

Identificação de limiares metabólicos em curvas de frequência cardíaca ajustadas

CDD. 20.ed. 796.022

Vitor Pereira COSTA*
Jorge Roberto Perrout de LIMA**
Fernando Roberto DE-OLIVEIRA***

*Centro de Fisioterapia, Educação Física e Desportos, Universidade do Estado de Santa Catarina.

**Faculdade de Educação Física e Desportos, Universidade Federal de Juiz de Fora.

***Núcleo de Estudos do Movimento Humano, Universidade Federal de Lavras.

Resumo

O objetivo deste estudo foi comparar os ajustes linear e sigmóide da frequência cardíaca (FC) durante o exercício incremental e analisar a validade destes modelos para identificar os limiares de transição metabólica em exercício progressivo, a partir de pontos de mudança no ajuste não-linear de Boltzmann. Dez "mountain bikers" de alto rendimento ($27,1 \pm 7,4$ anos; $67,0 \pm 6,1$ kg; $175,1 \pm 4,1$ cm; $6,1 \pm 1,9$ % de gordura) foram submetidos a teste progressivo no ciclo-simulador, com carga inicial de 100 W e incremento de 30 W a cada 3 min até a exaustão. A FC foi registrada batimento-a-batimento durante todo o teste. A curva da FC foi ajustada pela equação sigmóide de Boltzmann, com cálculo do Ponto de Inflexão da FC (PIFC = valor fixo V50 da equação) e Ponto de Deflexão da FC (PDFC = método $D_{máx}$). No final de cada estágio, foi determinada a concentração sanguínea de lactato ([La]). O primeiro limiar de lactato (LL_1) foi determinado através do cálculo do menor valor equivalente de lactato/carga. Para o segundo limiar (LL_2), foi acrescido $1,5 \text{ mmol.l}^{-1}$ ao menor valor deste equivalente. Em todos os atletas, o ajuste sigmóide da FC se apresentou mais adequado que o linear ($p < 0,0001$). O PIFC (161 ± 10 bpm) e PDFC (179 ± 5 bpm) foram identificados em oito e sete sujeitos, respectivamente. A FC e a carga do PIFC foram semelhantes às obtidas no LL_2 , enquanto que esses parâmetros foram menores no LL_1 e maiores no PDFC. Assim, é possível especular que o PIFC está no mesmo domínio fisiológico do LL_2 . Entretanto, foram encontradas fracas associações entre os limiares de lactato com o PIFC e PDFC (-0,08 a 0,37).

UNITERMOS: Limiares de lactato; Ponto de inflexão e deflexão da frequência cardíaca.

Introdução

Diversos autores sugerem a identificação de limiares de transição metabólica por meio da curva das concentrações sanguíneas de lactato [La] em função da intensidade/tempo em teste progressivo (BERG, JAKOB, LEHMANN, DICKHUTH, HUBER & KEUL, 1990; HECK, MADER, HESS, MÜCKE, MÜLLER & HOLLMANN, 1985). Tais procedimentos são realizados de maneira invasiva e requerem aparelhos específicos, utilizados por profissionais habilitados. Neste sentido, avaliar o comportamento da frequência cardíaca (FC) durante teste progressivo pode representar uma alternativa não-invasiva para identificação destes momentos de transição (BUNC, HOFFMAN, LEITNGER & GAISL, 1995; LIMA, 1997).

Por muitos anos, convencionou-se que o ajuste mais adequado para a resposta da FC durante o exercício

progressivo, seria representado por uma equação de regressão linear. ÄSTRAND e RODAHL (1980) reconheceram que alguns indivíduos apresentam um platô de FC em cargas próximas ao esforço máximo, no entanto, foram consideradas exceções ao comportamento linear. CONCONI, FERRARI, ZIGLIO, DROGHETTI e CODECA (1982) realizaram teste de campo em corredores bem treinados e observaram que a FC apresentava um comportamento curvilíneo a partir de determinada intensidade de esforço. Este momento foi denominado velocidade de deflexão ou ponto de deflexão da FC (PDFC), sendo associado ao limiar de lactato (LL). Posteriormente a esta publicação, muito se tem discutido a respeito da coincidência do PDFC com o LL (BOURGOIS & VRIJENS, 1998; BUNC et al., 1995) e de seu significado fisiológico (HOFMANN,

POKAN, VON DUVILLARD, SEIBERT, ZWEIKER & SCHMID, 1997; LUCIA, CARVAJAL, BORAITA, SERRATOSA, HOYOS & CHICHARRO, 1999).

Na realidade o PDFC é aceito como um indicativo do segundo limiar de lactato (LL_2) (RIBEIRO, FIELDING, HUGHES, BLACK, BOCHESI & KNUTTGEN, 1985) e, segundo recomendação de seus autores, pode ser identificado por inspeção visual. Entretanto, utilizando tal método, em alguns casos não é possível sua identificação e, em outros, carece de objetividade. CHENG, KUIPERS, SNYDER, KEIZER, JEUKENDRUP e HESSELINK (1992) desenvolveram um modelo matemático para estimativa dos limiares de lactato e ventilatório, denominado $D_{máx}$. KARA, GÖKBEL, BEDIZ, ERGENE, ÜÇÖK e UYSAL (1996) determinaram o PDFC de sujeitos não treinados aplicando o método $D_{máx}$ e compararam com os valores identificados por inspeção visual. Estes autores identificaram o PDFC em todos os indivíduos avaliados, reduzindo assim, algumas críticas quanto à subjetividade da identificação visual do PDFC.

LIMA (1997) analisou o ajuste da FC durante teste progressivo e verificou a presença de comportamento curvilíneo, não somente nas cargas finais, mas também no início do exercício. A existência de comportamentos curvilíneos nas extremidades da curva sugeriu a forma de "S" alongado. O autor observou que o ajuste sigmóide foi o mais adequado para as curvas de FC durante teste progressivo em 82% dos sujeitos, sendo que estudos mais recentes também têm utilizado, com sucesso, o ajuste sigmóide (DE-OLIVEIRA, 2004; FERNANDES, ADAMI, COSTA, LIMA-SILVA & DE-OLIVEIRA, 2005; PIOVEZANA & DE-OLIVEIRA, 2005).

Metodologia

A amostra foi do tipo não probabilística intencional. Foram selecionados 10 "mountain bikers" que disputam campeonatos estaduais, nacionais. Os atletas foram avaliados no período competitivo do plano anual de treinamento. Os dados foram obtidos após assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido, conforme projeto de pesquisa aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade do Estado de Santa Catarina (Florianópolis - Brasil), sob protocolo no 017/05. Todos os testes foram realizados no Laboratório de Avaliação Morfofuncional (LAPEM), do Centro de Educação Física, Fisioterapia e Desportos (CEFID), na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

A curva sigmóide se apresenta como sendo composta por duas parábolas, a primeira côncava e a segunda convexa, unidas por um ponto de crescimento máximo ou ponto de inflexão da FC (PIFC), com localização anterior ao PDFC. LIMA (1997) apresentou que o PIFC foi encontrado em intensidade superior ao primeiro limiar de lactato (LL_1). Recentemente, PIOVEZANA e DE-OLIVEIRA (2005) não encontraram diferenças significantes entre o PIFC e o PDFC, restando dúvidas sobre o domínio fisiológico a que pertence o PIFC. Em atletas de alto nível aeróbio, o emprego da curva derivada do ajuste sigmóide para identificação do PIFC e do PDFC ainda não foi estudado. Além disso, para sua melhor utilização prática em avaliações da aptidão aeróbia e em tomadas de decisões pedagógicas para a prescrição do treinamento, é necessária à análise em conjuntos destas variáveis com outros limiares de transições metabólicas.

Como hipótese de estudo, espera-se que o ajuste sigmóide seja superior ao linear para determinar o comportamento da FC em teste progressivo e que, além de serem altamente associados, o PIFC corresponda ao LL_1 e o PDFC ao LL_2 em atletas altamente treinados.

Assim, os objetivos formulados para o presente estudo foram: a) comparar os ajustes linear e sigmóide da FC durante o exercício incremental e b) analisar a validade da utilização do ajuste não-linear de Boltzmann para identificar os limiares de transição metabólica em exercício progressivo, a partir de pontos da curva de FC.

Foi realizada a avaliação antropométrica, com medidas de estatura (Sanny®), peso (TOLEDO® - Modelo 2086 PP), e dobras cutâneas (CESCORF® - Mitutoyo) das regiões do tórax, abdômen e coxa, conforme a padronização do protocolo de três dobras, proposto por JACKSON e POLLOCK (1978).

Os sujeitos foram submetidos a um teste aeróbio progressivo, realizado em sua própria bicicleta acoplada ao ciclo-simulador (CompuTrainer™ RacerMate 8000, Seattle WA). Antes do teste, foi realizado aquecimento, com duração de 8 min, com carga de 50 watts (W).

O teste foi iniciado com carga de 100 W e incrementos de 30 W a cada 3 min, até exaustão. Durante todo o teste, os atletas deveriam manter a

cadência de pedalada entre 90 - 110 rpm. O teste era interrompido com a exaustão voluntária do atleta ou com a impossibilidade de sustentação da cadência determinada por mais de 10 s.

A FC foi registrada batimento-a-batimento durante todo o teste por meio de monitores de FC Polar (Vantage NV). As trocas gasosas foram registradas, a cada 20 s, por analisador de gases de circuito aberto Aerosport KB1C (Imbrasport®, Imbramed). O consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}) foi considerado como o maior valor de consumo de oxigênio atingido durante o teste.

Nos 30 s finais de cada estágio, eram coletadas amostras de 25 µl de sangue arterializado, do lóbulo da orelha previamente hiperemiada com Finalgon® e analisadas imediatamente no lactímetro da marca Yellow Springs® modelo 1500, para determinação da [La]. O primeiro limiar de lactato (LL_1) foi identificado pelo menor equivalente de [La]. W^{-1} e o segundo limiar de lactato (LL_2) foi obtido adicionando o valor fixo de 1,5 mmol.l⁻¹ ao menor equivalente (BERG et al., 1990).

Quando a potência do último estágio não foi completada, a potência aeróbia máxima (W_{max}) foi determinada segundo o método de KUIPERS, VERSTAPPEN, GEURTEN e VAN KRANENBURG (1985) com o emprego da seguinte equação:

$$W_{max} = Wf + (t/180 \times 30)$$

Para construção das curvas individuais, a FC foi registrada e transferida para o computador. O PIFC foi determinado após o ajuste da curva sigmóide de Boltzmann, utilizando-se o valor fixo de V50 gerado pela equação através dos resultados emitidos pelo software GraphPad Prism®. O PDFC foi identificado pelo método D_{max} aplicado à curva de FC ajustada por equação sigmóide e não pelo ajuste polinomial de terceira ordem proposto KARA et al., (1996). Resumidamente, o PDFC foi encontrado ligando-se com uma linha reta a partir do valor de FC entre 140 - 150 bpm até a FC máxima (FC_{max}) durante o teste progressivo. O ponto mais distante entre a reta e a curva ajustada, foi considerado o PDFC.

Wf é a potência em watts do último estágio completado;
t é o tempo em s do estágio incompleto;
180 é o tempo em s proposto para cada estágio;
30 W é o valor do incremento das cargas em cada estágio.

Análise estatística

Para identificar as características dos sujeitos, foi utilizada estatística descritiva com valores de média e desvio padrão. Após aplicação do teste de normalidade, para comparação do PIFC e PDFC com os limiares de lactato, optou-se por estatística paramétrica com emprego da ANOVA com um fator para medidas repetidas, seguida do teste de Tukey. Utilizou-se a correlação de Pearson para verificação do grau de associação entre as variáveis.

Para cada participante, foi realizada a comparação entre o ajuste linear e sigmóide de Boltzmann, para o comportamento da FC durante o teste progressivo. Para escolha do ajuste mais adequado, foi utilizado o índice de determinação (r^2), o Teste F e o Run Test (teste de mudança de sinal) (LIMA, 1997).

Foram utilizadas as seguintes equações:

1 - equação linear: $y = ax + b$

2 - equação sigmóide de Boltzmann: $y = AI + (AS-AI) / (1 + e^{[(PIFC-X)/Inc]})$

AI = Assíntota inferior;
AS = Assíntota superior;
PIFC = Ponto de inflexão da FC;
Inc = Inclinação;
e = Logaritmo natural (2,718).

Resultados

Na TABELA 1, são apresentados os valores descritivos de variáveis estudadas.

No final do teste progressivo, todos os atletas alcançaram valores finais de FC superiores a 90% da FC_{max} predita a partir da idade (220 - idade). Em adição, todos os sujeitos alcançaram a razão de troca respiratória superior a 1,10, atestando que os testes individuais foram máximos (TABELA 1).

TABELA 1 - Características dos participantes do estudo.

Variáveis	Média (DP)	Mínimo	Máximo
Idade (anos)	27 ± 7	17	37
Peso (kg)	67 ± 6	54,8	76,5
Estatura (cm)	175 ± 4	171	186
Gordura (%)	6,1 ± 1,9	3,2	10,5
FC _{max} (bpm)	192 ± 7	180	201
W_{max} (W)	333 ± 24	295	380
VO_{2pico} (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)*	69 ± 4	64	76

FC_{max} = Frequência cardíaca máxima;
 W_{max} = potência aeróbia máxima;
 VO_{2pico} = consumo máximo de oxigênio;
* N = 7 sujeitos.

Na análise do grupo de atletas, as equações sigmóide e linear ajustaram satisfatoriamente o comportamento da FC. No entanto, o valor médio do índice de determinação do ajuste sigmóide (0,982) foi significativamente superior ($p < 0,001$) ao linear (0,939). Na análise das curvas individuais,

para todos os “mountain bikers” o ajuste sigmóide se apresentou mais adequado que o ajuste linear ($p < 0,0001$). Na FIGURA 1 é apresentado um exemplo de ajuste sigmóide de Boltzmann e linear da FC durante teste progressivo de um dos indivíduos avaliados.

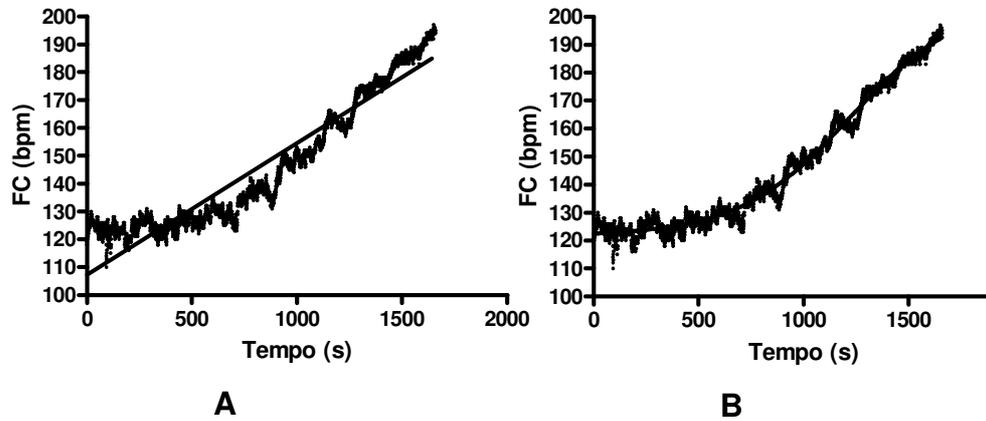


FIGURA 1 - Exemplo de ajuste linear (A) e sigmóide de Boltzmann (B) da FC (frequência cardíaca) durante teste progressivo de um indivíduo.

A dispersão dos resíduos de cada curva individual para o ajuste sigmóide e linear da FC, foi submetida ao teste de mudança de sinal. Ambos os ajustes apresentaram uma distribuição não-aleatória dos resíduos. Na FIGURA 2, estão representados os resíduos para o ajuste sigmóide de um atleta.

Observa-se que para o ajuste sigmóide, a dispersão é menor, aproximadamente simétrica e seu valor médio tende a se aproximar de zero. Já para o ajuste linear, a dispersão tem maior amplitude e apresenta pontos concentrados na região superior e inferior da curva ajustada.

* significativamente diferente dos demais ($p < 0,05$)

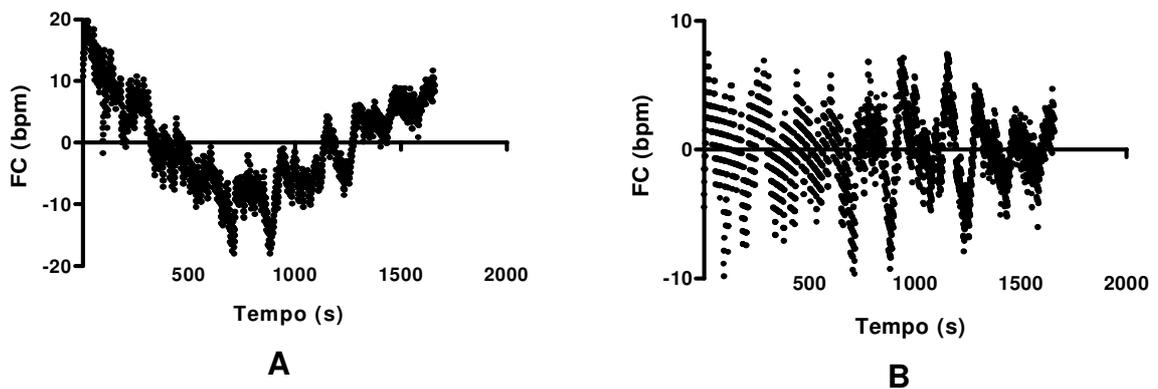
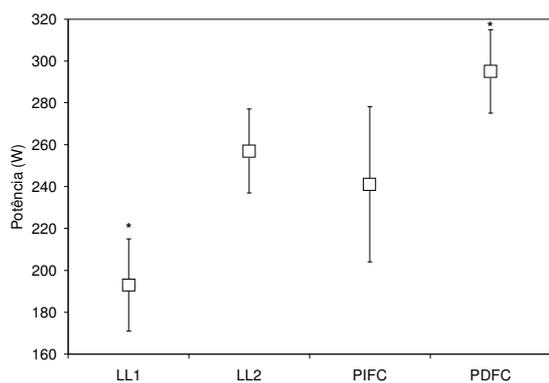


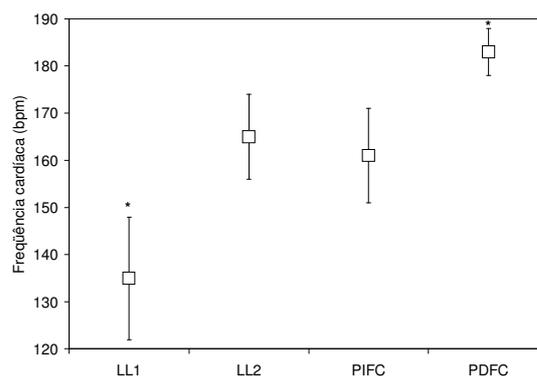
FIGURA 2 - Exemplo de dispersão dos resíduos no ajuste linear (A) e no ajuste sigmóide (B) da FC (frequência cardíaca) durante o teste progressivo de um indivíduo.

Como o ajuste sigmóide para a FC se apresentou mais adequado, O PIFC e o PDFC foram identificados e comparados com os LL. O PIFC foi identificado em oito sujeitos e o PDFC em sete. O LL₁ ocorreu na potência de 193 ± 22 W (FC = 135 ± 13 bpm), o LL₂ aos 257 ± 20 W (FC = 165 ± 10 bpm). Quanto aos limiares derivados na curva de FC, o PIFC ocorreu na

potência de 241 ± 37 W (FC = 161 ± 10 bpm) e o PDFC aos 295 ± 20 W (FC = 183 ± 5 bpm). O LL₁, tanto quando se considera a potência, quanto a FC atingida, foi significativamente menor que os demais. Por outro lado, o PDFC foi significante maior que os demais, não havendo diferença entre o LL₂ e o PIFC, conforme mostra a FIGURA 3.



A



B

LL₁ = primeiro limiar de lactato;
 LL₂ = segundo limiar de lactato;
 PIFC = ponto de inflexão de frequência cardíaca;
 PDFC = ponto de deflexão de frequência cardíaca;
 * significativamente diferente dos demais (p < 0,05).

FIGURA 3 - Potência (A) e frequência cardíaca (B) nos limites estudados.

A TABELA 2 apresenta o coeficiente de correlação de Pearson entre as intensidades nos LL e PIFC e PDFC. De forma geral, as associações encontradas apresentam-se fracas em relação aos LL e o PIFC e PDFC.

TABELA 2 - Coeficientes de correlação de Pearson, entre os limiares, considerando a potência (painel à esquerda) e frequência cardíaca (painel à direita) atingidas.

	Potência			Frequência cardíaca		
	LL ₁	LL ₂	PIFC	LL ₁	LL ₂	PIFC
LL ₁						
LL ₂	0,81*			0,85**		
PIFC	0,18	0,37		-0,08	0,002	
PDFC	-0,60	-0,31	-0,08	-0,07	0,33	0,88**

LL₁ = primeiro limiar de lactato;
 LL₂ = segundo limiar de lactato;
 PIFC = ponto de inflexão de frequência cardíaca;
 PDFC = ponto de deflexão de frequência cardíaca;
 * p < 0,05;
 ** p < 0,01.

Discussão

A base do conhecimento atual no estudo do comportamento de variáveis fisiológicas em testes progressivos apresenta pontos ou zonas de transição, demarcadores de passagens entre domínios funcionais. Inicialmente restrita às [La] e ventilação durante o exercício, já foi demonstrada esta tendência em variáveis como pressão arterial, frequência respiratória, déficit de pulso, amônia, catecolaminas, etc. Assim, deveria ser esperada a existência de tais fenômenos no estudo da FC, dado por um melhor ajuste não-linear.

De nosso conhecimento, este é o primeiro estudo a fazer a análise conjunta dos limiares de FC (PIFC e PDFC) a partir do ajuste sigmóide, comparando este ajuste ao linear e identificação dos dois limiares de lactato atletas de alto nível.

Os resultados do presente estudo indicam que o ajuste sigmóide é unanimemente superior ao linear. Estes achados únicos são diferentes dos encontrados por LIMA (1997), que encontrou melhor ajuste

sigmóide em 82% dos sujeitos, RIBEIRO (2004) em 81,7% e DE-OLIVEIRA (2004) em 48,7% dos casos. Essas desigualdades de resultados podem em parte, ser justificadas por diferenças metodológicas entre os estudos. Aqui, o incremento de carga foi de 30 W a cada 3 min, diferente de LIMA (1997), que utilizou aumento de 15 W a cada minuto, o que pode ter determinado uma "linearização" do comportamento da FC-carga. Em adição, os estudos de DE-OLIVEIRA (2004) e RIBEIRO (2004) utilizaram teste progressivo de campo, com corrida progressiva "contínua" e intermitente, respectivamente. Neste sentido, como não foram realizados estudos anteriores com intuito de verificar a influência de mudanças nos protocolos no ajuste sigmóide, deve-se ter cautela quanto à interpretação dos resultados devido às possíveis diferenças em variáveis intervenientes em cada estudo.

A equação sigmóide, além de descrever melhor o comportamento da FC, permite identificar os limites inferiores e superiores da curva. No presente

estudo, o PIFC foi identificado em 80% dos sujeitos, semelhante aos achados de LIMA (1997) - 81,1% e DE-OLIVEIRA (2004) - 74,4%, mas, diferente de RIBEIRO (2004) - 50,5%. PIOVEZANA e DE-OLIVEIRA (2005) verificaram a reprodutibilidade do PIFC em sujeitos saudáveis em uma "mountain bike" acoplada ao ciclo-simulador durante teste progressivo. Os resultados indicaram que, para ambos os testes, apenas 63,3% dos sujeitos apresentaram o PIFC. As razões para os diferentes resultados encontrados nestes estudos ainda não estão completamente esclarecidas. As variações de identificações do fenômeno e a baixa reprodutibilidade são inesperadas para este tipo de variável, o que pode colocar sob suspeita a generalização da ocorrência de comportamento sigmóide.

Apesar de se localizar no centro da curva sigmóide, o PIFC pode ser encontrado em porcentagens distintas da $FC_{máx}$, sugerido, além de representar a velocidade de crescimento máximo da FC, anterior à fase de desaceleração; especula-se o PIFC pode ser um indicativo de transição vagal-simpática. A alteração do equilíbrio autonômico poderia ser a causa do menor crescimento, mas, se fosse, talvez coincidissem com o LL_1 , como mostram os estudos com variabilidade da FC (LIMA, 1997). Entretanto no presente estudo está relacionado ao LL_2 . A identificação do PIFC pode ser um complemento para análises de controle autonômico sobre o coração durante o exercício, partindo de estudos dos diversos domínios de intensidade de esforço (DE-OLIVEIRA, 2004). Assim, apesar de algumas especulações, ainda não há explicação plausível do significado fisiológico deste ponto, e não pode ser descartada a possibilidade que esse ponto pode ser um artifício criado pelo ajuste sigmóide, que "força" duas parábolas na curva.

O PDFC, identificado pelo método $D_{máx}$, foi originalmente elaborado a partir de ajuste polinomial de terceira ordem (KARA et al., 1996). Recentemente, COSTA, KARASIAK, FRONCHETTI e KROEFF (2007) utilizaram o método $D_{máx}$ em ajuste polinomial de terceira ordem no ajuste da FC em 18 "mountain bikers" catarinenses durante o exercício progressivo. Os resultados indicaram que o PDFC foi identificado em 78% dos ciclistas. Estes achados são semelhantes aos encontrados por LEPRETE, FOSTER, KORALSZTEIN e BILLAT (2005) que identificaram o PDFC em 73% de ciclistas e triatletas utilizando o mesmo modelo matemático. Apesar de algumas semelhanças, no presente estudo o método $D_{máx}$ foi empregado no ajuste sigmóide

sendo que os resultados apresentam que em 70% dos sujeitos foi encontrada a deflexão. Estes achados são difíceis de serem comparados, pois sobre nosso conhecimento, apenas o estudo de FERNANDES et al. (2005) utilizaram o modelo $D_{máx}$ em ajuste sigmóide, sem relatar em quantos participantes o PDFC foi identificado.

Um importante ponto de controvérsia sobre o PDFC está no seu significado fisiológico. Segundo CONCONI et al., (1982) este ponto está fortemente correlacionado ao LL_1 , no entanto, os diferentes métodos utilizados para identificações de limiares de transições metabólicas podem enfraquecer esta associação. POKAN, HOFMANN, PREIDLER, LEITNER, DUSLEAG, EBER, SCHWABERGER, FUGER e KLEIN (1993) sugeriram que existe uma relação entre as funções miocárdias e o PDFC. Em sujeitos, nos quais o PDFC foi identificado, o volume de ejeção do ventrículo esquerdo permaneceu elevado até atingir a potência aeróbia máxima, permitindo que o débito cardíaco se mantivesse elevado sem que houvesse grande aumento na FC. LUCIA et al. (1999) verificaram que as dimensões cardíacas de ciclistas profissionais podem auxiliar na explicação do PDFC. A perda da linearidade da FC durante o teste progressivo foi predominantemente encontrada em ciclistas que apresentam as paredes cardíacas espessas. A literatura acrescenta que o PDFC é um fenômeno que realmente ocorre em muitos sujeitos, no entanto, os mecanismos fisiológicos que explicam esse comportamento não estão completamente esclarecidos (BODNER & RHODES, 2000).

Com a possibilidade de identificação de limiares de transições em ajuste sigmóide para a FC durante teste progressivo, comparou-se o PIFC e o PDFC com os limiares derivados da resposta do lactato sanguíneo. Não foram encontradas diferenças significativas entre as intensidades medidas pela potência e FC em LL_2 com as intensidades referentes ao PIFC. Apesar de os valores relativos de LL_2 e o PIFC serem semelhantes, o grau de associação entre essas variáveis não foi significativo ($r = -0,002$ a $0,37$).

Estes resultados estão em conflito com os achados de LIMA (1997) e DE-OLIVEIRA (2004), que encontraram associações significantes entre o PIFC e indicadores de limiares de lactato, sugerindo que existem riscos razoáveis na sua utilização para como discriminadora de aptidão aeróbia. Uma possibilidade de refinamento em estudos futuros seria o emprego de outros modelos de ajustes sigmóides, pois, no presente caso, o ajuste de Boltzmann pode não diferenciar adequadamente grupos de atletas

como os aqui estudados, que demonstraram muitos pontos com pequenos aumentos da FC em cargas abaixo do PIFC. Como este ajuste divide a curva em duas partes similares, pode ter perdido em discriminação em atletas altamente treinados aerobiamente. No estudo de DE-OLIVEIRA (2004), apesar da amostra ser de corredores (as) com alto nível aeróbio, foi empregado um protocolo que levou a valores de FC iniciais superiores aos do presente estudo, não permitindo muitas cargas abaixo do PIFC. Além disso, havia uma maior heterogeneidade de aptidão entre os corredores que a encontrada no presente estudo. Estas diferenças sugerem a necessidade de estudos adicionais, com a verificação da influência destas variáveis tantos nos ajustes como na relação entre os limiares..

A identificação do PDFC pelo método $D_{\text{máx}}$ tem sido utilizada para estimativa do LL_2 (COSTA et al., 2007; FERNANDES et al., 2005; PIOVEZANA & DE-OLIVEIRA, 2005). No presente estudo, os valores obtidos no PDFC são superiores ao LL_1 , LL_2 e PIFC ($p < 0,01$). Estes achados, em parte, são diferentes dos encontrados por PIOVEZANA e DE-OLIVEIRA (2005) que não encontraram diferenças significativas entre o PIFC e o PDFC. As correlações não implicam em uma relação direta de causa e efeito, mas buscam encontrar uma variável comum que explique tais associações (ATKINSON & NEVILL, 2001). Neste sentido, o grau de associação entre os valores referentes a potência e FC entre PDFC e LL_1 ($r = 0,60$ e $r = -0,07$), LL_2 ($r = -0,31$ e $r = 0,33$) e PIFC ($r = -0,08$ e $r = 0,88$) são de uma forma geral frágeis.

A literatura apresenta que o PDFC se encontra em intensidade correspondente a aproximadamente 90% $FC_{\text{máx}}$, sendo que nossos resultados estão de acordo com os valores encontrados para atletas (BODNER & RHODES, 2000; BOURGOIS, COOREVITS, DANNEELS,

WITVROUW, CAMBIER & VRIJENS, 2004). IMPELLIZZERI, SASSI, RODRIGUEZ-ALONSO, MOGNONI e MARCORA (2002) apresentam que o LL_2 , identificado pela concentração fixa de 4 mmol.l^{-1} , também está próximo a 90% $FC_{\text{máx}}$ em “mountain bikers” de alto rendimento. Em nosso estudo, o método de identificação dos LL apresenta as [La] bastante reduzidas ($LL_1 = 0,9 \pm 0,2$ e $LL_2 = 2,4 \pm 0,2 \text{ mmol.l}^{-1}$) e correspondente a 70 ± 4 e $85 \pm 4\%$ $FC_{\text{máx}}$, respectivamente. Entretanto este método (BERG et al., 1990) foi utilizado como referencia de LL em “mountain bikers” internacionais (STAPELFELDT, SCHWIRTZ, SCHUMACHER & HILLEBRECHT, 2004). Em parte o método apresentado pode ser responsável pela discrepância entre intensidades encontrada entre o PDFC e LL_2 , apesar de que, nestes atletas, pelo alto nível de aptidão aeróbia, a [La] fixa de 4 mmol.l^{-1} identificada durante o exercício progressivo parece ser excessivo como aproximação de LL_2 .

Os diferentes métodos de identificações de limiares de transições metabólicas muitas vezes são controversos e causam dúvidas quanto a interpretação dos resultados. BOURGOIS et al. (2004) avaliaram 11 ciclistas treinados em cicloergômetro, os autores apresentaram que o PDFC não foi distinto do LL identificado pela concentração fixa de 3 mmol.l^{-1} . No entanto, quando os atletas pedalarão na intensidade correspondente ao PDFC durante 30 min, apenas quatro sujeitos mantiveram estáveis as [La] durante todo o exercício. Neste estudo também se percebe que as [La] em intensidades sub-máximas e máximas é baixa isto porque quanto maior o grupo muscular envolvido e a aptidão aeróbia, menor as [La]. Assim, os valores inferiores encontrados em LL_2 além das diferenças metodológicas podem estar relacionados ao nível elevado de aptidão aeróbia dos atletas avaliados.

Conclusão

Na análise do comportamento das curvas de FC durante o teste progressivo escalonado, a equação sigmóide de Boltzmann se mostrou mais adequada para todos os mountain bikers avaliados. O PIFC se encontra em momentos distintos de LL_1 e PDFC, no entanto parece ser próximo de LL_2 . O PDFC se encontra em momentos distintos de LL_1 , LL_2 e PIFC; sendo encontrado em intensidades mais elevadas. Além

disso, não há correlação significativa entre os valores de PIFC com os LL. Apesar de o ajuste sigmóide ser mais indicado que o ajuste linear sugere-se cautela quanto ao fato que a identificação do PIFC e do PDFC derivados da equação não-linear de Boltzmann possam ser utilizados como referência para a estimativa dos limiares de transições metabólicas em “mountain bikers” de elevada aptidão aeróbia.

Abstract

Identification of metabolic thresholds in fitted heart rate curve

The aim of this study was to compare the linear and sigmoid adjustments for the behavior of the heart rate (HR) during graded exercise test and to verify the validity of these models to identify metabolic thresholds from Boltzman's non-linear adjustment during incremental exercise. Ten high level mountain bikers (27.1 ± 7.4 years; 67.0 ± 6.1 kg; 175.1 ± 4.1 cm; $6.1 \pm 1.9\%$ estimated body fat) were submitted to graded exercise test in cycle-simulator, with initial load of 100 W and 30 W increments every 3 min until exhaustion. The HR behavior was fitted by Boltzman's sigmoid equation, and HR inflection point (HRIP = fixed value of V50 from equation) and HR deflection point (HRDP = D_{max} method) were identified. Blood lactate samples were withdrawn at the end of each stage. The first lactate threshold (LT_1) was determined by the calculation of minimum value equivalent of lactate/work. To identify the second lactate threshold (LT_2), 1.5 mmol.l^{-1} was added to the LT_1 value. In all athletes the sigmoid model was more appropriate than the linear one ($p < 0.0001$). The HRIP (161 ± 10 bpm) and HRDP (179 ± 5 bpm) were identified in 8 and 7 subjects, respectively. From the similarity of the results about the intensity in power output and HR, it can be suppose that the HRIP is in the same physiological domain of the LT_2 , above to LT_1 and lower to HRDP. However, were found poor association between lactate thresholds, HRIP and HRDP (-0.08 to 0.37).

UNITERMS: Lactate thresholds; Heart rate inflection and deflection points.

Referências

- ÄSTRAND, P.O.; RODAHL, K. *Tratado de fisiologia do exercício*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- ATKINSON, G.; NEVILL, A.M.; Selected issues in the design and analysis of sport performance research. *Journal of Sports Science*, Wallsall, v.19, p. 811-27, 2001.
- BERG, A.; JAKOB, E.; LEHMANN, M.; DICKHUTH, H.H.; HUBER, G.; KEUL, L. Aktuelle aspekte der modernen ergometrie. *Pneumologie*, Stuttgart, v.44, p.2-13, 1990.
- BODNER, M.E.; RHODES, E.C. A review of the concept of the reart rate deflection point. *Sports Medicine*, Auckland, v.30, n.1, p.31-46, 2000.
- BOURGOIS, J.; COOREVITS, P.; DANNEELS, L.; WITVROUW, E.; CAMBIER, D.; VRIJENS, J. Validity of heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold concepts during cycling. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Bolder, v.18, n.3, 498-503, 2004.
- BOURGOIS, J.; VRIJENS, J. The Conconi test: a controversial concept for the determination of the anaerobic threshold in young rowers. *International Journal of Sports Medicine*, Stuttgart, v.19, p.553-9,1998.
- BUNC, V.; HOFMANN, P.; LEITNER, H.; GAISL, G. Verification of the heart rate threshold. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.70, n.3, p.263-9,1995.
- CHENG, B.; KUIPERS, H.; SNYDER, A.C.; KEIZER, H.; JEUKENDRUP, A.; HESSELINK, M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *International Journal of Sports Medicine*, Stuttgart, v.13, p.518-22,1992.
- CONCONI, F.; FERRARI, M.; ZIGLIO, P.G.; DROGHETTI, P.; CODECA, L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive test in runners. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, v.52, p.862-73, 1982.
- COSTA, V.P.; KARASIAK, F.C.; FRONCHETTI, F.; KROEFF, M.S. Identificação do ponto de deflexão da frequência cardíaca em mountain bikers. *Revista Treinamento Desportivo*, v.8, n.1, p.71-6, 2007.
- DE-OLIVEIRA, F.R. *Prediccion de los umbrales de lactato y ajustes de frecuencia cardiada em el test de Léger - Boucher*. 2004. Tese (Doutorado) - Universidad del Pais Vasco, San Sebastian.
- FERNANDES, T.C.; ADAMI, E.; COSTA, V.P.; LIMA-SILVA, A.E.; DE-OLIVEIRA, F.R.; Frequência cardíaca de recuperação como índice de aptidão aeróbia. *Revista da Educação Física*, Maringá, v.16, n.2, p.129-37, 2005.
- HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MÜCKE, S.; MÜLLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, Stuttgart, v.6, p.117-30, 1985.

- HOFMANN, P.; POKAN, R.; VON DUVILLARD, S.P.; SEIBERT, F.J.; ZWEIKER, R.; SCHMID, P. Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in young male subjects. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.29, n.5, p.1808-13, 1997.
- IMPELLIZZERI, F.; SASSI, A.; RODRIGUEZ-ALONSO, M.; MOGNONI, P.; MARCORÀ, S. Exercise intensity during off-road cycling competitions. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.34, p.1808-13, 2002.
- JACKSON, A.L.; POLLOCK, M.L. Generalized equations for prediction body density of men. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.40, p.497-504, 1978.
- KARA, M.; GÖKBEL, H.; BEDİZ, C.; ERGENE, N.; ÜÇÖK, K.; UYSAL, H. Determination of the heart rate deflection point by the D_{max} method. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino, v.36, p.31-4, 1996.
- KUIPERS, H.; VERSTAPPEN, F.T.J.; GEURTEN, P.; VAN KRANENBURG, G. Variability of aerobic performance in laboratory and its physiologic correlates. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.6, p.197-201, 1985.
- LEPRETE, P.M.; FOSTER, C.; KORALSZTEIN, J.P.; BILLAT, V. Heart rate deflection point as a strategy to defend stroke volume during incremental exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.98, p.1660-5, 2005.
- LIMA, J.R.P. **Frequência cardíaca em cargas crescentes de trabalho: ajuste sigmóide, ponto de inflexão e limiar de variabilidade da frequência cardíaca.** 1997. Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LUCIA, A.; CARVAJAL, A.; BORAITA, A.; SERRATOSA, L.; HOYOS, J.; CHICHARRO J. Heart dimensions may influence the occurrence of the heart rate deflection point in highly trained cyclists. **British Journal of Sports Medicine**, Cambridge, v.33, p.387-92, 1999.
- PIOVEZANA, P.; DE-OLIVEIRA, F.R. Reprodutibilidade das variáveis derivadas das curvas da frequência cardíaca em teste progressivo. **Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital**, v.10, n.90, 2005. Disponível em <<http://www.efdeportes.com/efd90/test.htm>> Acesso em: 14 mar. 2006.
- POKAN, R.; HOFMANN, P.; PREIDLER, K.; LEITNER, H.; DUSLEAG, J.; EBER, B.; SCHWABERGER, G.; FUGER, G.F.; KLEIN, W. Correlation between inflection of the heart rate/work performance curve and myocardial function in exhausting cycling ergometer exercise. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.67, n.5, p.385-8, 1993.
- RIBEIRO, D.G. **Comportamento da frequência cardíaca em teste progressivo intermitente com pausa.** 2004. Monografia - Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.
- RIBEIRO, J.P.; FIELDING, R.A.; HUGHES, V.; BLACK, A.; BOCHESSE, M.A.; KNUTTGEN, H.G. Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.6, n.4, p.220-4, 1985.
- STAPELFELDT, B.; SCHWIRTZ, A.; SCHUMACHER, Y.O.; HILLEBRECHT, M. Workload demands in mountain bike racing. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.18, p. 294-300, 2004.

ENDEREÇO

Vitor Pereira Costa
 Laboratório de Pesquisa Morfofuncional
 Centro de Educação Física, Fisioterapia e Desportos
 Universidade do Estado de Santa Catarina
 R. Pascoal Simone, 358
 88080-350 - Florianópolis - SC - BRASIL
 e-mail: costavp2@yahoo.com.br

Recebido para publicação: 28/09/2006

1a. Revisão: 21/11/2007

2a. Revisão: 07/04/2008

Aceito: 05/05/2008