

Efeitos do Estado e Especificidade do Treinamento Aeróbico na Relação $\%VO_2\text{max}$ versus $\%FC\text{max}$ Durante o Ciclismo

Fabrizio Caputo, Camila Coelho Greco, Benedito Sérgio Denadai
Rio Claro, SP

Objetivo

Determinar os efeitos do estado e especificidade de treinamento aeróbico na relação entre o percentual do consumo máximo de oxigênio ($\%VO_2\text{max}$) e o percentual da frequência cardíaca máxima ($\%FC\text{max}$) durante o exercício incremental realizado no cicloergômetro.

Métodos

Sete corredores, 9 ciclistas, 11 triatletas e 12 sedentários, todos do sexo masculino e aparentemente saudáveis, foram submetidos a um teste incremental até a exaustão no cicloergômetro. Regressões lineares entre $\%VO_2\text{max}$ e $\%FC\text{max}$ foram determinadas para cada indivíduo. Com base nessas regressões, foram calculados $\%FC\text{max}$ correspondentes a determinados $\%VO_2\text{max}$ (50, 60, 70, 80 e 90%) de cada participante.

Resultados

Não foram encontradas diferenças significantes entre todos os grupos nos $\%FC\text{max}$ para cada um dos $\%VO_2\text{max}$ avaliados. Analisando-se os voluntários como um único grupo, as médias dos $\%FC\text{max}$ correspondentes a 50, 60, 70, 80 e 90% $\%VO_2\text{max}$ foram 67, 73, 80, 87, e 93%, respectivamente.

Conclusão

Nos grupos analisados, a relação entre o $\%VO_2\text{max}$ e $\%FC\text{max}$ durante o exercício incremental no ciclismo não é dependente do estado e especificidade do treinamento aeróbico.

Palavras-chave

Consumo de oxigênio, frequência cardíaca, prescrição do exercício, estado de treinamento, ciclismo

Um programa de treinamento objetivando a melhora da aptidão cardiorrespiratória (potência aeróbia máxima) é constituído por três componentes básicos: frequência (número de sessões semanais), volume (duração) e intensidade de exercício. A duração e frequência 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 exercício¹⁻³ e um balanço entre a validade, aplicabilidade e praticidade desses métodos deve ser considerado. Para o desenvolvimento da aptidão cardiorrespiratória de indivíduos aparentemente saudáveis, tem sido recomendado a prática regular (3 a 5 vezes por semana) de exercícios que envolvam grandes grupos musculares, numa intensidade correspondente a 60-80% do consumo máximo de oxigênio ($VO_2\text{max}$)¹.

Muitos estudos têm verificado que a frequência cardíaca (FC) e o consumo de oxigênio (VO_2) são linearmente relacionados nas diversas intensidades submáximas de exercício⁴. Com base nesta relação, tem-se proposto que a regressão linear entre as percentagens do $VO_2\text{max}$ ($\%VO_2\text{max}$) e da frequência cardíaca máxima ($\%FC\text{max}$), pode ser útil para a prescrição da intensidade do exercício. O uso destas equações permite que a intensidade de exercício possa ser prescrita com base no $\%FC\text{max}$, ao invés do $\%VO_2\text{max}$, que requer complicadas e caras análises de gases.

Devido a sua praticidade, estas regressões têm sido amplamente utilizadas e difundidas, e muitas vezes sua individualidade (especificidade) ignorada, podendo determinar intensidades de esforço, bem diferentes daquelas verdadeiramente almejadas. Por exemplo, Londree e cols⁵ verificaram que o modo de exercício pode influenciar a relação $\%VO_2\text{max} \times \%FC\text{max}$ e encontraram que os exercícios realizados na posição ereta e com sustentação do peso corporal (corrida, esqui) apresentaram regressões similares. Entretanto, exercícios sem a sustentação do peso corporal (ciclismo e remo) e que utilizam os membros superiores (remo e ergômetro de braço) podem necessitar de equações específicas para reduzir o erro de predição da intensidade de exercício. Do mesmo modo, Swain e cols⁶ verificaram durante a corrida, que a aptidão aeróbia (avaliada pelo $VO_2\text{max}$) também pode modificar a relação $\%VO_2\text{max} \times \%FC\text{max}$. Nesse estudo, os indivíduos com maior aptidão aeróbia, apresentaram durante o exercício submáximo (40 - 80% $VO_2\text{max}$) um $\%FC\text{max}$ maior do que os indivíduos de menor aptidão, para um dado $\%VO_2\text{max}$.

Outra limitação potencial em utilizar as diversas equações existentes na literatura, está na forma como foram estruturadas⁶. A maioria dessas equações usou o $\%FC\text{max}$ como variável indepen-



dente (eixo x) na regressão linear^{5,7}. Esta escolha é questionável, já que o VO₂ é claramente o fator determinante da resposta da frequência cardíaca durante o exercício. Além disso, se o %FCmax é escolhido como a variável independente, a equação obtida não pode ser utilizada para prever um %FCmax para um dado %VO₂max, pois este procedimento requer uma transposição da equação. A transposição de uma regressão linear não resulta nos mesmos valores que seriam obtidos se as variáveis dependente e independente fossem invertidas.

O ciclismo é um dos tipos de exercícios mais utilizado para a avaliação clínica de pacientes e para o desenvolvimento da aptidão cardiorrespiratória. Neste tipo de exercício, associa-se a utilização de grandes grupos musculares com um reduzido grau de impacto sobre as articulações. Aspectos que são importantes para indivíduos obesos que necessitam melhorar sua aptidão cardiorrespiratória e/ou perder massa gorda, ou mesmo para a manutenção da aptidão aeróbia de atletas (corredores e jogadores de esportes coletivos), que podem estar temporariamente impossibilitados de executar o seu gesto motor específico (corrida). Para nosso conhecimento, nenhum estudo analisou a relação %VO₂max x %FCmax durante o ciclismo em indivíduos com diferentes níveis de aptidão aeróbia, utilizando o %VO₂max como variável independente. Assim, nosso objetivo foi determinar os efeitos do estado e especificidade do treinamento aeróbio na relação %VO₂max x %FCmax durante o exercício incremental realizado no cicloergômetro. O conhecimento dessas relações pode ser relevante na prescrição adequada da intensidade de exercício para uma determinada população.

Métodos

Participaram do estudo sete corredores (COR) (25,8 ± 6,0 anos, 60,4 ± 4,1 kg, 172,1 ± 6,9 cm), nove ciclistas (CIC) (22,6 ± 2,1 anos, 62,8 ± 5,4 kg, 173,8 ± 5,9 cm) e 11 triatletas (TRI) (21,4 ± 4,1 anos; 66,2 ± 7,0 kg; 174,2 ± 8,4 cm) bem treinados em provas de fundo, e 12 indivíduos sedentários (SED) (26,8 ± 4,1 anos, 74,9 ± 14,3 kg, 175,1 ± 5,1 cm), todos do sexo masculino e aparentemente saudáveis. Os atletas possuíam pelo menos dois anos de treino específico na modalidade. Cada voluntário foi informado sobre os procedimentos do experimento e suas implicações, tendo assinado um termo de consentimento para a participação no estudo. O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética da instituição.

Os sujeitos foram orientados a se apresentarem nos testes descansados, alimentados e hidratados e a não realizarem esforços intensos nas últimas 48 horas. Os testes foram realizados no mesmo local e horário do dia (± 14h), com a temperatura ambiente controlada entre 21-22°C. Os testes de ciclismo foram realizados em uma bicicleta ergométrica (Monark) de frenagem mecânica, com a cadência mantida constante a 70 rpm durante todo o teste. Variáveis cardiorrespiratórias (VO₂, VCO₂, VE e FC) foram medidas usando um analisador de gases (Cosmed K4b², Roma, Itália), coletando dados respiração a respiração, e transformados depois para uma média de 20s. A frequência cardíaca foi monitorada através de um freqüencímetro (Polar, Kempele, Finlândia) interligado ao analisador de gases. Este analisador foi previamente validado em diversas intensidades de exercício⁸. Antes de cada teste, os sistemas de análise do O₂ e CO₂ foram calibrados usando

o ar ambiente e um gás com concentrações conhecidas de O₂ e CO₂, enquanto a turbina bidirecional (medidor de fluxo) foi calibrada usando uma seringa de 3-L (Cosmed K4b², Roma, Itália).

O teste progressivo contínuo teve carga inicial de 105 W para os ciclistas e triatletas e 70 W para os demais sujeitos, e incrementos de 35 W a cada 3 minutos até a exaustão voluntária, ou quando o sujeito não fosse mais capaz de manter uma cadência > 65 rpm. No final de cada estágio, foram coletados 25µl de sangue do lóbulo da orelha para a determinação da concentração do lactato sanguíneo (YSL 2300 STAT, Ohio, USA). A concentração de lactato obtida no final do teste progressivo foi considerada com o lactato pico ([LAC]pico). O mais alto VO₂ e FC obtidos durante 20s foram considerados como o VO₂max e FCmax, respectivamente. Todos os sujeitos preencheram no mínimo dois dos três critérios para o VO₂max: 1) razão de trocas respiratórias (R) ≥ 1,1; 2) concentração de lactato > 8 mM, e; 3) FCmax no mínimo igual 90% da máxima prevista para idade⁹.

O VO₂ e frequência cardíaca obtidos nos 20s finais de cada carga foram expressos como porcentagem do seu máximo. As regressões lineares foram realizadas para cada indivíduo usando os pares de pontos do final de cada estágio e do seu máximo (100%), utilizando o %VO₂max como variável independente. Através das regressões lineares individuais, as porcentagens da FCmax correspondentes a 50%, 60%, 70%, 80%, e 90% do VO₂max foram determinadas para cada indivíduo.

Todos os dados foram expressos como média ± DP. Os valores de VO₂max e FCmax, R e lactato foram analisados utilizando-se a análise de variância de uma entrada, complementada pelo teste de Scheffé. A comparação entre os grupos dos valores de %FCmax correspondentes aos %VO₂max foi realizada pelo teste de Kruskal-Wallis. Em todos os testes foi adotado um nível de significância de p ≤ 0,05.

Resultados

A tabela I apresenta os valores máximos de VO₂, FC, R e lactato sanguíneo, obtidos ao final do teste incremental realizado no cicloergômetro. Os ciclistas apresentaram valores significativamente maiores de VO₂max em relação aos demais grupos (p < 0,05). Já os corredores e triatletas não apresentaram diferenças entre si (p = 0,99). Como esperado, os indivíduos sedentários apresentaram os menores valores de VO₂max (p < 0,0001). As FCmax dos ciclistas e indivíduos sedentários foram semelhantes (p = 0,55), porém significativamente maiores do que os grupos corredores e triatletas (p < 0,04), que foram também semelhantes entre si (p = 0,99). Não foram observadas diferenças para a [LAC]pico e R entre os grupos analisados (p > 0,23).

As porcentagens da FCmax obtidas pelos quatro grupos de sujeitos nas diferentes porcentagens do VO₂max encontram-se na tabela II. Não foram encontradas diferenças significantes entre todos os grupos nos %FCmax para cada um dos %VO₂max analisados (p > 0,58). As médias (± DP) das regressões lineares dos grupos foram: indivíduos sedentários - %FCmax = (0,68 ± 0,11)%VO₂max + (31,9 ± 11,0), com r² = 0,98 ± 0,1; triatletas - %FCmax = (0,65 ± 0,08)%VO₂max + (35,3 ± 8,3), com r² = 0,97 ± 0,2; ciclistas - %FCmax = (0,66 ± 0,04)%VO₂max + (34,3 ± 3,3), com r² = 0,97 ± 0,1; corredores - %FCmax = (0,70 ± 0,07)%VO₂max + (31,3 ± 7,5),

Tabela I - Valores médios ± desvio-padrão do consumo máximo de oxigênio (VO ₂ max), frequência cardíaca máxima (FCmax), razão de trocas respiratórias (R) e lactato pico ([LAC]pico) obtidos durante o teste incremental				
	VO ₂ max (ml/kg.min ⁻¹)	FCmax (bpm)	R	[LAC]pico (mM)
Corredores (n= 7)	62,0 ± 5,0 ^b	181,0 ± 14,3 ^b	1,07 ± 0,05	9,5 ± 2,2
Ciclistas (n= 9)	67,6 ± 7,6	191,0 ± 8,4	1,14 ± 0,04	10,1 ± 1,8
Triatletas (n= 11)	61,1 ± 5,1 ^b	183,0 ± 7,0 ^b	1,15 ± 0,05	9,0 ± 1,6
Sedentários (n= 12)	38,0 ± 6,2 ^a	187,5 ± 7,6	1,16 ± 0,05	10,3 ± 1,3

^a p < 0,05 em relação a todos os grupos, ^b p < 0,05 em relação aos Ciclistas.

Tabela II - Valores médios ± desvio-padrão dos percentuais da frequência cardíaca máxima (%) correspondentes a cada um dos percentuais do consumo máximo de oxigênio (%VO ₂ max) (50 - 90%)					
%VO ₂ max	50%	60%	70%	80%	90%
Corredores (n= 7)	66,3 ± 3,9	73,2 ± 3,2	80,2 ± 2,6	87,2 ± 1,99	94,2 ± 1,4
Ciclistas (n= 9)	67,5 ± 2,9	74,1 ± 1,9	80,8 ± 1,8	87,4 ± 1,8	94,0 ± 1,8
Triatletas (n= 11)	68,0 ± 4,6	74,5 ± 4,0	81,0 ± 3,4	87,6 ± 2,9	94,1 ± 2,5
Sedentários (n= 12)	65,9 ± 6,0	72,7 ± 4,9	79,5 ± 3,9	86,3 ± 2,9	93,1 ± 2,1

com $r^2 = 0,97 \pm 0,1$. A figura 1 mostra a média das regressões lineares dos 39 participantes do estudo.

Discussão

Este estudo foi o primeiro a analisar os efeitos do estado e especificidade do treinamento aeróbio sobre a relação %VO₂max x %FCmax durante o exercício incremental no ciclismo. Diferente do relatado previamente por Swain e cols⁶ durante o exercício realizado na corrida, em nosso estudo verificamos que a relação %VO₂max x %FCmax é independente do estado e especificidade do treinamento aeróbio.

Os valores de VO₂max apresentados pelos nossos sujeitos são semelhantes aos valores apresentados na literatura para o perfil dos indivíduos analisados neste estudo¹⁰⁻¹². Mesmo não tendo interferido no treinamento dos nossos atletas, observando seus valores de VO₂max, podemos assumir que eles sofreram as adaptações de um treinamento aeróbio a longo prazo¹¹. Como já esperado, os ciclistas apresentaram os maiores valores de VO₂max. Por outro lado, é importante salientar a grande transferência da potência aeróbia (VO₂max) demonstrada pelos corredores, uma vez que seus valores foram semelhantes aos dos triatletas, e bem superiores em relação aos indivíduos sedentários.

A relação entre %VO₂max e %FCmax tem sido amplamente investigada, existindo estudos que analisaram os efeitos tipo de exercício⁵, gênero⁶, doença cardiovascular¹³, obesidade¹⁴ e nível de aptidão aeróbia⁶. Swain e cols⁶ apontam que a maioria destes estudos utilizou o %FCmax como variável independente na determinação da regressão linear, podendo deste modo aumentar o erro de predição da intensidade do exercício. Em nosso estudo optou-se pela utilização do %VO₂max como variável independente, permitindo a predição do %FCmax com o objetivo de prescrever a intensidade de exercício.

Neste estudo não foi observada influência do estado e especificidade do treinamento aeróbio nos %FCmax preditos para todos os %VO₂max (50 a 90). Estes dados são diferentes daqueles obtidos por Swain e cols⁶, que encontraram uma pequena (2%), mais significativa influência da aptidão aeróbia na relação %VO₂max x %FCmax,

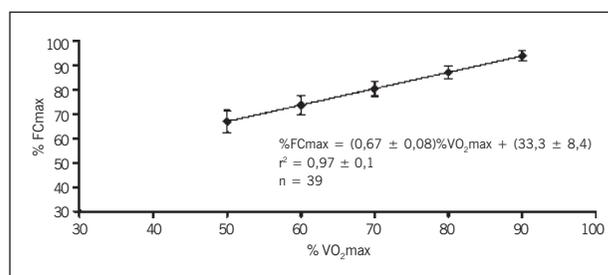


Fig. 1 - Média das regressões lineares entre o percentual do consumo máximo de oxigênio (%VO₂max) e da frequência cardíaca máxima (%FCmax) dos 39 participantes do estudo.

com os indivíduos de maior aptidão, apresentando um %FCmax maior daqueles com menor aptidão, para um dado %VO₂max. Em nosso estudo, a diferença no nível de aptidão aeróbia pode ser considerada maior (VO₂max - CIC = 67 ml.kg.min⁻¹ vs. SED = 38 ml.kg.min⁻¹) do que a diferença (VO₂max - maior aptidão = 59 ml.kg.min⁻¹ vs. menor aptidão = 41 ml.kg.min⁻¹) relatada por Swain e cols⁶, não podendo este aspecto provavelmente explicar as diferenças entre os estudos. Uma possível explicação seria que o efeito da aptidão aeróbia na relação %VO₂max x %FCmax, poderia depender do tipo de exercício analisado, pois no estudo de Swain e cols⁶ foi utilizada a corrida em esteira rolante e no presente estudo foi utilizado o cicloergômetro. Diversos estudos têm verificado que as respostas fisiológicas ao exercício (submáximo e máximo) podem depender da interação entre o tipo de exercício (corrida x ciclismo) e o estado e especificidade do treinamento¹⁵. Confirmando em parte esta hipótese, Londree e cols⁵ verificaram que a relação %VO₂max x %FCmax pode ser diferente entre exercícios com (corrida) e sem sustentação (ciclismo) do peso corporal.

A utilização de regressões lineares de dados (VO₂ e FC) obtidos durante o teste incremental para a predição do %FCmax pode introduzir pelo menos duas fontes de erro. A primeira delas, é que a relação entre %VO₂max x %FCmax não é estritamente linear, particularmente nas intensidades elevadas de esforço (> 90% VO₂max). Embora a adição de um componente quadrático à análise de regressão pudesse ser mais apropriada, este procedimento aumenta o erro de predição (7%) nas intensidades moderadas de esforço⁵. Como a maior parte das predições do %FCmax é feita



nas intensidades leve e moderada (40 - 80%VO₂max), a regressão linear parece ser a mais apropriada. De qualquer modo, cada um dos sujeitos (independente do grupo) apresentou coeficientes de determinação entre o %VO₂max e %FCmax acima de 0,95, com o grupo todo exibindo um valor médio de 0,97. Baseado no erro padrão da estimativa (SEE) das regressões de cada sujeito, pode-se esperar um erro de 3 a 4% na predição do % FCmax. O segundo aspecto a ser considerado, é sobre a existência ou não de fase estável nos valores de VO₂ e frequência cardíaca durante o teste incremental. Para minimizar este problema, empregamos um protocolo com estágios de 3 min, usando apenas os valores médios dos 20s finais de cada carga para derivar as equações. Dados na literatura mostram que esta duração promove uma boa aproximação dos valores obtidos em exercícios de carga constante realizados por um período maior¹⁶. Dentro deste aspecto ainda, deve-se considerar que a relação %VO₂max x %FCmax obtida durante o exercício incremental, pode modificar-se durante o exercício de carga constante. Neste tipo de exercício, tanto a frequência cardíaca por influência dos aspectos da termorregulação (desvio cardiovascular)¹⁷, quanto o VO₂ pela existência do componente lento nos exercícios acima do limiar de lactato, ou seja, exercícios no domínio pesado e severo¹⁸, podem não apresentar estabilidade ao longo do tempo.

Finalmente, especial atenção deve ser dada aos possíveis efeitos do ciclismo nos valores de FCmax. Mesmo não existindo diferença

na idade cronológica entre os grupos, a FCmax foi significativamente maior nos ciclistas do que nos corredores e triatletas. Embora não tenhamos comparado em nosso estudo a FCmax entre a corrida e o ciclismo, muitos estudos têm verificado valores significativamente maiores na corrida do que no ciclismo em indivíduos sedentários¹⁵, ativos⁵ e corredores de endurance^{15,19}. Já em ciclistas, a FCmax não tem sido diferente entre a corrida e o ciclismo^{15,19}. Assim, o uso de determinadas regressões, p.ex., FCmax = 220 - idade, ou FCmax = 208 - 0,7 x idade²⁰ para se estimar indiretamente a FCmax no cicloergômetro para indivíduos que não são ciclistas, deveria se feita com cautela. Utilizando-se estas equações, aumenta-se potencialmente o erro de predição do %FCmax, e conseqüentemente, da intensidade de exercício a ser realizada. Recomenda-se deste modo que, existindo necessidade de um nível de precisão elevada e as condições permitirem (condições clínicas, disponibilidade de tempo e equipamentos), a FCmax deveria ser determinada diretamente para cada indivíduo.

Com base nestes resultados pode-se concluir que para os grupos analisados, a relação entre o %VO₂max e %FCmax durante o exercício incremental no ciclismo não é dependente do estado e especificidade do treinamento aeróbio. Contudo, estudos adicionais são necessários para analisar esta relação em populações com diferentes características (idade, gênero, modalidade esportiva) e/ou que façam uso de medicamentos que possam interferir nas respostas cardiovascular e metabólica durante o exercício.

Referências

1. American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (6th ed.). Baltimore: Williams & Wilkins, 2000.
2. Londeree BR. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29: 837-43.
3. Stoudemire NM, Wideman L, Pass KA et al. The validity of regulating blood lactate concentration during running by ratings of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:490-5.
4. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med.* 2003;33:517-38.
5. Londeree BR, Thomas TR, Ziogas G, Smith TD, Zhang Q. %VO₂max versus %HRmax regressions for six modes of exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:458-61.
6. Swain DP, Abernathy KS, Smith CS, Lee SJ, Bunn SA. Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26:112-6.
7. Franklin BA, Hodgson J, Buskirk ER. Relationship between percent maximal O₂ uptake and percent maximal heart rate in women. *Res Q Exerc Sport.* 1980;51:616-24.
8. Doyon KH, Perrey S, Abe D, Hughson RL. Field testing of VO₂peak in cross-country skiers with portable breath-by-breath system. *Can J Appl Physiol.* 2001;26:1-11.
9. Taylor HL, Buskirk ER, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol.* 1955;8:73-80.
10. Billat VL, Faina M, Sardella F et al. A comparison of time to exhaustion at VO₂max in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. *Ergonomics.* 1996; 39:267-77.
11. Jeukendrup AE, Craig NP, Hawley JA. The bioenergetics of world class cycling. *J Sci Med Sport.* 2000;3:414-33.
12. Boussana A, Matecki S, Galy O et al. The effect of exercise modality on respiratory muscle performance in triathletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:2036-43.
13. Brawner CA, Keteyian SJ, Ehrman JK. The relationship of heart rate reserve to VO₂ reserve in patients with heart disease. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:418-22.
14. Miller WC, Wallace JP, Eggert KE. Predicting max HR and the HR-VO₂ relationship for exercise prescription in obesity. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25:1077-81.
15. Caputo F, Stella SG, Mello MT, Denadai BS. Indexes of power and aerobic capacity obtained in cycle ergometry and treadmill running: Comparisons between sedentary, runners, cyclists and triathletes. *Rev Bras Med Esporte.* 2003;9:231-7.
16. Fardy PS, Hellerstein HK. A comparison of continuous and intermittent progressive multistage exercise testing. *Med Sci Sports.* 1978;10:7-12.
17. Coyle EF, González-Alonso J. Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exerc Sports Sci Rev.* 2001;29:88-92.
18. Gaesser GA, Poole DC. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sports Sci Rev.* 1996;24:35-70.
19. Rice AJ, Scroop GC, Thornton AT et al. Arterial hypoxaemia in endurance athletes is greater during running than cycling. *Resp Physiol.* 2000;123:235-46.
20. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol.* 2001;37:153-6.