



Utilização do esforço percebido na determinação da velocidade crítica em corrida aquática

Fábio Yuzo Nakamura^{1,2}, Miriely Regina Gancedo¹, Leandro Albuquerque da Silva¹, Jorge Roberto Perroux de Lima³ e Eduardo Kokubun²

RESUMO

A relação linear entre intensidade do exercício e taxa de aumento da atividade neuromuscular avaliada pela eletromiografia permitiu a estimativa do limiar de fadiga, que seria a intensidade que poderia ser mantida indefinidamente sem aumento dos sinais eletromiográficos ao longo do tempo. Levantou-se a hipótese de que a percepção subjetiva de esforço teria comportamento semelhante ao da ativação neuromuscular e que um limiar de esforço percebido (LEP), identificado de forma semelhante ao limiar de fadiga eletromiográfica, poderia coincidir com a velocidade crítica (VCrit). Treze indivíduos de ambos os sexos ($23,0 \pm 2,5$ anos), em uma piscina de 15m de extensão e 2,5m de profundidade, realizaram três testes exaustivos de corrida aquática para determinação dos parâmetros do modelo de velocidade crítica, reportando o esforço percebido (escala de Borg de 6-20 pontos), a cada 15m. Para identificação do LEP, os coeficientes de inclinação das retas do aumento do esforço percebido no tempo (ordenada) e velocidades utilizadas (abscissa) foram ajustados a uma função linear que fornecia um ponto no eixo da velocidade onde, teoricamente, o esforço percebido seria estável indefinidamente. A VCrit foi estimada pelas equações usadas no modelo de velocidade crítica. Para comparação das estimativas de VCrit e do LEP, e de suas associações, foi feita ANOVA para medidas repetidas ($p < 0,05$) e calculada a correlação de Pearson. Os dados obtidos para a determinação da VCrit atenderam aos critérios adotados para a validade do modelo; a VCrit e o LEP não apresentaram diferença estatística ($0,23 \pm 0,02$ m/s x $0,24 \pm 0,03$ m/s) e foram significativamente correlacionados ($r = 0,85$). Esses resultados sugerem que o LEP parece representar a intensidade máxima de exercício em que variáveis fisiológicas e psicofísicas encontrariam estabilidade, e que esse índice pode ser utilizado na determinação da VCrit.

RESUMEN

Utilización de esfuerzo percibido en la determinación de la velocidad crítica en la maratón acuática

La relación lineal entre la intensidad del ejercicio y la tasa de aumento de la actividad neuromuscular estimada por la electromiografía permite estimar el límite de fatiga que sería la intensidad

1. Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício – Centro de Educação Física e Desportos – Universidade Estadual de Londrina – Londrina, PR.
2. Instituto de Biociências – Departamento de Educação Física – Universidade Estadual Paulista – Rio Claro, SP.
3. Laboratório de Avaliação Motora – Universidade Federal de Juiz de Fora, MG.

Recebido em 3/9/04. 2ª versão recebida em 28/11/04. Aceito em 30/11/04.

Endereço para correspondência: Fábio Yuzo Nakamura, Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício, Centro de Educação Física e Desportos, Universidade Estadual de Londrina, Rod. Celso Garcia Cid, km 380, Campus Universitário – 86051-990 – Londrina, PR – Brasil. E-mail: fabioy_nakamura@yahoo.com.br

Palavras-chave: Esforço percebido. Velocidade crítica. Corrida aquática.

Palabras-clave: Esfuerzo percibido. Velocidad crítica. Maratón acuática.

que podría estar mantenida indefinidamente sin aumento de señales electromiográficas a largo plazo. Se planteó la hipótesis de que la percepción subjetiva del esfuerzo tendría un comportamiento semejante a la activación neuromuscular, y que el umbral del esfuerzo percibido (LEP), identificado de forma semejante al umbral de fatiga electromiográfica, podría coincidir con la velocidad crítica (VCrit). Trece individuos de ambos sexos (23 ± 2.5 años) en una piscina de 15 ms de extensión y 2.5 ms de profundidad, realizaron 3 tests exhaustivos de maratón acuática para la determinación de los parámetros de velocidad crítica, reportando el esfuerzo percibido (escala de Borg de 6 a 20 puntos) cada 15 min. Para identificación del LEP, los coeficientes de inclinación de las rectas de aumento del esfuerzo percibido en el tiempo (ordenada) y las velocidades utilizadas (abscisa) fueron ajustados a una función lineal que marcaba un punto de crecimiento de velocidad donde teóricamente el esfuerzo percibido estaría establecido indefinidamente. La VCrit fue estimada por las ecuaciones usadas en el modelo de la velocidad crítica. Para comparación de las estimativas de Vcrit, del LEP y de sus asociaciones, fue hecha ANOVA para medidas repetidas ($p < 0.05$) y calculada la correlación de Pearson. Los datos obtenidos para la determinación de VCrit se ajustaron a los criterios adoptados para la validación del modelo, y la VCrit y LEP no presentaron diferencias estadísticas (0.23 ± 0.02 m/s x 0.24 ± 0.03 m/s) y fueron significativamente correlacionados ($r = 0.85$). Estos resultados sugieren que el LEP parece representar la intensidad máxima de ejercicio en que las variables fisiológicas y psicofísicas encontrarían estabilidad, y que éste índice puede ser utilizado para la determinación de la VCrit.

INTRODUÇÃO

Escalas de esforço percebido foram criadas com o objetivo de estabelecer relações entre a percepção subjetiva de esforço e os dados objetivos de carga externa, ou de estresse fisiológico. Segundo Borg⁽¹⁾, a percepção de esforço é resultado da integração de sinais aferentes provenientes tanto dos músculos esqueléticos (periféricos), quanto do sistema cardiorrespiratório (centrais). Durante o exercício de alta intensidade⁽²⁾, ou seja, aquele realizado em intensidade superior à potência crítica (PCrit), parece haver um agente etiológico comum a esses dois tipos de atividades sensoriais: a acidose metabólica^(3,4). A diminuição do pH tecidual causa fadiga muscular e a do pH sanguíneo está associada a aumento da ventilação. Ambas as respostas demandam maior atividade neuromotora eferente, tanto para os músculos esqueléticos quanto para os ventilatórios^(3,5), que seria percebida subjetivamente pelo indivíduo como um esforço crescente para manter uma mesma taxa de trabalho muscular. Assim, parece que a percepção do esforço envolve tanto retro (*feedback*) quanto pré-alimentação (*feed forward*)⁽⁶⁾.

Estudos mostram que a atividade eletromiográfica de músculos extensores do joelho sofre aumento progressivo ao longo do tem-

po em exercícios severos no cicloergômetro^(6,7). A taxa de aumento da atividade eletromiográfica é proporcional à intensidade do exercício. A relação linear entre intensidade e taxa de aumento da atividade eletromiográfica permite a estimativa do limiar de fadiga, que é o intercepto da reta de regressão no eixo da intensidade. O limiar de fadiga seria a intensidade de exercício que poderia ser mantida indefinidamente sem alterações na ativação neuromuscular, ou seja, sem aumento dos sinais eletromiográficos ao longo do tempo. No presente estudo, levantamos a hipótese de que a percepção subjetiva de esforço teria comportamento semelhante ao dado objetivo de ativação neuromuscular. Dessa forma, poderia ser estimado um limiar de esforço percebido através de procedimento similar ao do limiar de fadiga eletromiográfica.

Le Chevalier *et al.*⁽⁷⁾ apontam que o limiar de fadiga coincide com a PCrit, determinada pela inclinação da relação linear trabalho-tempo em ergômetro adaptado para o exercício de extensão unilateral de joelhos. Essa intensidade foi originalmente descrita como aquela em que se mantém o esforço de músculos isolados sem que haja exaustão⁽⁸⁾. Moritani *et al.*⁽⁹⁾ estenderam esse conceito para o cicloergômetro. Em modalidades como a corrida⁽¹⁰⁾ e natação^(11,12), o trabalho é substituído pela distância e a potência, pela velocidade. Assumese, nessa conversão, uma relação linear entre os respectivos pares de variáveis. Dessa forma, pode ser estimada a velocidade crítica (VCrit).

A VCrit corresponde a uma intensidade limítrofe de esforço que pode ser mantida com estado estável de $\dot{V}O_2$ ⁽¹³⁾ e de lactato⁽¹⁴⁾. Acima dessa intensidade, essas variáveis atingem valores de pico, prenunciando a ocorrência da exaustão. A exaustão em corridas supra-VCrit coincide com o esgotamento total da capacidade de corrida anaeróbia (CCAnaer). A CCAaer é descrita como a distância máxima que pode ser percorrida à custa do metabolismo anaeróbio.

Como a mobilização do metabolismo anaeróbio é a principal fonte de acúmulo de íons H⁺ nos tecidos e, como consequência, da diminuição do pH no organismo, pode-se inferir que a taxa de esgotamento da CCAaer seria responsável pelo aumento do esforço percebido no exercício de alta intensidade. Assim, a intensidade máxima passível de ser mantida sem aumento do esforço percebido no tempo deveria ser coincidente com a VCrit. Portanto, o objetivo do presente estudo é comparar a VCrit, obtida na corrida aquática, com o limiar de esforço percebido (LEP), proposto por nós como uma forma alternativa de determinar a máxima intensidade de exercício que permite a estabilização de variáveis fisiológicas e psicofísicas.

MÉTODOS

Sujeitos

Participaram do estudo 13 indivíduos jovens de ambos os sexos, com $23,0 \pm 2,5$ anos de idade, 170 ± 12 cm de estatura e $64,3 \pm 15,3$ kg de massa corporal. Todos assinaram termo de consentimento livre e esclarecido para participar do estudo. Nenhum deles possuía experiência prévia com corrida aquática.

Familiarização à corrida aquática e à escala de Borg

A piscina utilizada neste estudo, de 15m de extensão e 2,5m de profundidade, com temperatura da água mantida próxima aos 28°C, foi considerada propícia para a corrida aquática porque os indivíduos não tocavam os pés no fundo enquanto mantinham suas cabeças fora da água.

Os voluntários passaram por duas a quatro sessões de familiarização à corrida aquática. Essas sessões serviram para que eles aprendessem a técnica correta de corrida aquática com o objetivo de apresentar resultados confiáveis durante os testes para determinação dos parâmetros do modelo de velocidade crítica e LEP. As instruções técnicas de corrida aquática eram dadas por dois dos investigadores. Um deles permanecia fora da piscina, enquan-

to o outro monitorava os movimentos no ambiente subaquático. Portanto um colete flutuador, a tendência do corpo relaxado do participante era de se posicionar verticalmente em relação ao fundo da piscina, com a cabeça acima da superfície da água. Na corrida, o tronco devia ser levemente flexionado para frente. Os movimentos dos braços e das pernas deveriam simular a corrida terrestre para que o corpo começasse a se deslocar. A amplitude das incurções das articulações do quadril, joelhos e tornozelos deveria ser grande; os dedos das mãos deveriam estar unidos no plano sagital, para que não fossem dadas braçadas, como na natação. Os cotovelos deveriam passar rente ao tronco. Cada sessão de familiarização durava cerca de 20min. A intensidade era escolhida pelo próprio participante. Solicitava-se que a intensidade fosse confortável, sem causar fadiga. Ao final da sessão, após breve descanso, era solicitado que cada indivíduo percorresse 60m à máxima velocidade de deslocamento aquático. Quando a técnica de corrida aquática se mostrava satisfatória e o desempenho em dois testes de 60m consecutivos não diferia em mais de 5%, os participantes estavam aptos a iniciar os testes de determinação da VCrit, CCAaer e LEP.

Ainda durante a familiarização, eram ministradas instruções sobre o uso da escala de 15 pontos de Borg⁽¹⁾, que seria utilizada na etapa posterior do estudo. A escala era apresentada aos participantes durante a prática de corrida aquática, os quais atribuíam um valor numérico na escala correspondente a sua percepção geral de esforço naquele instante. A escala possui atributos verbais ao lado dos números para facilitar a escolha. Isso foi feito para que os participantes se habituassem a usar a escala e memorizassem a relação entre os atributos verbais e os valores numéricos que deveriam reportar (exemplo: 7-muito, muito leve; 17-muito intenso).

Testes para determinação da VCrit e CCAaer

Os três testes de determinação dos parâmetros do modelo de velocidade crítica foram feitos em dias diferentes. Antes de cada teste, o participante realizava breve aquecimento em ritmo escolhido livremente. As intensidades dos testes (0,25 a 0,35m/s) foram determinadas individualmente, de forma que a exaustão ocorresse aproximadamente dentro da faixa de um e 10 minutos⁽¹⁵⁾. Para controle da velocidade, foram colocados cones ao lado da borda da piscina, a cada 5m. Sinais sonoros, por apito, indicavam o momento em que o indivíduo deveria estar alinhado ao cone. Ao chegar em uma das extremidades da piscina, o participante se virava para repetir o mesmo percurso no sentido contrário, sem interrupção. Era considerada exaustão a desistência voluntária ou a incapacidade de manter o ritmo requerido por mais de dois cones. Caso fossem cometidos dois erros de ritmo seguidos, incentivava-se o participante para que os corrigisse no cone seguinte. Se obtivesse sucesso, o teste prosseguia até que um dos critérios de exaustão ocorresse. Se não fosse capaz de corrigir o ritmo solicitado, a distância delimitada pelos dois últimos cones (10m) era descontada da distância total percorrida. Essa variável, juntamente com o tempo total de teste e velocidade média, era ajustada às equações previstas pelo modelo de velocidade crítica para estimar a VCrit e a CCAaer. Essas equações estão discriminadas abaixo:

$$\text{tempo} = \text{CCAnaer}/(\text{velocidade} - \text{VCrit}) \quad (\text{equação 1})$$

$$\text{distância} = \text{CCAnaer} + (\text{VCrit} \cdot \text{tempo}) \quad (\text{equação 2})$$

$$\text{velocidade} = \text{VCrit} + [\text{CCAnaer} \cdot (1/\text{tempo})] \quad (\text{equação 3})$$

Estimativa do LEP

Durante os três testes exaustivos, os indivíduos foram instruídos a reportar o esforço percebido de acordo com a escala de 15 pontos de Borg⁽¹⁾, a cada 15m percorridos. O coeficiente angular da reta de regressão entre o tempo como variável independente e os valores individuais de esforço percebido atribuídos durante cada um dos testes foi determinado através da regressão linear. Os coe-

ficientes angulares das três retas (taxa de aumento do esforço percebido) obtidos com esse procedimento foram utilizados para estimar os parâmetros da reta de regressão linear em função das velocidades médias dos três testes. O LEP era identificado através da projeção desta reta no eixo das velocidades (x), ou seja, correspondia à velocidade em que a taxa de aumento do esforço percebido seria "0". As figuras 1 e 2 exemplificam esses procedimentos em um indivíduo representativo.

Tratamento estatístico

A V_{Crit} e a CC_{Anaer} foram estimadas através das equações 1, 2 e 3, pelos procedimentos de regressão linear e não-linear. Foram estimados também os respectivos erros padrão de estimativa (EPE) dos parâmetros e o coeficiente de determinação (r^2) associado a cada equação. A comparação entre as estimativas de V_{Crit} fornecidas pelas três equações, juntamente com o valor de LEP, foi feita através de análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas. O mesmo teste estatístico foi adotado para comparar as estimativas de CC_{Anaer}. O teste *post hoc* de Scheffé, para comparações múltiplas, foi utilizado para a identificação das diferenças entre as médias. O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para verificar as associações entre as estimativas de V_{Crit} e LEP. O nível de significância preestabelecido em todas as análises foi de $p < 0,05$.

RESULTADOS

A tabela 1 mostra os valores médios de velocidade, distância e tempo dos três testes exaustivos empregados na determinação dos parâmetros V_{Crit} e CC_{Anaer}.

TABELA 1
Valores médios (\pm DP) da velocidade dos testes retangulares exaustivos, distância percorrida e duração. Os resultados estão listados em ordem crescente de velocidade utilizada em cada um dos testes

Velocidade (m.s ⁻¹)	Distância (m)	Tempo (s)
0,26 \pm 0,02	184,6 \pm 68,7	699,1 \pm 274,5
0,31 \pm 0,02	85,4 \pm 29,5	271,2 \pm 83,4
0,35 \pm 0,03	49,3 \pm 19,5	142,7 \pm 58,3

A figura 1 revela que o aumento do esforço percebido ao longo de cada um dos testes ocorreu de forma linear. Em alguns casos, a inspeção visual mostrava que o primeiro valor reportado de esforço percebido não se adequava ao comportamento linear do restante dos pontos utilizados na reta de regressão. Quando isso acontecia, o primeiro ponto era descartado da análise. Havia também ocasiões em que os últimos pontos se repetiam no número 20, que é o valor máximo da escala. Isso geralmente ocorria no teste mais longo. Esses pontos também enfraqueciam a tendência à linearidade do restante da curva. Assim, eles também eram eliminados a fim de que a porção linear da curva fosse descrita com melhor ajuste pela equação de regressão. O LEP calculado, conforme exemplo de um caso mostrado pela figura 2, foi de 0,24 \pm 0,03m/s.

A tabela 2 mostra os valores médios obtidos de V_{Crit}, CC_{Anaer}, os respectivos EPE e o r^2 . Houve diferenças significantes entre as estimativas de CC_{Anaer} ($p < 0,05$). A estimativa fornecida pela equação 1 diferiu da fornecida pela equação 3 ($p < 0,05$). As estimativas de V_{Crit} foram comparadas entre si, juntamente com o valor de LEP (figura 3). Não foram detectadas diferenças significantes entre elas, apesar de ter havido tendência ($p = 0,054$) para a diferença de acordo com o nível de significância prefixado.

A tabela 3 contém a matriz de correlação entre as estimativas de V_{Crit} e LEP. Todas as correlações foram altas, mas merecem destaque as correlações entre LEP e as diferentes estimativas de V_{Crit}, que oscilaram entre 0,85 e 0,88.

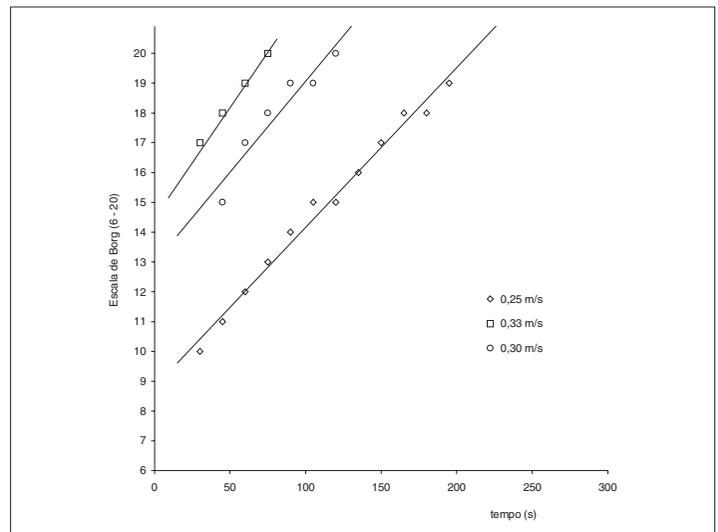


Fig. 1 – Aumento do esforço percebido ao longo do tempo, em três testes retangulares exaustivos, de um sujeito representativo

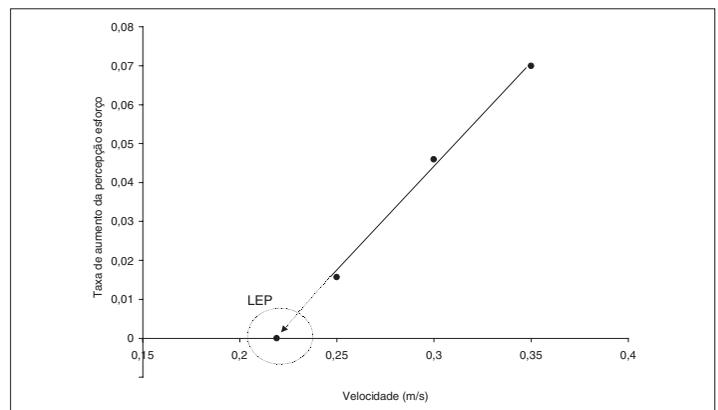


Fig. 2 – Determinação do limiar de esforço percebido (LEP) através da relação linear entre taxa de aumento do esforço percebido e velocidade de corrida aquática, de um sujeito representativo

TABELA 2
Velocidade crítica (V_{Crit}), capacidade de corrida anaeróbia (CC_{Anaer}), erro padrão de estimativa (EPE) e coeficiente de determinação (r^2) fornecidos pelas equações (1, 2 e 3), previstas pelo modelo de potência crítica (média \pm DP)

Equação	V _{Crit}		CC _{Anaer}		r^2
	m/s	EPE	m	EPE	
1	0,23 \pm 0,02	0,005 \pm 0,000	19,1 \pm 7,8*	3,3 \pm 2,6	0,983 \pm 0,026
2	0,24 \pm 0,03	0,009 \pm 0,006	17,0 \pm 7,5	3,9 \pm 2,7	0,999 \pm 0,001
3	0,25 \pm 0,03	0,025 \pm 0,041	15,0 \pm 7,6	2,7 \pm 1,4	0,965 \pm 0,042

* Diferença significante em relação à equação 3.

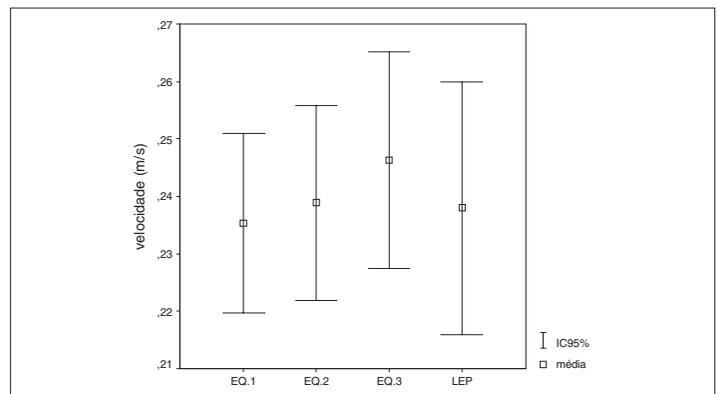


Fig. 3 – Valores médios de V_{Crit} estimados através das três equações do modelo de velocidade crítica e LEP

TABELA 3
Matriz de correlação das estimativas de VCrit resultantes da aplicação das três equações do modelo de velocidade crítica e o LEP

	Equação 1	Equação 2	Equação 3	LEP
Equação 1	1,00			
Equação 2	0,98	1,00		
Equação 3	0,92	0,98	1,00	
LEP	0,85	0,88	0,88	1,00

Nota – Todas as correlações são significantes ($p < 0,05$).

DISCUSSÃO

Não se conhecem estudos já publicados que tenham estimado a VCrit e a CCAnaer em corrida aquática. A maioria dos trabalhos sobre a modalidade, diferentemente do presente estudo, utiliza um modelo de corrida aquática estática, na qual o indivíduo permanece preso à borda pelo colete flutuador e a intensidade do esforço é controlada pela frequência de passadas, ou através de indicadores fisiológicos como a frequência cardíaca. Para revisão desses estudos, recomenda-se Wilder e Brennan⁽¹⁶⁾ e Reilly *et al.*⁽¹⁷⁾.

Os parâmetros do modelo de velocidade crítica foram determinados em modalidades correlatas à corrida aquática e seu significado fisiológico foi estabelecido. Segundo Wakayoshi *et al.*^(11,18) e Kokubun⁽¹²⁾, a VCrit, obtida na natação, não difere do limiar anaeróbio, calculado através da concentração fixa de 4mM de lactato no sangue, em teste com velocidades progressivas. A correlação, nos estudos citados, entre as duas variáveis foi alta ($r = 0,85$ a $0,89$). Além disso, a VCrit parece coincidir com o máximo estado estável de lactato medido diretamente^(12,18). Na corrida, Sid-Ali *et al.*⁽¹⁴⁾ e Hill e Ferguson⁽¹³⁾ chegaram a conclusões semelhantes com relação ao significado da VCrit. No segundo estudo, demonstrou-se adicionalmente que a VCrit é a máxima intensidade possível de ser sustentada sem elevação do $\dot{V}O_2$ até seu valor máximo. O significado da CCAnaer não está totalmente claro, pois a correlação esperada entre esse índice e o pico de lactato plasmático após teste exaustivo não foi confirmada por Housh *et al.*⁽¹⁹⁾. Apesar disso, em tese, a CCAnaer seria um indicador da capacidade anaeróbia⁽²⁰⁾.

Albuquerque da Silva (dados não publicados) mostrou que na corrida aquática a VCrit não difere de forma significativa do limiar anaeróbio, determinado pela concentração fixa de 3,5mM em teste incremental. A correlação entre essas variáveis foi de 0,79 a 0,90, dependendo da equação utilizada na estimativa da VCrit. Portanto, o significado fisiológico da VCrit na corrida aquática parece se alinhar com o estabelecido em outras modalidades.

As estimativas de VCrit não diferiram entre si no presente estudo. Além disso, o EPE médio foi de 2 a 10% da VCrit. Segundo Hill⁽²¹⁾, essas são importantes condições que garantem a precisão e a validade do parâmetro. Entretanto, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as estimativas de CCAnaer. O EPE associado a essa variável oscilou entre 14 e 23%. Ambos os fatores inviabilizam a precisão e validade da CCAnaer como indicador da capacidade anaeróbia, segundo os critérios elaborados por Hill e Smith⁽²⁰⁾. Mesmo assim, o ajuste dos dados experimentais às três equações foi bom, considerando-se os elevados valores de r^2 , em média, acima de 0,96.

Muita discussão tem sido travada em torno dos mecanismos neurofisiológicos responsáveis pela percepção de esforço. Cafarelli⁽⁶⁾ resume a disputa em três correntes de pensamento, com suas respectivas hipóteses explicativas. A hipótese 1, a favor da primazia da pré-alimentação, sustenta que uma "cópia" dos impulsos motores é transmitida ao córtex sensorial, informando sobre o grau de ativação muscular. Essa informação seria o constituinte principal da percepção de esforço. A hipótese 2 defende que a retroalimentação proveniente de químico e mecanorreceptores nas articulações, tendões, partes do sistema cardiorrespiratório e mús-

culos esqueléticos é que produziriam a sensação periférica, decodificada em percepção de esforço em níveis elevados do sistema nervoso central. A hipótese 3 propõe que os estímulos aferentes seriam comparados aos motores eferentes e que essa comparação de informações provocaria compensações imediatas no sentido de contrabalançar a fadiga. Essa hipótese sustenta que o córtex sensorial monitora tanto os sinais eferentes quanto os aferentes para gerar a percepção do esforço.

Diversos trabalhos têm tentado estabelecer respostas perceptivas ao esforço realizado nos limiares metabólicos (ventilatórios, de lactato)⁽²²⁻²⁴⁾, regular a lactacidemia em testes com carga variável através do esforço percebido⁽²⁵⁾ e também controlar outras variáveis como frequência cardíaca e intensidade do exercício com a utilização de escalas de esforço percebido⁽²⁶⁾. Em particular, sobre a determinação dos limiares metabólicos, que foi objetivo deste estudo, o uso da percepção de esforço tem apresentado alguns problemas. Os resultados de Mahon *et al.*⁽²⁴⁾ apontam que o esforço percebido avaliado pela escala de 15 pontos de Borg⁽¹⁾ na intensidade de limiar ventilatório apresenta considerável variabilidade interindividual, além de diferir significativamente quando comparadas crianças e adultos. Entretanto, estudo de Hill *et al.*⁽²²⁾ mostrou que o treinamento afeta o limiar ventilatório de adultos, mas não modifica a percepção de esforço associado a ele. Achados reunidos por Weltman⁽²⁷⁾ evidenciam que a percepção de esforço de 14 e de 16-17 é associada às concentrações fixas de 2,0 e de 4,0mM de lactato no sangue, apontadas com frequência como indicadores dos limiares de lactato e anaeróbio, respectivamente. A abordagem apresentada neste trabalho difere dos supracitados quanto à forma de detecção de um dos limiares – VCrit – pois não tivemos a intenção de fixar um valor de esforço percebido a essa intensidade. A proposta foi buscar uma aplicação original da escala de Borg⁽¹⁾, que leva em consideração a taxa de variação do esforço percebido como alternativa para a determinação individualizada da VCrit. De fato, como constatamos em nossos resultados, o valor do esforço percebido pode variar ao longo de um exercício retangular, o que invalida a tentativa de estabelecer um valor fixo associado à intensidade de esforço no exercício de alta intensidade.

Para uma mesma frequência de passadas, o esforço percebido é significativamente maior na corrida aquática em relação à corrida terrestre⁽²⁸⁾. Isso provavelmente ocorre porque, nessa situação, o $\dot{V}O_2$ e a frequência cardíaca são bastante superiores na corrida aquática. Ambas as variáveis se mostraram relevantes na predição do esforço percebido em corrida aquática através de análise de regressão múltipla⁽²⁹⁾. Outras variáveis importantes são ventilação-minuto e frequência ventilatória (centrais) e velocidade dos movimentos das pernas (periféricas). Essas informações, integradas no córtex sensorial e nos centros respiratórios, provavelmente determinam a evolução do esforço percebido em testes retangulares exaustivos e, dessa forma, influenciariam a estimativa do LEP.

No presente estudo, o LEP forneceu uma boa estimativa indireta da VCrit, já que ambos apresentaram valores bastante próximos e a correlação entre eles foi entre 0,85 e 0,88. O pressuposto assumido foi de que o esforço percebido seria aumentado nos testes exaustivos (figura 1) em paralelo com a utilização da CCAnaer. Com isso, a intensidade máxima em que, teoricamente, não haveria aumento do esforço percebido seria coincidente com a intensidade em que a CCAnaer não seria utilizada. Partindo desse raciocínio, o LEP foi determinado a partir da intersecção da reta de regressão da relação entre a taxa de aumento do esforço percebido e as velocidades utilizadas nos testes exaustivos (figura 2). Supõe-se que as regiões do sistema nervoso central responsáveis pela representação perceptiva do organismo sejam sensíveis ao esgotamento da reserva anaeróbia, representada pela CCAnaer. Na realidade, essa hipótese está de acordo com Cafarelli⁽⁶⁾, Kostka e Cafarelli⁽³⁾ e Robertson *et al.*⁽⁴⁾, os quais estabeleceram através de seus achados que o acúmulo de H^+ , tanto nos músculos exercitados quanto no sangue, seria o principal responsável pelo aumento

do esforço percebido. Grande parte do acúmulo de H⁺ no exercício é consequência direta da mobilização do metabolismo anaeróbio.

O papel da pré-alimentação na manifestação do esforço percebido não pode ser descartado, pois a atividade eletromiográfica, a qual indica o *drive* motor para ativação muscular, aumenta ao longo de esforços retangulares de alta intensidade⁽⁶⁾. Esse aumento pode ser creditado à incapacidade de os estímulos motores no início do exercício continuarem a ser efetivos até o final do exercício por conta de alterações no ambiente celular periférico (acúmulo de ADP, H⁺). O aumento da atividade eletromiográfica seria resultado da comunicação entre informações eferentes e aferentes, cuja comparação e integração modulariam o esforço percebido. A coincidência entre o limiar de fadiga e a PCrit⁽⁷⁾ reforça a hipótese 3.

Do ponto de vista prático da utilização de limiares metabólicos para prescrição de exercício aeróbio, a identificação do LEP se mostra promissora, já que os resultados deste estudo sugerem que o aumento da percepção do esforço seja, de alguma maneira, determinado pela utilização da capacidade anaeróbia. Uma limitação deste estudo foi a ausência de uma medida objetiva de utilização e depleção das reservas energéticas anaeróbias concomitante à coleta dos dados de esforço percebido. Embora o LEP identifique o mesmo limiar metabólico já descrito através de outros métodos basea-

dos na frequência cardíaca, na ventilação e na concentração de lactato sanguíneo, ele se constitui numa ferramenta útil para prescrição e controle do treinamento aeróbio. Não seria necessária a utilização de qualquer equipamento nem o emprego de procedimentos invasivos. Entretanto, seu significado fisiológico e sua aplicabilidade no treinamento aeróbio merecem investigações adicionais.

CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo sugerem que o esforço percebido pode ser utilizado na determinação da VCrit. O LEP não diferiu de forma significativa em relação à VCrit ($p > 0,05$). Além disso, as correlações entre as duas variáveis foram bastante altas ($r = 0,85$ a $0,88$). Dessa forma, o LEP parece representar a intensidade máxima de exercício onde variáveis fisiológicas e psicofísicas encontrariam estabilidade. Novos estudos devem ser conduzidos para avaliar a validade do LEP em outras condições experimentais.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Borg GAV. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14:377-81.
2. Gaesser GA, Poole D. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev* 1996;24:35-70.
3. Kostka CE, Cafarelli E. Effect of pH on sensation and vastus lateralis electromyogram during cycling exercise. *J Appl Physiol* 1982;52:1181-5.
4. Robertson RJ, Falkel JE, Drash AM, Swank AM, Metz KF, Spungen SA, et al. Effects of blood pH on peripheral and central signals of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1986;18:114-22.
5. Cafarelli E. Peripheral contributions to the perception of effort. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14:382-9.
6. DeVries HA, Moritani T, Nagata A, Magnussen K. The relation between critical power and neuromuscular fatigue as estimated from electromyographic data. *Ergonomics* 1982;25:738-91.
7. Le Chevalier JM, Vandewalle H, Thépaut-Mathieu C, Stein JF, Caplan L. Local critical power is an index of local endurance. *Eur J Appl Physiol* 2000;81:120-7.
8. Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 1965;8:329-38.
9. Moritani T, Nagata A, DeVries HA, Muro M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics* 1981;24:339-50.
10. Hughson RL, Orok CJ, Staudt LE. A high velocity treadmill running test to assess endurance running potential. *Int J Sports Med* 1984;5:23-5.
11. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Kasai T, Moritani T, Mutoh Y, et al. A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int J Sports Med* 1992;13:367-71.
12. Kokubun E. Velocidade crítica com estimador do limiar anaeróbio na natação. *Rev Paul Educ Fis* 1996;10:5-20.
13. Hill DW, Ferguson CS. A physiological description of critical velocity. *Eur J Appl Physiol* 1999;79:290-3.
14. Sid-Ali B, Vandewalle H, Chair K, Moreaux A, Monod H. Lactate steady state and distance-exhaustion time relationship in running. *Arch Int Physiol Biochim* 1991; 99:297-301.
15. Poole DC. Letter to the editor-in-chief. *Med Sci Sports Exerc* 1986;26:1335-40.
16. Wilder RP, Brennan DK. Physiological responses to deep water running in athletes. *Sports Med* 1993;16:374-80.
17. Reilly T, Dowzer CN, Cable NT. The physiology of deep-water running. *J Sports Sci* 2003;21:959-72.
18. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Harada T, Moritani T, Mutoh Y, et al. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady-state? *Eur J Appl Physiol* 1993;66:90-5.
19. Housh TJ, Johnson GO, McDowell SL, Housh DJ, Pepper ML. The relationship between anaerobic running capacity and peak plasma lactate. *J Sports Med Phys Fitness* 1992;32:117-22.
20. 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;34:23-37.
21. Hill DW. The critical power concept: a review. *Sports Med* 1993;16:237-54.
22. Hill DW, Cureton KJ, Grisham SC, Collins MA. Effect of training on the rating of perceived exertion at the ventilatory threshold. *Eur J Appl Physiol* 1987;56:206-11.
23. Kolkhorst FW, Mittelstadt SW, Dolgener FA. Perceived exertion and blood lactate concentration during graded treadmill running. *Eur J Appl Physiol* 1996;72: 272-7.
24. Mahon AD, Gay JA, Stolen KO. Differentiated ratings of perceived exertion at ventilatory threshold in children and adults. *Eur J Appl Physiol* 1998;18:115-20.
25. Stoudmire NM, Wideman L, Pass KA, McGinnes CL, Gaesser GA, Weltman A. The validity of regulating blood lactate concentration during running by ratings of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:490-5.
26. Ceci R, Hassmén P. Self-monitored exercise at different RPE intensities in treadmill vs field running. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:732-8.
27. Weltman A. The blood lactate response to exercise. 1st rev. ed. Champaign: Human Kinetics, 1995.
28. Brown SP, Chitwood LF, Beason KR, McLemore DR. Perceptual responses to deep water running and treadmill exercise. *Percept Mot Skills* 1996;83:131-9.
29. Brown SP, Chitwood LF, Beason KR, McLemore DR. Physiological correlates with perceived exertion during deep water running. *Percept Mot Skills* 1996;83: 155-62.