



Correlação entre os parâmetros do modelo de potência crítica no cicloergômetro de membros superiores e no caiaque

Correlation between critical power model parameters in the upper body cycle ergometer and in kayak

NAKAMURA, F. Y.; BORGES, T.O.; BRUNETTO, A.F.; FRANCHINI, E. Correlação entre os parâmetros do modelo de potência crítica no cicloergômetro de membros superiores e no caiaque. **R. bras. Ci e Mov.** 2005; 13(2): 41-48.

RESUMO – Este trabalho teve como objetivo correlacionar os parâmetros do modelo de potência crítica, obtidos por canoístas em cicloergômetro de membros superiores e em caiaque. Os parâmetros foram estimados, em ambas as situações, através de testes exaustivos de duração entre 1 e 15 minutos. A potência crítica (PCrit) no cicloergômetro de membros superiores variou entre 123 a 124 W entre as estimativas das três equações de predição do modelo. A capacidade de trabalho anaeróbio (CTAnaer) variou entre 10.551 a 10.831 J. Na água, a velocidade crítica (VCrit) ficou entre 3,06 a 3,10 m/s, ao passo que a capacidade anaeróbia na canoagem (CACanoagem) ficou entre 62,2 m a 74,0 m. As correlações entre as estimativas de PCrit e de VCrit foram de $r = 0,79 - 0,91$ ($p < 0,05$), enquanto as correlações entre as estimativas de CTAnaer e CACanoagem foram de $r = -0,03 - 0,36$ ($p > 0,05$). Com isso, concluiu-se que a capacidade aeróbia de canoístas em caiaque pode ser predita através de testes mais simples e controlados em cicloergômetro de membros superiores.

PALAVRAS-CHAVE: potência crítica, canoagem, cicloergômetro de membros superiores.

NAKAMURA, F. Y.; BORGES, T.O.; BRUNETTO, A.F.; FRANCHINI, E. Correlation between critical power model parameters in the upper body cycle ergometer and in kayak. **R. bras. Ci e Mov.** 2005; 13(2): 41-48.

ABSTRACT – The objective of this study was to correlate the parameters of the critical power model obtained by canoeists in an upper body cycle ergometer and in kayak. The parameters were estimated, in both situations, through exhaustive tests lasting between 1 and 15 minutes. The critical power (PCrit) in the upper body cycle ergometer varied between 123 to 124 W among the three predictive equations estimates of the model. The anaerobic work capacity (CTAnaer) varied between 10.551 to 10.831 J. In the water, critical velocity (VCrit) was among 3,06 to 3,10 m/s, while the anaerobic work capacity in kayaking (CACanoagem) was in the 62,2 m to 74,0 m range values. The correlations among the estimates of PCrit and VCrit were of $r = 0,79 - 0,91$ ($p < 0,05$), while the correlations between the estimates of CTAnaer and CACanoagem were of $r = -0,03 - 0,36$ ($p > 0,05$). Therefore, it was concluded that the aerobic capacity of canoeists in the kayak can be predicted through simpler and controlled tests in the upper body cycle ergometer.

KEYWORDS: critical power, kayaking, upper body cycle ergometer.

Fábio Yuzo Nakamura ^{1,2,3};

Thiago Oliveira Borges ¹;

Antônio Fernando Brunetto ³;

Emerson Franchini ⁴

¹ Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício – Centro de Educação Física e Desportos – Universidade Estadual de Londrina.

² Instituto de Biociências. Universidade Estadual Paulista – Rio Claro.

³ Laboratório de Fisioterapia Pulmonar – Universidade Estadual de Londrina.

⁴ Faculdade de Educação Física da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Recebimento: 05/06/2004
Aceite: 07/02/2005

Correspondência: Fábio Yuzo Nakamura – Centro de Educação Física e Desportos. Rod. Celso Garcia Cid, km 380, Campus Universitário. CEP 86051-990 – Londrina - PR, Brasil. E-mail: fabioy_nakamura@yahoo.com.br

R. bras. Ci. e Mov. 2005; 13(2): 41-48

Introdução

Estudos têm mostrado a aplicabilidade do modelo de potência crítica em modalidades esportivas que envolvem o deslocamento de embarcações, como a canoagem^{3,9} e o remo^{6,7}. Clingeffer et al.² aplicaram a equação linear trabalho-tempo, prevista pelo modelo, para estimar a potência crítica (PCrit) e a capacidade de trabalho anaeróbio (CTAnaer) em ergômetro que simula os movimentos dos canoístas nas embarcações. Eles mostraram um bom ajuste dos resultados individuais dos canoístas à equação em testes exaustivos de duração compreendida entre 90 e 1200 s.

Outros autores demonstraram que as equações do modelo se aplicam aos dados de potência e trabalho mecânicos gerados em testes realizados em cicloergômetro de membros superiores^{1,12}.

Testes em caiaque-ergômetro ou na própria embarcação exigem habilidade específica do atleta, enquanto testes em cicloergômetro de membros superiores demandam movimentos mais simples de serem executados. Caso os parâmetros do modelo de potência crítica em cicloergômetro sejam correlacionados com os parâmetros similares obtidos no caiaque, abre-se a possibilidade de predição de performance e detecção de talentos esportivos dentro da população sem que o indivíduo tenha que apresentar habilidade específica nos movimentos de canoagem. Outro aspecto que pode ser considerado é que a condição fisiológica geral é pré-requisito para o desenvolvimento do desempenho específico; dessa forma, a determinação de características físicas favoráveis para a modalidade talvez possa ser feita em situações mais simples. Portanto, o objetivo deste estudo foi verificar as correlações entre os parâmetros do modelo de potência crítica, estimados através de três equações, em cicloergômetro de membros superiores e no caiaque K-1.

Materiais e Métodos

Sujeitos

Foram sujeitos deste estudo nove atletas jovens (15-18 anos de idade), com experiência competitiva de pelo menos um ano em canoagem de velocidade, após leitura e assinatura de um termo de consentimento

informado, tanto por parte do participante quanto do responsável, no caso do primeiro ter idade inferior a 18 anos.

Estimativa dos parâmetros do modelo de potência crítica em cicloergômetro de membros superiores

A PCrit e a CTAnaer foram determinadas em um cicloergômetro isocinético Cybexã para membros superiores. As dimensões das alavancas que compunham o ergômetro, bem como a altura do assento, foram ajustadas individualmente e mantidas constantes por toda a duração desta etapa do estudo. Todos os testes foram realizados a uma velocidade de rotação do pedal de 60 rpm. Previamente a cada teste, o atleta aquecia por três minutos a uma potência baixa (20-30 W). Durante a recuperação de igual duração, poderia realizar alongamentos e movimentos sem resistência externa dos segmentos da extremidade superior.

Foram realizados, por cada participante, três testes retangulares (carga constante) que causavam exaustão entre um e dez minutos¹⁰. As potências foram determinadas por tentativa e erro, de tal forma que as durações dos testes fossem consideradas adequadas para que seus resultados fossem aplicados ao modelo. Em alguns casos, o teste mais longo ultrapassava o limite superior de duração pré-fixada, mas, em nenhum deles, foi superior a 15 minutos. A exaustão era determinada como a desistência voluntária do participante ou incapacidade de manter a potência requerida por mais de cinco segundos, a despeito do incentivo verbal dado pelos avaliadores. Os participantes não recebiam qualquer informação sobre a expectativa de duração dos testes. Os testes foram realizados dentro de 14 dias, com descanso mínimo de 24 horas entre dois testes consecutivos. Os dados de potência, trabalho e duração registrados nos testes foram utilizados individualmente para resolver as equações abaixo, previstas pelo modelo de potência crítica:

$$\text{tempo} = \text{CTAnaer} / (\text{potência} - \text{PCrit})$$

(equação 1)

$$\text{trabalho} = \text{CTAnaer} + (\text{PCrit} \cdot \text{tempo})$$

(equação 2)

$$\text{potência} = \text{PCrit} + [\text{CTAnaer} \cdot (1/\text{tempo})]$$

(equação 3)



A estimativa dos parâmetros PCrit e CTAnaer foi feita a partir de procedimento de regressão não linear (equação 1) e linear (equações 2 e 3), mediante utilização do programa SPSS 7.5 for Windows. Esse procedimento permite também a estimativa do coeficiente de determinação (R^2) associado ao ajuste dos pontos experimentais às equações acima.

Estimativa dos parâmetros do modelo de potência crítica em caiaque

Os testes em caiaque foram realizados em embarcação K-1 (comprimento máximo de 5,20 metros e massa mínima de 12 kg), que é uma embarcação de competição individual, em um lago com águas calmas. Procurou-se realizar os testes em dias ensolarados, sem vento forte, a favor ou contra, que afetasse o movimento linear dos caiaques. Esses testes específicos para a modalidade foram conduzidos durante o mesmo período de 14 dias em que foram feitos os testes em cicloergômetro, respeitando também o período de 24 horas entre os esforços. Na água, as distâncias foram fixadas em 500, 1.000 e 1.790 metros. Era solicitado que, ao sinal do avaliador, o atleta realizasse um tiro à máxima velocidade para cada distância. Os atletas foram avaliados em grupos para motivá-los a tentar o melhor desempenho. O tempo foi registrado com cronômetro com precisão de segundos.

Previamente a cada teste, havia breve aquecimento onde os participantes percorriam 1.000 metros em ritmo escolhido livremente.

Em modalidades que envolvem o deslocamento de embarcações, em contraste com o cicloergômetro de membros superiores, a velocidade substitui a potência e a distância substitui o trabalho, na aplicação dos dados obtidos nos testes às equações 1, 2 e 3. Assim, os parâmetros passam a ser velocidade crítica (VCrit) e capacidade anaeróbia na canoagem (CACanoagem). As equações utilizadas para estimativa dos parâmetros no caiaque estão listadas abaixo:

(equação 1')

distância = CACanoagem + (VCrit . tempo)

(equação 2')

velocidade = VCrit + [CACanoagem . (1/tempo)]

(equação 3')

Para a estimativa da VCrit e CACanoagem foram adotados os mesmos procedimentos matemáticos utilizados na estimativa da PCrit e CTAnaer.

Tratamento estatístico

Os parâmetros do modelo de potência crítica, estimados através das três equações matematicamente equivalentes, tanto no cicloergômetro quanto no caiaque, foram comparados através de análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas. Quando detectada significância estatística, procedia-se o teste *post hoc* de Scheffé. A mesma análise foi utilizada para comparar as velocidades médias mantidas nas diferentes distâncias nos testes realizados no caiaque. As relações entre as diferentes estimativas de PCrit e de VCrit, e de CTAnaer e CACanoagem, foram determinadas através do coeficiente de correlação de Pearson. O nível de significância foi pré-estabelecido em 5% para todas as análises.

Resultados

A Tabela 1 apresenta os valores de PCrit e CTAnaer dos canoístas, bem como do coeficiente de determinação (R^2) referente à aplicação dos dados de performance nos testes realizados em cicloergômetro de membros superiores às equações 1, 2 e 3. Não foram detectadas diferenças entre as estimativas de PCrit e CTAnaer fornecidas pelas três equações ($p > 0,05$). No entanto, a ANOVA mostrou que a equação 3 apresenta um R^2 inferior ao da equação 1.

A Figura 1 ilustra o comportamento médio das velocidades mantidas pelos canoístas nas três distâncias percorridas no caiaque. As velocidades médias mantidas em todas as distâncias (500, 1.000 e 1.790 metros) foram significativamente diferentes entre si ($p < 0,01$).

A Tabela 2 apresenta os valores de VCrit e CACanoagem dos canoístas, bem como do coeficiente de determinação (R^2) referente à aplicação das equações aos dados de performance, nos testes realizados no caiaque em águas calmas. Houve diferença significativa entre as estimativas de VCrit ($p < 0,05$). A diferença foi localizada entre a equação 1' e a equação 3'. Houve também diferença significativa entre as estimativas de

CACanoagem ($p < 0,05$). Novamente, as diferenças foram entre as equações 1' e 3'. Houve uma tendência à diferença entre os valores de R^2 ($p = 0,051$). Essa tendência foi detectada entre as equações 1' e 3'.

A tabela 3 contém a matriz de correlações entre as estimativas de PCrit e de VCrit fornecidas pelas três equações. Todas as correlações foram de moderadas a altas ($r = 0,79 - 0,91$), e significantes ($p < 0,05$).

A tabela 4 contém a matriz de correlações entre as estimativas de CTAnaer e de CACanoagem fornecidas pelas três equações. As correlações foram baixas ($r = -0,03 - 0,22$) e não significantes ($p > 0,05$).

Tabela 1. Média \pm desvio padrão da PCrit, CTAnaer e R^2 estimados em cicloergômetro para membros superiores.

Equação	PCrit (W)	CTAnaer (J)	R^2
(1)	123 \pm 10	10.831 \pm 5.541	0,992 \pm 0,018 [#]
(2)	124 \pm 10	10.551 \pm 4.684	0,999 \pm 0,001
(3)	123 \pm 11	10.769 \pm 4.585	0,970 \pm 0,032

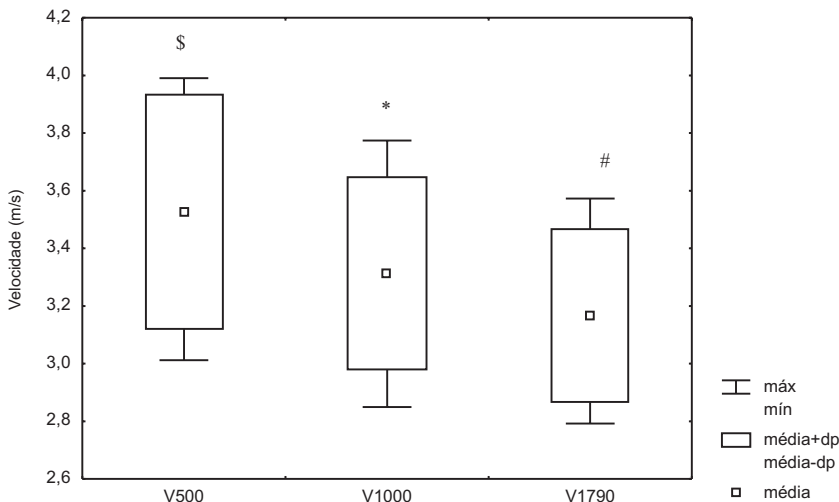
[#]diferente da equação 3 ($p < 0,05$).

Tabela 2. Média \pm desvio padrão da VCrit, CACanoagem e R^2 , estimados em caiaque K-1.

Equação	VCrit (m/s)	CA _{Canoagem} (m)	R^2
(1')	3,06 \pm 0,30 [#]	74,0 \pm 19,2 [#]	0,983 \pm 0,030
(2')	3,07 \pm 0,31	70,5 \pm 15,3	0,999 \pm 0,000
(3')	3,10 \pm 0,31	62,2 \pm 17,2	0,963 \pm 0,053

[#]diferente da equação 3 ($p < 0,05$).

Figura 1. Velocidade média (m/s) para cada uma das distâncias percorridas nos testes com caiaque.



Legenda da figura 1
\$ diferença significativa em relação aos 1000 m e aos 1790 m ($p < 0,01$).
* diferença significativa em relação aos 500 m e aos 1790 m ($p < 0,01$).
diferença significativa em relação aos 500 m e aos 1000 m ($p < 0,01$).

**Tabela 3.** Matriz de correlações entre as estimativas de PCrit em cicloergômetro e de VCrit no caiaque.

	PCrit (W) equação 1	PCrit (W) equação 2	PCrit (W) equação 3
VCrit (m/s) equação 1'	0,82	0,91	0,85
VCrit (m/s) equação 2'	0,81	0,89	0,84
VCrit (m/s) equação 3'	0,79	0,85	0,79

Nota: todas as correlações foram significantes ($p < 0,05$).

Tabela 4. Matriz de correlações entre as estimativas de CTAnaer em cicloergômetro e de CACanoagem no caiaque.

	CTAnaer (J) equação 1	CTAnaer (J) equação 2	CTAnaer (J) equação 3
CA _{Canoagem} (m) equação 1'	0,36	0,13	0,04
CA _{Canoagem} (m) equação 2'	0,50	0,22	0,12
CA _{Canoagem} (m) equação 3'	0,43	0,10	-0,03

Nota: as correlações não foram significantes ($p > 0,05$).

Discussão

A PCrit corresponde à intensidade de exercício onde há máximo estado estável de lactato e de VO_2 ^{4,11}. Representa, portanto, uma medida de capacidade aeróbia. A CTAnaer parece ser um indicador do máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD)⁵, sendo assim considerada uma medida de capacidade anaeróbia. A VCrit e a CACanoagem representam, em tese, indicadores com significados semelhantes aos da PCrit e CTAnaer. A vantagem para atletas da modalidade é que essas medidas seriam específicas para a canoagem⁹.

No presente estudo, as estimativas dos parâmetros do modelo de potência crítica, tanto no cicloergômetro quanto no caiaque, na aplicação das diferentes equações, apresentaram variabilidade relativamente baixa. Isso foi particularmente verdadeiro nos testes em cicloergômetro (Tabela 1). Apesar de ter havido diferença significativa ($p < 0,05$) entre as estimativas de VCrit entre as equações 1' e 3', essas não chegaram a 5%. No entanto, para a CACanoagem, as estimativas variaram em mais de 10% (Tabela 2). Sendo assim, a escolha da equação, apesar de serem todas equivalentes do ponto de vista aritmético,

interfere na estimativa da capacidade anaeróbia. A presença de diferenças superiores a 10% entre as equações implica em erros experimentais sistemáticos na coleta das informações⁵, diminuindo a acuidade da CACanoagem na predição do MAOD. Esse artefato, no entanto, é comum em testes que aplicam o modelo de potência crítica em diferentes formas de exercício^{3,8}.

Os erros de predição da CACanoagem podem ter influenciado na ausência de correlações significantes entre suas estimativas e as de CTAnaer em cicloergômetro. Moysés et al.⁸ reportaram comportamento semelhante entre as estimativas de CTAnaer obtidas pelas três equações em teste de corrida “vai-e-vem” de 20 metros, e a mesma variável calculada através de testes de corrida em pista de 400 metros. Ou seja, ao que parece, a CTAnaer obtida em uma forma de exercício não prediz de forma acurada a capacidade anaeróbia em outro exercício, mesmo que haja muita semelhança entre eles do ponto de vista de padrão motor.

As correlações elevadas encontradas neste estudo entre as diferentes estimativas de PCrit em cicloergômetro e de VCrit no caiaque sugerem que a capacidade aeróbia de

membros superiores em movimentos que envolvem habilidade específica da canoagem pode ser predita através de testes que envolvem movimentos mais simples, em cicloergômetro para membros superiores. Dessa forma, canoístas podem ser testados fora da água para avaliação e controle dos efeitos do treinamento sobre essa capacidade. Além disso, e talvez a implicação mais relevante dos achados, é a possibilidade de avaliação de pessoas sem familiaridade com os movimentos da canoagem, visando à detecção de talentos para a modalidade. Em tese, indivíduos com valores elevados de PCrit em cicloergômetro de membros superiores têm grande probabilidade de sucesso ao serem familiarizados no caiaque, pois parece existir transferência entre as situações no que diz respeito à capacidade aeróbia.

Esses resultados diferem dos observados por Mello e Franchini⁷ ao analisarem a VCrit de remadores na água e no remoergômetro. Eles não observaram correlação significativa entre as duas situações. Contudo, parte dessa diferença pode estar associada à variação em termos de nível técnico dos atletas investigados naquele estudo. Embora seja difícil estabelecer uma relação direta, para grupos mais homogêneos do ponto de vista técnico, parece ser maior a possibilidade de associação de variáveis fisiológicas em diferentes ergômetros, enquanto para grupos mais heterogêneos tecnicamente, a habilidade possa atuar como uma variável interveniente.

Além disso, outra diferença marcante entre os achados deste estudo com relação aos resultados de Mello e Franchini⁷ é que entre canoístas, houve diferença significativa de velocidade média mantida em diferentes distâncias (500, 1.000 e 1.800 metros), o que possibilita a aplicação da equação 1', que relaciona através de uma hipérbole, a velocidade de deslocamento da embarcação, e o tempo de esforço. Parece que os pressupostos do modelo de potência crítica são mais bem atendidos na canoagem em relação ao remo, porque no segundo a

variação das velocidades entre as diferentes distâncias não é significativa, ao menos na amostra de atletas estudada por Mello e Franchini⁷. No remoergômetro, essas diferenças entre as distâncias são mais visíveis, permitindo a utilização da equação 1'.⁶

Vantagens adicionais ainda podem ser apontadas em função das altas correlações encontradas entre a PCrit no cicloergômetro de membros superiores e a VCrit na água dos canoístas no presente estudo. Em dias em que elementos do clima não ofereçam condições favoráveis à condução dos treinos específicos no caiaque, os treinos em cicloergômetro poderiam substituir as atividades na água. Resta saber, através de investigações futuras, se adaptações a treinamentos realizados em cicloergômetro seriam revertidas para o desempenho na água, já que os ergômetros oferecem maiores chances para variação da carga externa, sobretudo através de sobrecargas mais pesadas e com diferentes velocidades de rotação do pedal, características que são limitadas na realização dos movimentos específicos dos treinamentos de canoagem.

Conclusão

Com base nos resultados apresentados no presente estudo, conclui-se que dentre os parâmetros do modelo de potência crítica estimados em cicloergômetro de membros superiores em canoístas, apenas a PCrit, estimada através das três equações previstas, apresenta alta correlação ($r = 0,79 - 0,91$) com a VCrit obtida através de dados em caiaque. A CTAnaer é um preditor precário da CACanoagem, dadas as correlações não significantes entre ambas ($r = -0,03 - 0,22$). Dessa forma, a PCrit obtida em cicloergômetro pode ser uma variável útil na predição da performance na água, bem como ser utilizada como uma medida de avaliação mais simples e controlada dos efeitos do treinamento de canoístas.

Referências

1. Calis JFF, Denadai BS. Influência das cargas selecionadas na determinação da potência crítica determinada no ergômetro de braço em dois modelos lineares. **Rev Bras Med Esporte**. 2000; 6 (1): 1-4.
2. Cligelleffer A, McNaughton LR, Davoren B. The use of critical power as a determinant for establishing the onset of blood lactate accumulation. **Eur J Appl Physiol**. 1994; 68 (2): 182-187.
3. Fontes EB, Borges TO, Altinari LR, Melo JC, Okano AH, Cyrino ES. Influência do número de coordenadas e da seleção de distâncias na determinação da velocidade crítica na canoagem de velocidade. **Rev Bras Ciên Mov**. 2002; 10 (4): S161.
4. Gaesser GA, Poole D. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exerc Sport Sci Rev**. 1996; 24: 35-70.
5. Hill DW, Smith JC. A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. **J Sports Med Phys Fitness**. 1994; 34 (1): 23-37.
6. Kennedy DJ, Bell GJ. A comparison of critical velocity estimates to actual velocities in predicting simulated rowing performance. **Can J Appl Physiol**. 2000; 25 (4): 223-235.
7. Mello FC, Franchini E. Velocidade crítica e velocidade média nos 2000 m: Diferenças entre o desempenho no remoergômetro e na água. **Rev Bras Ciên Mov**. 2003; 11 (4): 73-77.
8. Moysés EP, Nakamura FY, Nakamura PM. Confiabilidade e validade dos parâmetros do modelo de potência crítica em testes “vai-e-vem” de 20 metros. **Motriz**. 2003; 9: S53-S54.
9. Nakamura FY, Borges TO, Sales OR, Cyrino ES, Kokubun E. Estimativa de custo energético e contribuição das diferentes vias metabólicas na canoagem de velocidade. **Rev Bras Med Esporte**. 2004; 10 (2): 70-77.
10. Poole DC. Letter to the editor-in-chief. **Med Sci Sports Exerc**. 1986; 26: 1335-1340.
11. Poole DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of upper limit for prolonged exercise in man. **Ergonomics**. 1988; 31 (9): 1265-1279.
12. Taylor SA, Batterham AM. The reproducibility of estimates of critical power and anaerobic work capacity in upper-body exercise. **Eur J Appl Physiol**. 2002; 87 (1): 43-49.