxima está diretamente relacionada ao LAN1^{12, 22-23} e ocorre em intensidades por volta de 60% da frequência cardíaca máxima (FCmax) e 55% do consumo máximo de oxigênio (VO_2 max)^{12, 22, 24-25}.

Segundo a literatura, a prescrição do ECr através de equações preditivas ou médias populacionais, objetivando a alteração da composição corporal, normalmente superestima a intensidade do exercício^{2, 26-28} e promove adaptações relacionadas à LIPOx distintas daquelas resultantes do treinamento prescrito com base na mensuração do VO_2 ^{15, 24-25, 29}. BIRCHER & KNECHTLE²² e AUCOUTURIER et al⁵, por exemplo, observaram grande variabilidade interindividual e redução da LIPOx entre 6 e 14%, respectivamente, durante o exercício prescrito a partir do VO_2 estimado por equação preditiva em comparação ao VO_2 mensurado por ergoespirometria.

O objetivo do presente estudo, neste sentido, foi verificar e comparar as taxas de oxidação de substratos resultantes do ECr prescrito pelos métodos dos limiares anaeróbios ventilatórios e da reserva da frequência cardíaca. Nossa hipótese estabelece que o padrão de oxidação de substratos difere entre os métodos de prescrição, com maior utilização de LIP durante o ECr prescrito através dos limiares anaeróbios ventilatórios.

Método

Delineamento Experimental

Todos os procedimentos foram submetidos e aprovados pelo Comitê de Ética para Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Cidade de São Paulo (UNICID), e registrado no Conselho Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP; CAAE – 0016.0.186.000-11) e Sistema Nacional de Ética em Pesquisa (SISNEP; FR - 401237), Ministério da Saúde, Brasil. Os sujeitos assinaram termo de

consentimento de participação após concordarem com os objetivos, riscos e benefícios relacionados ao estudo. O experimento foi conduzido no Laboratório de Pesquisa em Educação Física e Fisioterapia da Universidade Cidade de São Paulo (LAPEFFI – UNICID).

Participaram do estudo sete indivíduos do gênero masculino (alunos do curso de Educação Física), ativos não treinados (~120min/sem de prática de atividades físicas recreacionais), assintomáticos,

não fumantes e que não estavam utilizando qualquer medicamento ou suplementação no período do estudo. Após avaliação clínica, os sujeitos foram testados para determinação do pico de consumo de oxigênio (VO_{2pico}) e limiares anaeróbios ventilatórios (primeiro e segundo limiares, LAN1 e LAN2, respectivamente). Os valores médios \pm erro padrão para idade, peso, estatura e VO_{2pico} absoluto e relativo a massa corporal total dos sujeitos foram $25,4 \pm 1,8$ anos, $82,7 \pm 3,6$ kg, $173,8 \pm 2,1$ cm, $3,39 \pm 0,20$ l/min e $41,23 \pm 3,34$ ml/kg/min, respectivamente.

Os sujeitos foram orientados, durante a semana anterior à realização das avaliações iniciais, a manter o padrão alimentar habitual (número de refeições

diárias, tipo de alimento consumido e modo de preparo) ao longo de todo período do estudo.

Nas semanas seguintes à realização das avaliações iniciais os sujeitos foram submetidos, em dias separados, a 60min de ECr nas intensidades do LAN1 e 55% da FCrs, após jejum noturno de 8h seguido de ingestão de maltodextrina (2g/kg, solução a 6%), 30min antes do início da atividade. A restrição alimentar e ingestão de carboidrato anteriormente às sessões de ECr tiveram como propósito possibilitar estados metabólicos semelhantes entre sujeitos nas ocasiões de realização das sessões experimentais. Ao longo das sessões experimentais realizou-se a determinação das taxas de oxidação de substratos (LIP e CHO).

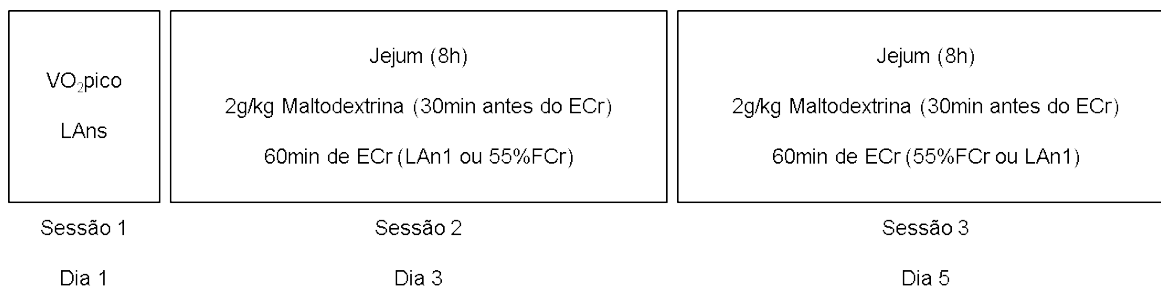


FIGURA 1 - Desenho Experimental.

Durante as sessões experimentais a temperatura e umidade relativa do laboratório foram mantidas ao redor de 22°C e 45-60%, respectivamente. Anteriormente à realização dos testes todos os equipamentos utilizados na aquisição, armazenamento e processamento dos sinais biológicos foram calibrados. Em cada sessão experimental foram testados dois sujeitos. Os sujeitos foram orientados a não realizar qualquer tipo de esforço físico extenuante, não ingerir bebidas alcoólicas e/ou estimulantes (chá, café) no dia anterior dos testes. As sessões experimentais foram realizadas nas manhãs seguintes ao período de jejum noturno e denominadas mDR (método dos limiares anaeróbios ventilatórios; método “direto”) e mIND (método reserva da frequência cardíaca, método “indireto”).

Teste Máximo e Determinação do Pico de Consumo de Oxigênio

Anteriormente ao teste, os sujeitos permaneceram sentados em repouso, durante 4min, para coletas ventilatórias e registros de frequência cardíaca (FC) iniciais. O protocolo de teste consistiu em corrida em esteira

(Modelo ATL, Inbrasport; Brasil), com velocidade inicial de 6km/h, seguido de incrementos de 1km/h a cada 1 minuto até a exaustão voluntária dos sujeitos.

Os parâmetros ventilatórios foram coletados durante o repouso e continuamente ao longo dos testes, a cada ciclo respiratório, e analisados em médias de vinte segundos através de analisador de gases computadorizado (modelo VO2000; Inbrasport Ltda; Brasil). O analisador de gases foi calibrado para volume e concentração padrão de gases imediatamente antes do primeiro teste do dia e re-calibrado após cada teste. A calibração foi realizada com amostras de gás ambiente (20,9% de oxigênio, O_2 e 0,04% de dióxido de carbono, CO_2) e com amostras obtidas a partir de um cilindro com concentração conhecida de O_2 (17%) e de CO_2 (5%). Além disso, o fluxo de gases do aparelho foi calibrado utilizando uma seringa de três litros, conforme padronização do fabricante. A FC foi registrada através de monitor cardíaco (modelo Sport Test; Polar Electro OY; Finlândia), continuamente ao longo dos testes. Após a exaustão foram realizados dois períodos de recuperação de 2min, com 50% e 25% da velocidade máxima atingida. Nos períodos de recupe-

ração somente a FC foi monitorada. Os critérios para determinação do $\dot{V}O_2$ pico e exaustão foram ocorrência de um platô no $\dot{V}O_2$ (caracterizado por aumentos de 2ml/kg/min ou menores) e incapacidade de manter a velocidade de corrida, respectivamente.

Determinação dos Limiares Anaeróbios Ventilatórios

Os limiares anaeróbios ventilatórios (LAN1 e LAN2) foram determinados a partir dos equivalentes ventilatórios de O_2 ($VE/\dot{V}O_2$) e CO_2 (VE/VCO_2), frações expiradas finais de O_2 (FEO_2) e CO_2 ($FECO_2$) e quociente respiratório (QR), e expressos em função do $\dot{V}O_2$ (em l/min). O LAN1 correspondeu ao menor valor de $VE/\dot{V}O_2$ antes de seu aumento continuado³⁰⁻³¹ associado ao início do aumento abrupto e continuado do QR³². O LAN2 correspondeu ao ponto em que os aumentos de $VE/\dot{V}O_2$, VE/VCO_2 e FEO_2 coincidiram com a queda de $FECO_2$ ^{31,33}.

Determinação da Frequência Cardíaca Alvo do ECr

A determinação da frequência cardíaca alvo do ECr (FCtr) foi realizada conforme recomendações do ACSM (2009), a partir da equação de GELLISH et al³⁴ para previsão da FCmax pela idade (FCmaxP) e FC de repouso (FCrep), como descrito abaixo:

- FCmaxP (em bpm) = $206,9 - (0,67 \times \text{idade})$;
- FCtr (em bpm) = $[(FCmaxP - FCrep) \times 0,55] + FCrep$

Sessões Experimentais

Nas semanas seguintes à realização das avaliações iniciais os sujeitos foram submetidos, em dias separados, a 60min de ECr nas intensidades do LAN1 e 55% da FCrs, após jejum noturno de 8h seguido de ingestão de maltodextrina (2g/kg, solução a 6%),

Resultados

Teste Máximo e Intensidades de Exercício

Os valores individuais para $\dot{V}O_2$, FC e velocidade de corrida, no esforço máximo e na inten-

30min antes do início da atividade, para determinação das taxas de oxidação de nutrientes (LIP e CHO). As sessões experimentais mDR e mIND foram realizadas nas manhãs seguintes ao período de jejum noturno. Como citado anteriormente, a restrição alimentar e ingestão de carboidrato anteriormente às sessões de ECr tiveram como propósito possibilitar estados metabólicos semelhantes entre sujeitos nas ocasiões de realização das sessões experimentais.

Oxidação de Substratos

As taxas absolutas de oxidação de LIP e CHO (LIPox e CHOox, respectivamente) foram determinadas aos 10, 20, 30, 40, 50 e 60min do exercício, a partir dos valores médios de $\dot{V}O_2$ e VCO_2 (l/min) correspondentes aos 2 últimos minutos de cada período. As taxas absolutas de oxidação (em g/min) foram calculadas usando equações estequiométricas de FRAYN³⁵, supondo que a taxa de excreção de nitrogênio foi insignificante. A energia provida da oxidação de LIP e CHO (LIPkc e CHOkc, respectivamente; em kcal/min) foi calculada a partir de seus respectivos equivalentes energéticos (9,75 e 3,87 kcal/g).

Tratamento Estatístico

Os resultados estão apresentados como média \pm erro padrão. A homogeneidade das variâncias dos parâmetros ventilatórios, FC e taxa de oxidação de substratos foi verificada através do teste de Levene. O efeito dos métodos de prescrição sobre os parâmetros ventilatórios e taxas de oxidação de CHO e LIP ao longo das sessões experimentais foi verificado através de análise de variância de dois fatores (método x tempo) seguido de teste post hoc HSD de Tukey. As médias das sessões experimentais foram comparadas através de teste t de Student para dados pareados. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$. O tratamento estatístico foi realizado através do software Statistica for Windows (versão 8.0, 2007; Statsoft, Inc.; Estados Unidos).

sidade do LAN1, estão apresentados na TABELA 1. Os valores médios na intensidade do LAN1, relativos ao esforço máximo, para $\dot{V}O_2$, FC e velocidade de corrida foram 49%, 72% e 50%, respectivamente.

TABELA 1 - Teste Máximo e Parâmetros Utilizados para Prescrição Direta do ECr.

SUJEITOS	VO ₂ (l/min)		FC (bpm)		VEL (km/h)	
	<i>Emx</i>	<i>LAn1</i>	<i>Emx</i>	<i>LAn1</i>	<i>Emx</i>	<i>LAn1</i>
1	2,98	1,49 (50,0%)	197	133 (67,5%)	15	7 (46,7%)
2	4,24	1,91 (45,0%)	190	135 (71,0%)	16	8 (71,0%)
3	3,09	1,74 (56,3%)	197	145 (73,6%)	13	7 (53,8%)
4	3,47	1,68 (48,4%)	187	132 (70,6%)	14	7 (50,0%)
5	3,90	1,80 (46,1%)	195	145 (74,5%)	15	7 (46,7%)
6	3,32	1,46 (43,9%)	191	154 (80,6%)	15	8 (53,3%)
7	2,74	1,20 (43,7%)	211	139 (65,9%)	15	7 (46,7%)
média ± ep	3,39 ± 0,20	1,61 ± 0,09	195,4 ± 3,0	140,4 ± 3,0	14,7 ± 0,4	7,3 ± 0,2

Valores individuais e médios ± erro padrão; n = 7. *Emx*, esforço máximo; *LAn1*, intensidade do primeiro limiar anaeróbio. VO₂, consumo de oxigênio; FC, frequência cardíaca; VEL, velocidade de corrida. Em parênteses estão descritos valores relativos ao esforço máximo.

Os parâmetros utilizados para a prescrição indireta do ECr (determinação da frequência cardíaca alvo, FC_{tr}) estão apresentados na TABELA 2. Não foi observada diferença significati-

va entre os valores médios de FC_{tr} obtidos entre os métodos de prescrição (140,3 ± 3,0 e 137,0 ± 1,6 bpm; mDR e mIND, respectivamente; p = 0,33).

TABELA 2 - Parâmetros Utilizados para Prescrição Indireta do ECr.

SUJEITOS	IDD (anos)	FC _{mp} (bpm)	FC _{rp} (bpm)	FC _{rsv} (bpm)	%FC _{rsv}	FC _{tr} (bpm)
1	24	191	64	127	55	134
2	24	191	65	126	55	134
3	29	187	78	109	55	138
4	18	195	85	110	55	145
5	30	187	77	110	55	137
6	31	186	70	116	55	134
7	22	192	68	124	55	136
média ± ep	25,4 ± 1,8	189,9 ± 1,2	72,4 ± 2,9	117,7 ± 3,0	55,0 ± 0,0	137,0 ± 1,6

Valores individuais e médios ± erro padrão; n = 7. IDD, idade; FC_{mp}, frequência cardíaca máxima prevista pela idade; FC_{rp}, frequência cardíaca de repouso; FC_{rsv}, frequência cardíaca de reserva; %FC_{rsv}, intensidade de exercício; FC_{tr}, frequência cardíaca alvo do ECr.

Sessões Experimentais

Os valores médios para VO₂, VCO₂, QR, taxas absolutas de oxidação e energia derivada de CHO e LIP, a cada período de 10min de exercício das sessões experimentais (10, 20, 30, 40, 50 e 60min), estão apresentados nas TABELAS 3 e 4. Os méto-

dos de prescrição promoveram padrões distintos de oxidação de LIP, com diferenças significativas para VO₂, QR (TABELA 3), LIP_{ox} e LIP_{kc} (TABELA 4) ao longo dos períodos de exercício entre as sessões experimentais. Entretanto, não foram observadas diferenças significativas em qualquer período de exercício para VCO₂, CHO_{ox} e CHO_{kc}.

TABELA 3 - Parâmetros Ventilatórios ao Longo das Sessões de ECr.

Valores médios \pm erro padrão; $n = 7$. VO_2 , consumo de oxigênio; VCO_2 , produção de dióxido de carbono; QR, quociente respiratório. * $p < 0,05$ vs. mDR.

SESSÃO	PERÍODOS (min)	VO_2 (l/min)	VCO_2 (l/min)	QR
<i>mDR</i>	10	1,24 \pm 0,05	1,16 \pm 0,05	0,95 \pm 0,01
	20	1,73 \pm 0,03	1,67 \pm 0,03	0,97 \pm 0,01
	30	1,71 \pm 0,04	1,63 \pm 0,03	0,96 \pm 0,01
	40	1,76 \pm 0,04	1,65 \pm 0,04	0,95 \pm 0,01
	50	1,78 \pm 0,04	1,65 \pm 0,04	0,93 \pm 0,01
	60	1,81 \pm 0,04	1,66 \pm 0,03	0,92 \pm 0,01
<i>mIND</i>	10	1,06 \pm 0,04*	1,05 \pm 0,05	0,98 \pm 0,01
	20	1,49 \pm 0,04*	1,52 \pm 0,04	1,02 \pm 0,00*
	30	1,54 \pm 0,03	1,56 \pm 0,03	1,01 \pm 0,00*
	40	1,55 \pm 0,03*	1,54 \pm 0,03	0,99 \pm 0,00*
	50	1,60 \pm 0,04*	1,55 \pm 0,04	0,98 \pm 0,00*
	60	1,60 \pm 0,04*	1,53 \pm 0,04	0,96 \pm 0,00

TABELA 4 - Oxidação de Substratos ao Longo das Sessões de ECr.

Valores médios \pm erro padrão; $n = 7$. CHOox e LIPox, taxas absolutas de oxidação de CHO e LIP, respectivamente; CHOkc e LIPkc, energia derivada de CHO e LIP, respectivamente. * $P < 0,05$ vs. mDR.

SESSÃO	PERÍODOS (min)	CHOox (g/min)	LIPox (g/min)	CHOkc (kcal/min)	LIPkc (kcal/min)
<i>mDR</i>	10	1,36 \pm 0,09	0,19 \pm 0,03	5,25 \pm 0,36	1,87 \pm 0,25
	20	2,09 \pm 0,09	0,18 \pm 0,03	8,07 \pm 0,36	1,80 \pm 0,26
	30	1,96 \pm 0,09	0,20 \pm 0,03	7,59 \pm 0,34	1,99 \pm 0,25
	40	1,90 \pm 0,08	0,23 \pm 0,03	7,36 \pm 0,32	2,21 \pm 0,26
	50	1,83 \pm 0,08	0,26 \pm 0,03	7,07 \pm 0,32	2,49 \pm 0,27
	60	1,77 \pm 0,08	0,29 \pm 0,03	6,86 \pm 0,31	2,80 \pm 0,27
<i>mIND</i>	10	1,39 \pm 0,07	0,05 \pm 0,01*	5,38 \pm 0,29	0,47 \pm 0,06*
	20	2,16 \pm 0,06	0,02 \pm 0,00*	8,36 \pm 0,25	0,15 \pm 0,03*
	30	2,15 \pm 0,05	0,02 \pm 0,00*	8,32 \pm 0,20	0,24 \pm 0,04*
	40	2,05 \pm 0,05	0,04 \pm 0,00*	7,95 \pm 0,20	0,36 \pm 0,04*
	50	1,98 \pm 0,05	0,07 \pm 0,01*	7,67 \pm 0,19	0,67 \pm 0,06*
	60	1,84 \pm 0,04	0,12 \pm 0,01*	7,12 \pm 1,17	1,20 \pm 0,10*

Em termos absolutos, o VO_2 ($1,67 \pm 0,02$ e $1,47 \pm 0,02$ l/min; mDR e mIND, respectivamente; $p < 0,05$) foi significativamente maior enquanto que o QR ($0,95 \pm 0,00$ e $0,99 \pm 0,00$; mDR e mIND, respectivamente; $p < 0,05$) foi significativamente menor durante a sessão mDR.

Como consequência, a LIPox ($0,23 \pm 0,01$ e $0,10 \pm 0,01$ g/min; mDR e mIND, respectivamente; $p <$

$0,05$) e a LIPkc ($2,19 \pm 0,07$ e $1,01 \pm 0,06$ kcal/min; mDR e mIND, respectivamente; $p < 0,05$) foram significativamente maiores durante a sessão mDR. A contribuição relativa de LIP para o dispêndio calórico durante a sessão mDR foi 1,8 vezes maior em comparação a mIND ($25,9 \pm 0,9$ e $14,6 \pm 1,0$ %; mDR e mIND, respectivamente; $p < 0,05$) (FIGURA 2).

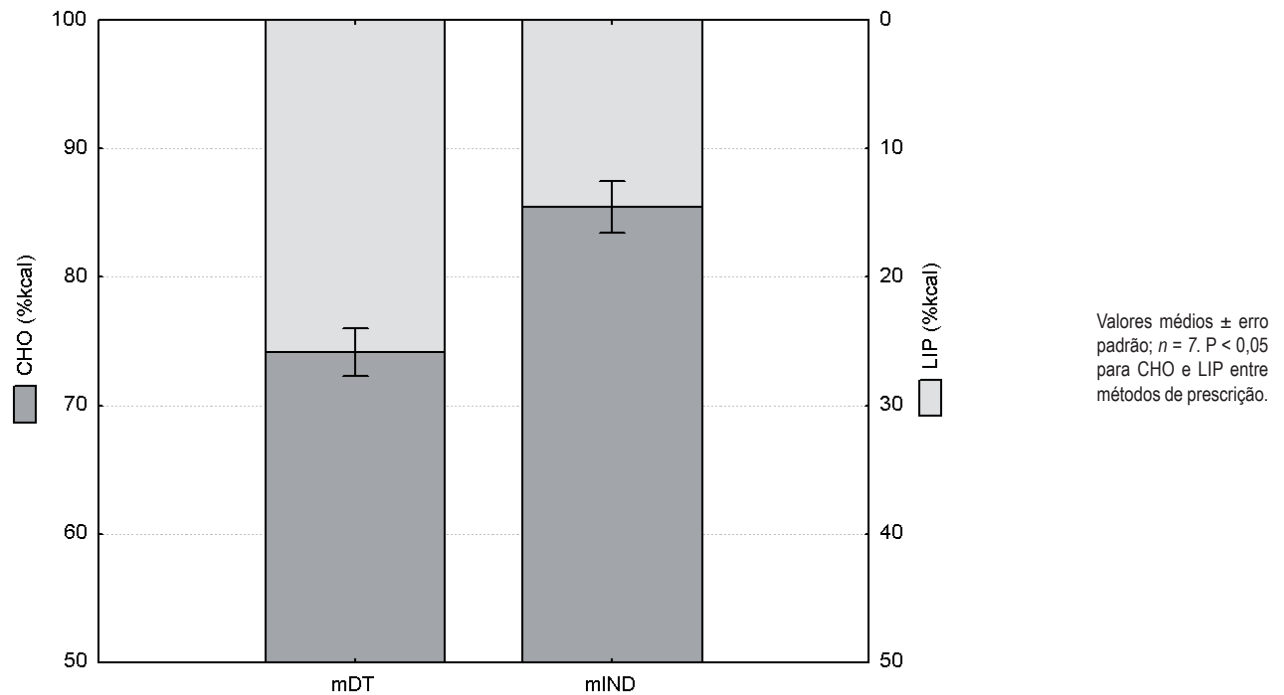


FIGURA 2 - Contribuição relativa de CHO e LIP para o dispêndio calórico.

Discussão

O objetivo do presente estudo foi verificar e comparar as taxas de oxidação de substratos resultantes do ECr prescrito pelos métodos dos limiares anaeróbios ventilatórios (mDIR) e da reserva da frequência cardíaca (mIND). Nossos resultados demonstraram que os métodos de prescrição promoveram padrões distintos de LIPox, com diferenças significativas para VO_2 e QR ao longo dos períodos de exercício entre as sessões experimentais. Em termos absolutos, o QR foi significativamente menor enquanto que LIPox e LIPkc foram significativamente maiores durante a sessão mDR; como consequência, a contribuição relativa de LIP para o dispêndio calórico durante a sessão mDR foi 1,8 vezes maior em comparação a mIND.

Diversos estudos têm se preocupado em identificar a intensidade adequada para otimização da LIPox durante o ECr. ACHTEN et al.²⁴ propuseram um protocolo de exercício de intensidade progressiva em cicloergômetro, composto de estágios com 3 minutos de duração e incrementos de carga de 35 watts, para identificação da zona de intensidade de LIPox máxima. Posteriormente, CHENEVIÈRE et al.³⁶ desenvolveram um modelo matemático para verificar a cinética da LIPox a partir do protocolo descrito acima. Os estudos indicaram intervalos de intensidade para LIPox máxima entre 44 a 49% do VO_{2max} e 60 a 64% da FC_{max} . RYNDERS et al.³⁷ utilizando protocolo ligeiramente diferente (estágios

com 3 minutos de duração e incrementos de carga de 15 watts) observaram que a LIPox máxima ocorre em intensidades próximas ao LAn1 (~ 47% do VO_2 max), assim como ACHTEN & JEUKENDRUP¹², BIRCHER & KNECHTLE,²² e MARQUEZI et al²³.

Todos estes estudos, entretanto, utilizaram ergoespirometria como método de determinação da intensidade de esforço, a partir da mensuração do VO_2 . Tal método requer equipamentos e padronizações adequadas, tornando-se pouco acessível para aplicação em situações “de campo”. Por outro lado, estabeleceu-se há algum tempo que FC e VO_2 (e conseqüentemente o gasto calórico, GC) estão linearmente relacionados em uma ampla gama de intensidades submáximas. Ao determinar a relação entre FC e VO_2 , a FC pode então ser utilizada para estimar o VO_2 , o que em hipótese dará um reflexo da intensidade do trabalho que está sendo realizado^{25, 27, 38}.

A utilização de métodos preditivos ou indiretos para determinar a intensidade do exercício em situações “de campo” tem sido considerada relevante para a questão da validade ecológica, uma vez que aproxima o estudo do fenômeno o mais possível da situação real; porém este fato sofre variação de acordo com o tipo de controle necessário durante a prática esportiva. Por exemplo, a velocidade de deslocamento pode ser usada para monitorar com precisão a intensidade do exercício em alguns modos de prática corporal, como corrida e natação. No entanto, em esportes como ciclismo, a velocidade de deslocamento nem sempre reflete a intensidade do esforço realizado. Nos esportes com este perfil, a relação velocidade-intensidade pode ser afetada por fatores como superfície do terreno e condições ambientais, entre outros.

Em posicionamento do Colégio Americano de Medicina Esportiva sobre a quantidade e qualidade recomendadas de exercício para o desenvolvimento e manutenção da aptidão física relacionada à saúde em adultos aparentemente saudáveis, uma indicação de prescrição indireta para o ECr foi sugerida utilizando-se como parâmetro de intensidade percentuais da FC de reserva (FCmáx - FCrep), distribuídos em zonas de treinamento de acordo com objetivos e adaptações distintos¹.

Com o intuito de aproximar o conhecimento científico da situação “real” foram desenvolvidos os frequencímetros portáteis sem fio aprimorando a mensuração da FC e tornando-se o método mais comumente utilizado para obter uma indicação da intensidade do exercício realizado em situações “de

campo”, já que a FC é fácil de monitorar e mostra um padrão muito estável durante o exercício²⁷.

Embora a adoção de parâmetros indiretos possibilite determinar a intensidade de uma sessão de exercícios e expressá-la como percentuais do VO_2 ou equivalentes metabólicos, a prescrição do ECr a partir deste procedimento só dará uma indicação da verdadeira intensidade, necessitando a relação individual entre FC e VO_2 ser determinada para uma estimativa mais precisa.

É sabido que a adoção de parâmetros indiretos para a prescrição do ECr, tal como a previsão do VO_2 a partir da FC, apresenta limitações, pois tal método baseia-se na premissa de que a relação entre FC e VO_2 é linear ao longo de toda uma gama de intensidades de trabalho; entretanto esta é uma simplificação, uma vez que a relação não é linear em baixas intensidades ou próximo ao esforço máximo^{2, 39-40}. Além disso, a estimativa da FC máxima (a partir de equações preditivas, por exemplo) pode superestimar ou subestimar a previsão do VO_2 ^{29, 41-42}, uma vez que foi demonstrada em vários estudos que o desvio padrão da previsão de FC máxima situa-se entre 8 a 12 bpm^{3, 26, 43}.

Uma outra finalidade para a relação entre FC e VO_2 como método de prescrição de intensidade do exercício foi a adoção desse indicador como forma de estimar indiretamente o dispêndio energético associado à prática corporal, através do monitoramento apenas da FC; entretanto este procedimento parece não ser adequado. Há um consenso geral de que enquanto o método de monitoramento da FC fornece estimativas satisfatórias do GC médio de um grupo, não é necessariamente preciso para estimativas individuais, uma vez que a relação entre FC e VO_2 apresenta variabilidade interindividual⁴⁰ assim como a própria utilização de substratos durante o exercício²³⁻²⁴. Dessa maneira, a intensidade do exercício, geralmente definida como a quantidade de energia despendida por minuto (em kcal/min) para executar uma determinada tarefa¹⁵, é vista como alternativa para estimar o gasto calórico durante a execução do exercício de maneira não invasiva, uma vez que os métodos que estão disponíveis atualmente para medir o dispêndio energético precisamente não podem ser usados em ambientes não laboratoriais.

Segundo a literatura, a prescrição do ECr através de equações preditivas ou médias populacionais, objetivando a alteração da composição corporal, normalmente superestima a intensidade do exercício^{2, 25, 27-28} e promove adaptações relacionadas à LIPox distintas daquelas resultantes do treinamento

prescrito com base na mensuração do VO_2 ^{15, 24-25, 29}. BIRCHER & KNECHTLE²² e AUCIUTURIER et al⁵, por exemplo, observaram grande variabilidade interindividual e redução da LIPox entre 6 e 14%, respectivamente, durante o exercício prescrito a partir do VO_2 estimado por equação preditiva em comparação ao VO_2 mensurado por ergoespirometria.

Neste sentido, a ocorrência de padrões distintos de oxidação de LIP verificada neste estudo, apesar de corroborar observações descritas na literatura, provavelmente não está associada exclusivamente ao tipo de determinação da intensidade do exercício. Outras variáveis intervenientes, tais como conteúdos de glicogênio muscular e padrões alimentares individuais, além da baixa reprodutibilidade do analisador de gases utilizado (modelo VO2000; Inbrasport Ltda; Brasil), como descrito por CROUTER et al.⁴⁴, podem

ter influenciado nos resultados obtidos e constituem-se em fatores limitantes do trabalho.

Nossos resultados demonstraram que os métodos de prescrição promoveram padrões distintos de oxidação de LIP, com diferenças significativas para VO_2 e QR ao longo dos períodos de exercício entre as sessões experimentais, sugerindo relativa validade ecológica. Porém, apesar de sabermos que a prescrição do ECr por método da reserva da frequência cardíaca subestima a LIPox comparada àquela realizada através dos limiares anaeróbios ventilatórios, este método indicou para uma aplicabilidade que se aproxima dos critérios cientificamente preconizados, o que para uma indicação de intensidade em situações de campo poderá acarretar em menor margem de erros.

Abstract

Substrate oxidation pattern during cardiorespiratory exercise prescribed by different methods

The American College of Sports Medicine recommends intensities of between 55% and 70% heart rate reserve (HRR) for prescription of endurance exercise (EEx) aiming the body composition change. However, several studies have found that the maximal lipid oxidation (LIPox) is directly related to anaerobic threshold (AT) and occurs at intensities around 60% maximal heart rate (HRmax) and 55% maximal oxygen uptake (VO_{2max}). The aim of this study was to compare the substrate oxidation rates from EEx prescribed by AT (direct method, mDR) and HRR (indirect method, mIND). Seven untrained healthy male subjects performed 60min of EEx at AT and 55% HRR for substrates oxidation rates by indirect calorimetry, after 8-h fasting followed by maltodextrin intake (2g/kg, 6% solution) 30-min before the onset of exercise. Our results showed dissimilar patterns of LIPox ($0,23 \pm 0,01$ e $0,10 \pm 0,01$ g/min; mDR e mIND, respectively; $p < 0,05$); as a consequence, the relative contribution of LIP oxidation to total energy expenditure was 1.8 times higher in AT than in HRR trial ($25,9 \pm 0,9$ e $14,6 \pm 1,0$ %; mDR e mIND, respectively; $p < 0,05$). Despite HRR underestimate the LIPox, this method indicated for applicability approaching the scientifically recommended criteria, which for strength indication in field situations may result in lower margin of error.

KEYWORDS: Substrate oxidation; Anaerobic threshold; Heart rate reserve; Cardiorespiratory fitness.

Referências

1. American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 8th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 2009.
2. Katch V, Weltman A, Sady S, et al. Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *Eur J Appl Physiol* 1978;39:219-27.
3. Miller WC, Wallace JP, Eggert KE. Predicting max HR and the HR- VO_2 relationship for exercise prescription in obesity. *Med Sci Sport Exerc* 1993;25:1077-81.
4. Caputo F, Greco CC, Denadai BS. Efeitos do Estado e Especificidade do Treinamento Aeróbio na Relação % VO_{2max} versus %FCmax Durante o Ciclismo. *Arq Bras Cardiol* 2005;84:20-3.

5. Aucouturier J, Rance M, Meyer M, et al. Determination of the maximal fat oxidation point in obese children and adolescents: validity of methods to assess maximal aerobic power. *Eur J Appl Physiol* 2009;105:325-31.
6. Holloszy JO, Coyle EF. Adaptation of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* 1984;56:831-38.
7. Sahlin K. Control of lipid oxidation at the mitochondrial level. *Appl Physiol Nutr Metab* 2009;34:382-8.
8. Lima-Silva AE, Bertuzzi RC, Pires FO, et al. Relationship between training status and maximal fat oxidation rate. *J Sports Sci Med* 2010;9:31-5.
9. Chenevière X, Borrani F, Droz D, et al. Effects of 2 different prior endurance exercises on whole-body fat oxidation kinetics: light vs. heavy exercise. *Appl Physiol Nut Metab* 2012;37:955–64.
10. Coggan AR, Raguso CA, Williams BD, et al. Glucose kinetics during high-intensity exercise in endurance-trained and untrained humans. *J Appl Physiol* 1995;78:1203-07.
11. Van Loon LJ, Jeukendrup AE, Saris WH, et al. Effect of training status on fuel selection during submaximal exercise with glucose ingestion. *J Appl Physiol* 1999;87:1413-20.
12. Achten J, Jeukendrup AE. Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities. *Int J Sports Med* 2004;25:32-7.
13. Marquezi ML. Adaptações decorrentes do exercício cardiorespiratório sobre a oxidação de lipídeos (exercício aeróbio). *Rev Mackenzie Educ Fis Esp* 2010;9:32-5.
14. Goodpaster BH, Wolf D. Skeletal muscle lipid accumulation in obesity, insulin resistance, and type 2 diabetes. *Pediatr Diabetes* 2004;5:219-26.
15. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993;265:E380-91.
16. Skinner JS, McLellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Resp Q Exerc Sport* 1980;51:234-48.
17. Bonen A, Mcdermott JC, Hutber CA. Carbohydrate metabolism in skeletal muscle: an update of current concepts. *Int J Sports Med* 1989;10:385-401.
18. Holloszy JO, Kohrt M, Hansen PA. The regulation of carbohydrate and fat metabolism during and after exercise. *Front Biosc* 1998;3:d1011-d1027.
19. Yeo WK, Carey AL, Burke L, et al. Fat adaptation in well-trained athletes: effects on cell metabolism. *Appl Physiol Nutr Metab* 2011;36:12-22.
20. Poortmans JR, Carpentier A. Metabolic regulation during sport events: factual interpretations and inadequate allegations. *Rev Bras Educ Fis Esporte* 2013;27:493-506.
21. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the “crossover” concept. *J Appl Physiol* 1994;76:2253-61.
22. Bircher S, Knechtle B. Relationship between fat oxidation and lactate threshold in athletes and obese women and men. *J Sports Sci Med* 2004;3:174-181.
23. Marquezi ML, Duarte L, Schwartz J, et al. Variabilidade interindividual da oxidação de substratos durante o exercício. *Rev Mackenzie Educ Fis Esp* 2009;8:3-19.
24. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sport Exerc* 2002;34:92-7.
25. Carey DG. Quantifying differences in the “fat burning” zone and the aerobic zone: implications for training. *J Strength Cond Res* 2009;23:2090-95.
26. Roecker K, Niess AM, Horstmann T, et al. Heart rate prescriptions from performance and anthropometrical characteristics. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:881-7.
27. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med* 2003;33:517-38.
28. Michallet AS, Tonini J, Regnier J, et al. Methodological aspects of crossover and maximum fat-oxidation rate point determination. *Diabetes Metab* 2008;34:514-23.
29. Bernard T, Gavarry O, Bermon S, et al. Relationships between oxygen consumption and heart rate in transitory and steady states of exercise and during recovery: influence of type of exercise. *Eur J Appl Physiol* 1997;75:170-6.
30. Caiozzo VJ, Davis JA, Ellis JF, et al. A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J Appl Physiol* 1982;53:1184-9.
31. Reinhard U, Muller PH, Schmulling RM. Determination of anaerobic threshold by the ventilation equivalent in normal individuals. *Respiration* 1979;38:36-42.
32. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986;60:2020-7.

33. Bhambhani Y, Singh M. Ventilatory threshold during a graded exercise test. *Respiration* 1985;47:120-8.
34. Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, et al. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med Sci Sport Exerc* 2007;39:822-9.
35. Frayn KN. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol* 1983;55:628-34.
36. Cheneviere X, Malatesta D, Peters EM, et al. A mathematical model to describe fat oxidation kinetics during graded exercise. *Med Sci Sport Exerc* 2009;41:1615-25.
37. Rynders CA, Angadi SA, Weltman NY, et al. Oxygen uptake and ratings of perceived exertion at the lactate threshold and maximal fat oxidation rate in untrained adults. *Eur J Appl Physiol* 2011;111:2063-8.
38. Gastinger S, Sorel A, Nicolas G, et al. A comparison between ventilation and heart rate as indicator of oxygen uptake during different intensities of exercise. *J Sports Sci Med* 2010;9:110-8.
39. Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sport Exerc* 2000;32:70-84.
40. Cunha FA, Farinatti PTV, Midgley AW. Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. *J Sci Med Sport* 2011;14:46-57.
41. Fairbairn MS, Blackie SP, McElvaney NG, et al. Prediction of heart rate and oxygen uptake during incremental and maximal exercise in healthy adults. *Chest* 1994;105:1365-9.
42. Scharhag-Rosenberger F, Meyer T, Gäßler N, et al. Exercise at given percentages of VO₂max: Heterogeneous metabolic responses between individuals. *J Sci Med Sport* 2010;13:74-9.
43. Whaley MH, Kaminsky LA, Dwyer GB, et al. Predictors of over- and underachievement of age-predicted maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:1173-9.
44. Crouter SE, Antczak A, Hudak JR, et al. Accuracy and reliability of the ParvoMedics TrueOne 2400 and MedGraphics VO2000 metabolic systems. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:139-51.

ENDEREÇO DE CORRESPONDÊNCIA
Marcelo Luis Marquezi
Rua Cesário Galeno, 432/448 – Tatuapé
CEP: 03071-000
São Paulo, SP - Brasil
Phone number – (55) (11) 2178-1212
E-mail: mlmqz@usp.br

Submetido: 24/01/2015
Revisado: 19/08/2015
Aceito: 19/01/2016

