

# Determinação da relação potência-duração em exercício com membros superiores

Determination of the power-duration relationship in upper-limb exercises

Domingos Belasco Junior<sup>1</sup>, Fernando R. Oliveira<sup>2</sup>, José A. N. Serafini<sup>3</sup>, Antonio C. Silva<sup>4</sup>

## Resumo

**Objetivos:** Determinar a relação potência-duração em exercícios de membros superiores (MMSS) e verificar a relação dos parâmetros derivados dessa função com indicadores fisiológicos de aptidão aeróbia. **Métodos:** Dez homens saudáveis (26,2±2,3 anos, 75,0±11,8 kg, 178,2±11,5 cm e 15,0±5,7% de gordura) realizaram um teste de rampa em cicloergômetro de braço com incrementos de 20 W/min. Posteriormente, cinco testes de carga constante até a exaustão a 70, 80, 90, 95 e 100% da diferença entre LV1 e o VO<sub>2</sub>pico foram realizados. A potência crítica (PC) foi obtida por meio da linearização da função potência-duração. **Resultados:** A relação potência-duração foi descrita pela função ajustada ( $r=0,98±0,02$ ). O VO<sub>2</sub> na PC (2,66±0,62 l/min) foi maior do que no LV1 (1,62±0,38 l/min) e LV2 (2,36±0,59 l/min, respectivamente), mas menor do que o VO<sub>2</sub>pico (3,06±0,62 l/min). A carga da PC (103,0±26,0 W) foi diferente da encontrada em LV1 (69,5±21 W) e VO<sub>2</sub>pico (151,0±26,3 W), mas não da em LV2 (103,5±30,8 W). A associação entre a PC e esses indicadores de aptidão aeróbia foram todas significantes quando expressas em VO<sub>2</sub> (0,73 a 0,78;  $p<0,05$ ) e em W (0,83 a 0,91;  $p<0,05$ ). A determinação da PC em exercícios dinâmicos de MMSS é simples e de baixo custo, podendo ser utilizada pelo fisioterapeuta na prescrição e avaliação do treinamento de MMSS. **Conclusão:** A relação potência-duração em exercícios com os MMSS pode ser descrita por uma função hiperbólica e está associada a indicadores fisiológicos da aptidão aeróbia.

**Palavras-chave:** potência crítica; membros superiores; limiares metabólicos.

## Abstract

**Objectives:** To determine the power-duration relationship in upper limb exercises and to investigate the relationships between parameters derived from this function with physiological indicators of aerobic fitness. **Methods:** Ten healthy men (26.2±2.3 years, 75.0±11.8 kg, 178.2±11.5 cm and 15.0±5.7% body fat) performed a ramped test on an arm cycle ergometer with increments of 20 W/min. Subsequently, five tests with constant load were performed until exhaustion, with 70, 80, 90, 95 and 100% difference between VT1 and VO<sub>2</sub>peak. The critical power (CP) was obtained by means of linearization of the power-duration function. **Results:** The power-duration relationship was described using an adjusted function ( $r=0.98±0.02$ ). The VO<sub>2</sub> at CP (2.66±0.62 l/min) was higher than VT1 (1.62±0.38 l/min) and VT2 (2.36±0.59 l/min), but lower than VO<sub>2</sub>peak (3.06±0.62 l/min). The CP workload (103.0±26 W) was significantly different from VT1 (69.5±21 W) and VO<sub>2</sub>peak workloads (151.0±26.3), but was no different of VT2 (103.5±30.8 W). The association between critical power and aerobic condition indexes were always significant when expressed as VO<sub>2</sub> (0.73 to 0.78,  $p<0.05$ ) and in W (0.83 to 0.91,  $p<0.05$ ). Determination of CP in upper-limb dynamic exercises is simple and inexpensive, and can be used by physical therapists for prescribing and evaluating upper-limb training programs. **Conclusions:** The power-duration relationship in upper-limb exercises can be described by a hyperbolic function and it is associated with physiological indicators of aerobic fitness.

**Key words:** critical power; upper limbs; metabolic thresholds.

**Recebido:** 03/03/2009 – **Revisado:** 14/09/2009 – **Aceito:** 27/10/2009

<sup>1</sup>Curso de Fisioterapia, Faculdade de Saúde, Universidade Metodista de São Paulo, São Paulo (SP), Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Educação Física, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras (MG), Brasil

<sup>3</sup>Departamento de Medicina, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo (SP), Brasil

<sup>4</sup>Departamento de Fisiologia, UNIFESP

**Correspondência para:** Domingos Belasco Junior, Rua Edson Regis, 426, Jd Guarapiranga, CEP 04770-050, São Paulo (SP), Brasil, e-mail: domingos.junior@metodista.br

## Introdução

Na ação do fisioterapeuta junto ao processo de avaliação e prescrição de exercício em programas de prevenção e reabilitação funcional de indivíduos com comprometimentos ortopédicos, cardiopulmonares ou neurológicos de membros inferiores (MMII), é necessário o conhecimento da fundamentação fisiológica que caracteriza a determinação de cargas limítrofes entre os domínios de intensidade de trabalho de membros superiores (MMSS). Os parâmetros mais comumente empregados são os limiares de transição fisiológica (LTF) e o consumo máximo ou de pico de oxigênio ( $VO_{2\text{máx/pico}}$ )<sup>1</sup>. Outra aproximação empregada é a determinação da potência que, teoricamente, pode ser mantida por longa duração sem fadiga, denominada potência crítica (PC) ou velocidade crítica (VC). Essa variável é determinada a partir da análise de uma relação hiperbólica retangular entre a potência realizada ( $W$ ) e o tempo até a exaustão ( $t$ ) para exercícios de alta intensidade e carga constante<sup>2-4</sup>. Em outros termos, pela análise da equação resultante, depreende-se que o tempo de *endurance*, (capacidade de execução de exercício prolongado) depende diretamente da constante de curvatura e inversamente da potência aplicada acima da PC<sup>2,3</sup>. Nesse contexto, a PC encontra-se acima do denominado limiar anaeróbico ventilatório (LV1), carga situada aproximadamente a 60-65% da diferença entre o LV1 e o  $VO_{2\text{máx}}$ , pelo menos para o exercício realizado com os MMII em indivíduos jovens<sup>4,6</sup>. Assim, Whipp e Ozyener<sup>7</sup> propuseram que o LV1 marcaria a transição entre exercícios de moderada e alta intensidade, e a PC separaria os domínios intenso e muito intenso, próximo ao ponto de compensação respiratória (LV2)<sup>8</sup> – a qual se estenderia até a carga de  $VO_{2\text{max}}$ .

A relação  $W-t$  tem sido extensivamente estudada em exercícios executados com pequenos ou grandes grupos musculares, em diferentes atividades físicas, em resposta a várias intervenções e mesmo em pacientes com limitação ventilatória<sup>3,9</sup>. Além disso, similar aos LTF, a PC demonstrou ser sensível aos efeitos do treinamento.

Sobre isso, na literatura, existem poucos dados relativos à existência de uma hipérbole em resposta a exercícios de alta intensidade executados com os MMSS<sup>10-14</sup>. Adicionalmente, pouco se conhece a respeito da relação entre os parâmetros descritores da relação  $W-t$  para os MMSS e outros indicadores de aptidão aeróbia<sup>10</sup>. Visto que já foram descritas diferenças significantes entre respostas fisiológicas máximas e submáximas em MMII em comparação com exercícios que utilizam menor massa muscular envolvida, notadamente MMSS<sup>15-18</sup>, e o fato de a ergometria de MMSS ser uma modalidade útil para a avaliação e treinamento em casos de indivíduos com limitação funcional de movimentos com MMII ou para pneumopatas e cardiopatas, como coadjuvante no processo de reabilitação

cardiopulmonar<sup>19</sup>, o presente estudo teve como objetivos analisar a relação potência-duração em exercícios de carga constante desenvolvidos em ergômetro de MMSS e verificar a relação dos parâmetros derivados dessa função com indicadores fisiológicos de aptidão aeróbia; analisar se a PC para MMSS pode ser utilizada como avaliação da *endurance* e se, nesse tipo de atividade, a PC é associada aos LTF e  $VO_{2\text{pico}}$ .

## Materiais e métodos

A amostra foi composta por 10 adultos jovens (22 a 32 anos) do sexo masculino, sem impedimentos ortopédicos para a prática de exercícios de MMSS, classificados como fisicamente ativos com escores entre 8 e 12 de acordo com o questionário de atividade física de Baecke, Burema e Frijters<sup>20</sup>. O estudo foi realizado no Centro de Estudos em Fisiologia do Esforço (CEFE) e teve início após aprovação do Comitê de Ética da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) sob o número 040/00 e assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido pelos participantes. Foi realizada uma avaliação clínica, composta por anamnese completa e exame físico geral, realizados pelo mesmo médico.

As medidas antropométricas dos participantes foram obtidas, e o índice de massa corpórea calculado a partir de uma balança calibrada (Filizola, Brasil) (Tabela 1).

Os participantes foram submetidos a um teste incremental de rampa até o limite de tolerância. A taxa de incremento da rampa entre os sujeitos (20 W/min) foi ajustada de modo que a duração do teste estivesse entre 4-10 minutos.

As respostas metabólicas, ventilatórias e cardiovasculares durante a cicloergometria de MMSS (MET 300, Cybex, Lumex, Ronkonkoma, NY, USA) foram obtidas por meio de um sistema digital integrado para o teste de exercício cardiopulmonar (Vista CX, Vacumed, Hans Rudolph, EUA). As variáveis metabólicas e cardiopulmonares foram obtidas e amostradas como média aritmética dos valores determinados a cada 20 segundos. As calibrações dos analisadores gasosos foram feitas antes de cada teste, usando uma mistura de gases precisa (16% de  $O_2$  e 4%  $CO_2$ ). O fluxômetro foi calibrado antes de cada teste com uma seringa de volume estabelecido em 3 litros (modelo 7200 Wyandotte, Hans Rudolph, USA), com diferentes perfis de fluxo (lento, moderado e rápido). As seguintes variáveis foram determinadas: consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ , l/min STPD); produção de

**Tabela 1.** Valores médios e desvios-padrão de idade, nível de condicionamento físico pelo escore de Baecke, Burema e Frijters<sup>20</sup> e IMC.

|       | Idade (anos) | Escore de Baecke | IMC (Kg/m <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------|------------------|--------------------------|
| Média | 26,7         | 9,2              | 22,5                     |
| ±DP   | 2,8          | 1,2              | 1,4                      |

gás carbônico ( $VCO_2$  l./min STPD); quociente respiratório (R); ventilação minuto (VE, l/min BTPS); equivalente respiratório para o  $O_2$  e  $CO_2$  ( $VE/VO_2$  e  $VE/VCO_2$ ); pressão parcial de  $O_2$  e  $CO_2$  ( $PETO_2$  e  $PETCO_2$ , mmHg) e frequência cardíaca (FC bpm). O  $VO_2$  dos últimos 20 segundos da rampa foi considerado como sendo o  $VO_{2,pico}$ . O  $VO_2$  do LV1 foi estimado pelo método de troca gasosa pela visualização do ponto de inflexão do  $VCO_2$  em relação ao  $VO_2$  (V-slope modificado)<sup>21</sup> e pelo método ventilatório, quando  $VE/VO_2$  e  $PETO_2$  aumentavam, enquanto  $VE/VCO_2$  e  $PETCO_2$  permaneciam estáveis. Para a determinação do LV1, duas regiões foram descartadas da análise: os 2 minutos iniciais do protocolo, nos quais a cinética mais lenta do  $VCO_2$  afeta a relação de troca gasosa e os pontos além do ponto de compensação respiratória (PCR)<sup>22</sup>. A leitura foi feita independentemente por dois observadores experientes sem o conhecimento da identidade e dos outros resultados do sujeito avaliado. Considerando-se que nos protocolos com rápidos incrementos, a carga correspondente aos valores pontuais de  $VO_2$  de um determinado momento é aquela desenvolvida em uma constante de tempo anterior<sup>23</sup>, considera-se a carga do LV1 como aquela manifestada 45 segundos antes do  $VO_2$  associado ao LV1<sup>21</sup>. O LV2 foi identificado a partir da determinação do ponto a partir do qual ocorria aumento progressivo do equivalente  $VE/VCO_2$ , com queda do  $PETCO_2$  e/ou um segundo aumento abrupto da VE após LV1, plotado em função do  $VCO_2$ .

Subsequentemente, cada sujeito foi submetido a uma série de cinco diferentes testes de carga constante realizadas até o limite de tolerância: cada teste foi executado em dias diferentes, numa sequência aleatória. O protocolo foi composto de cinco cargas retangulares, com um intervalo mínimo de três dias entre uma carga e outra, visando prover uma melhor distribuição gráfica e uma maior validade dos valores achados de PC e de capacidade de trabalho anaeróbio<sup>3</sup>. As cargas foram escolhidas com base nos resultados do teste incremental e corresponderam a aproximadamente 70, 80, 90, 95 e 100% da diferença entre a carga do LV1 e do  $VO_{2,pico}$  (LV1 - MAX). Foram deliberadamente evitadas cargas de trabalho que pudessem induzir exaustão antes de 1 minuto ou além de 20 minutos<sup>3</sup>. Além disso, todos os indivíduos foram também testados na carga equivalente ao intercepto da relação  $W-1/t$ . Nessa carga retangular, foi medido o comportamento do  $VO_{2,pico}$ , determinando-se o  $VO_2$  da PC a partir da identificação do momento de estabilização do  $VO_2$  em

**Tabela 2.** Valores de médias e desvios-padrão do  $VO_2$  e potência (W) no esforço de pico, PC,  $VO_{2,pico}$ , LV1 e LV2.

|                | Pico         | PC           | LV1         | LV2          |
|----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| $VO_2$ (l/min) | 3,06±0,62    | 2,66±0,62    | 1,62±0,38   | 2,36±0,59    |
| Potência (W)   | 151,00±26,30 | 103,00±26,00 | 69,50±21,00 | 103,50±30,80 |

relação ao tempo, encontrando-se entre 5 e 10 minutos em todos os indivíduos.

Finalmente, os participantes foram submetidos a um teste adicional numa carga 5% superior à carga equivalente ao intercepto da relação supracitada. Nem os sujeitos nem o pesquisador foram informados do tempo ou da potência que eles deveriam desenvolver. Os sujeitos receberam um encorajamento do pesquisador para a obtenção do melhor desempenho possível. Os testes foram feitos com os sujeitos mantendo uma frequência de ciclagem de 80 rpm, seguindo o protocolo pré-estabelecido do ergômetro de braços<sup>24,25</sup>. Todos os testes foram precedidos de 3 minutos de linha de base em repouso e 2 minutos de exercício sem carga, quando foram verificados os parâmetros ventilatórios e metabólicos. O tempo de fadiga foi determinado pelo intervalo entre a imposição da carga e o ponto no qual o sujeito não conseguiu manter o ritmo de ciclagem exigido (queda maior que 10%).

A relação  $W - t$  foi linearizada por meio do gráfico da carga (em Watts) pela recíproca do tempo ( $1/t$ ), ou seja:

$$W = W' / t + PC$$

Logo, a constante de curvatura ( $W'$ , kJ) e a assíntota (PC, W) foram determinadas pela inclinação e intercepto, respectivamente, da linha obtida pela minimização da diferença dos quadrados<sup>26</sup>.

## Análise estatística

Após certificação da normalidade da distribuição das variáveis (teste de Kolmogorov-Smirnov), foram identificados a média aritmética e o desvio-padrão. Os valores médios foram comparados por meio do teste ANOVA fator único para amostras pareadas. O nível de associação entre PC, LV1, LV2 e  $VO_{2,pico}$  foi determinado pelo teste de correlação linear de Pearson. Para todos os testes, assumiu-se um risco alfa de 5% ( $p < 0,05$ ).

## Resultados

A relação entre potência aplicada e o respectivo tempo de duração ( $W-t$ ) foi descrita por uma função hiperbólica retangular em todos os indivíduos avaliados, com  $PC = 103 \pm 26$  W e  $W' = 7,08 \pm 2,14$  KJ e  $r = 0,98 \pm 0,02$ . A Tabela 2 mostra os valores encontrados para as variáveis de estudo no teste progressivo e a PC.

O valor do  $VO_2$  na PC ( $VO_{2,PC}$ ) foi significativamente superior ao encontrado nos LV1 ( $P < 0,001$ ) e LV2 ( $p < 0,05$ ) e inferior ao  $VO_{2,pico}$  ( $P < 0,05$ ). Diferentemente do  $VO_{2,pico}$ , não foram

encontradas diferenças significativas entre as W na PC e no LV2. Foram encontradas associações significantes entre os valores de  $VO_2$  e W na PC e os valores dessas variáveis no esforço de pico, LV1 e LV2 (Tabela 3).

Os voluntários permaneceram  $42,9 \pm 12,9$  minutos na carga retangular correspondente à PC. Um indivíduo (10%), não conseguiu completar 30 minutos de exercício na PC, com fadiga aos 20 minutos de exercício. Todos os outros indivíduos toleraram pelo menos 30 minutos no teste retangular. Entretanto, na carga 5% superior à PC, os avaliados alcançaram a fadiga em  $13,7 \pm 1,4$  min (11,7 a 16,0 min).

## Discussão

Há uma série de discussões relacionadas a qual modelo matemático representaria melhor a relação entre a W e o  $t^{26}$ , qual seria o número ideal de cargas a serem executadas para compor a melhor distribuição de pontos no gráfico de W versus tempo  $t^3$  e sobre a quantidade de tempo suportável na carga de PC. Os elevados valores de r para todos os indivíduos demonstram que o uso do recíproco do tempo linearizou adequadamente a citada relação, caracterizando uma função hiperbólica. Os achados reforçam a noção de que, em similaridade com o exercício efetuado com os MMII, a relação entre W e t para o exercício efetuado com os MMSS é hiperbólica (com valores de r entre 0,94 e 1,00— $p < 0,01$ ). Tal assertiva pode ser verificada pelos valores elevados de r quando da linearização da relação entre W e inverso do tempo ( $1/t$ ), de acordo com as observações anteriores feitas por outros autores relacionados aos MMII<sup>29</sup>.

O  $VO_{2\text{máx}}$  é um índice aeróbio que, quando medido em exercícios de MMSS, é cerca de dois terços do obtido com os MMII em pessoas saudáveis<sup>27</sup>. A menor massa muscular dos MMSS pode causar fadiga localizada e determinar a interrupção do exercício antes que o débito cardíaco máximo seja atingido, daí a denominação de  $VO_{2\text{pico}}$ , independente da presença ou não de platô<sup>21</sup>.

As cargas que deram origem à PC foram calculadas como frações da diferença entre potência máxima e LV1. O  $VO_{2\text{PC}}$  e  $VO_{2\text{pico}}$  foram associados ( $r=0,73$ — $p < 0,05$ ), houve diferença significativa entre os parâmetros,  $2,661 \pm 0,617$  l/min e  $3,06 \pm 0,619$  l/min, respectivamente. De forma similar, o  $VO_{2\text{PC}}$  foi significativamente superior e correlacionado aos valores de  $VO_{2\text{LV1}}$  ( $1,621 \pm 0,378$  l/min,  $r=0,76$ ) e  $VO_{2\text{LV2}}$  ( $2,361 \pm 0,587$  l/min— $r=0,78$ ). A mesma tendência foi verificada entre as cargas nessas variáveis, com valores superiores de associação entre elas (Tabela 2).

Tais resultados sugerem uma natureza predominantemente “aeróbia” da PC, como referido anteriormente<sup>28,29</sup>. Reforçando

**Tabela 3.** Nível de correlação entre o  $VO_2$  e a W correspondentes ao esforço de pico, LV1 e LV2 em cicloergometria de membros superiores.

|                           | Pico | LV1  | LV2  |
|---------------------------|------|------|------|
| $VO_{2\text{PC}}$ (l/min) | 0,73 | 0,76 | 0,78 |
| WPC (W)                   | 0,91 | 0,83 | 0,86 |

este modelo, a W' não se correlacionou significativamente com nenhum dos parâmetros aeróbios supracitados ( $r=0,04$ – $0,25$ ), sugerindo a diversa representação metabólica desses índices.

O LV2 foi obtido a partir do comportamento de variáveis ventilatórias em teste de rampa, que costuma revelar, em intensidades submáximas, valores de  $VO_2$  inferiores aos obtidos em cargas retangulares de maior duração, i.e., acima de 5 minutos, como na medida do  $VO_{2\text{PC}}$  utilizado no presente estudo. O fenômeno que explica essa discrepância entre os protocolos é o componente lento da cinética de  $VO_2$ , que ocorre acima do LV1 e faz com que o  $VO_2$  seja dependente não só da carga como também do tempo de sustentação do exercício, o que pode determinar diferentes níveis de estresse quando da avaliação dessas variáveis<sup>8</sup>.

As associações encontradas entre a PC e os LV1 e LV2 estão de acordo com os dados para MMII encontrados por Moritani et al.<sup>30</sup>. Em jovens estudantes bem treinados, Dekerle et al.<sup>8</sup> encontraram que a PC é superior ao LV1 e similar ao LV2, com associações não significantes encontradas entre PC e LV1 ( $r=-0,08$ ) e LV2 ( $r=0,07$ ). Diferentemente, Dekerle et al.<sup>8</sup> demonstraram que a intensidade na PC é similar à intensidade de LV1, enquanto Nakamura et al.<sup>14</sup> verificaram que a PC é significativamente superior ao LV1 ( $r$  entre 0,86–0,93) e inferior à LV2 ( $r$  entre 0,79–0,85). Esse conflito com relação ao domínio fisiológico da PC pode ser estendido às comparações com a intensidade de máximo estado estável de lactato (MEEL)<sup>8</sup>. Apesar do alto grau de associação encontrado entre estas variáveis ( $r=0,95$ ), já se demonstrou que a PC está em intensidade superior ou que não há diferenças significantes entre elas<sup>31</sup>. Além disso, em carga retangular na PC, não foi possível encontrar estado de equilíbrio nas concentrações de lactato sanguíneo [la], apesar de estar em intensidade similar ao MEEL de  $VO_2$ <sup>6,32</sup> e de percepção subjetiva de esforço<sup>14</sup>.

Muitas vezes, a complexidade em relação aos custos e pouca oferta de laboratórios que fazem testes ergoespirométricos em ergômetros de MMSS dificultam ou às vezes impedem que o fisioterapeuta prescreva adequadamente os exercícios no programa de reabilitação cardiopulmonar. Metodologicamente, a determinação da PC e a sua utilização como uma estimativa de MEEL é vantajosa para o fisioterapeuta que prescreve exercícios de MMSS em um programa de reabilitação cardiopulmonar, já que é de simples aplicação, de baixo custo e proporciona

uma informação válida para monitorar a habilidade de *endurance* aeróbia e a resposta individual ao treinamento, evitando, por exemplo, os problemas de estimativas baseadas em valores fixos de lactato sanguíneo<sup>33</sup>. Entretanto, deve-se notar que os resultados do presente estudo não permitiram estabelecer se a PC corresponde à maior demanda metabólica associada com lactato estável, pois apesar da verificação de estabilização do VO<sub>2</sub> na carga constante na PC, não foram apresentadas as medidas diretas de lactato nessa ou em outras cargas inferiores e/ou superiores. No entanto, os valores médios de tempo de manutenção encontrados na PC foram de 42,9±12,9 min (mínimo de 20 minutos). Nenhum dos participantes manteve a carga 5% acima da PC por mais de 20 minutos (13,7±1,4 min), o que diz a favor da utilização da PC como aproximação da intensidade de MEEL em exercícios com MMSS. Independente da forma de expressá-la, parece que a PC pertence à zona de transição dos domínios intenso e muito intenso.

Na carga de PC, o valor da razão de trocas respiratórias foi de 0,98±0,02, o que correspondeu a uma intensidade de predominância de utilização de energia proveniente da metabolização de carboidratos<sup>34</sup>. Com o passar do tempo mantendo essa carga, a via energética é progressivamente esgotada, sendo que

a sua depleção pode ser a principal causa de fadiga. Na intensidade superior à PC, pelo tempo de exaustão encontrado e pelas características da prática de exercícios com MMSS, a principal razão de término do exercício esteve associada à crescente acidose metabólica.

Acredita-se que futuras investigações, com amostra mais numerosa, envolvendo a relação W-t para exercícios com MMSS, devam ser feitas com protocolos, cadência de pedagem e critérios de interrupções diferentes, associando-se ainda escalas analógicas de esforço e estudos eletromiográficos localizados<sup>10,11,24,35</sup>, particularmente enfatizando o estudo adicional da relação entre a taxa máxima de acúmulo estável do lactato e a PC.

A relação entre a potência aplicada e o respectivo tempo de tolerância para o exercício dinâmico de alta intensidade realizado com os MMSS é caracterizada por uma função hiperbólica retangular. A assíntota em y dessa relação hiperbólica (potência crítica ou PC) representou uma carga similar ao LV2, a qual foi passível de ser sustentada por tempo prolongado e com t similar ao comumente encontrado em MMII. A PC associou-se significativamente com indicadores do metabolismo aeróbio, tais como o VO<sub>2</sub>pico e LV1 e LV2.

## Referências bibliográficas

- Bosquet L, Léger L, Legros P. Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med.* 2002;32(11):675-700.
- Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscle group. *Ergonomics.* 1965;8:329-38.
- Hill DW. The critical power concept : a review. *Sports Med.* 1993;16(4):237-54.
- Neder JA, Jones PW, Nery LE, Whipp BJ. The effect of age on the power/duration relationship and the intensity-domain limits in sedentary men. *Eur J Appl Physiol.* 2000;82(4):326-32.
- Williams CA, Deckerle J, McGawley K, Berthoin S, Carter H. Critical power in adolescent boys and girls – an exploratory study. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33(6):1105-11.
- Hill DW, Smith JC. Determination of Critical Power by Pulmonary Gas Exchange. *Can J Appl Physiol.* 1999;24(1):74-86.
- Whipp BJ, Ozyener F. The kinetics of exertional oxygen uptake: assumption and inferences. *Med Sport.* 1998;51:139-49.
- Deckerle J, Baron B, Dupont L, Vanvelcenaher J, Pelayo P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89(3-4):281-8.
- Neder JA, Jones PW, Nery LE, Whipp BJ. Determinants of the exercise endurance capacity in patients with COPD: the power-duration relationship. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;162(2Pt 1):497-504.
- Vanhatalo A, Doust JH, Burnley M. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(3):548-55.
- Capodaglio P, Bazzini G. Predicting endurance limits in arm cranking exercise with a subjectively based method. *Ergonomics.* 1996;39(7):924-32.
- 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;6:1-4.
- 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):43-9.
- Nakamura FY, Borges TO, Brunetto AF, Franchini E. Correlação entre os parâmetros do modelo de potência crítica no cicloergômetro de membros superiores e no caiaque. *Rev Bras Ciên Mov.* 2005;13(2):41-8.
- Celli BR. The clinical use of upper extremity exercise. *Clin Chest Med.* 1994;15(2):339-49.
- Kang J, Chaloupka EC, Mastrangelo MA, Angelucci J. Physiological responses to upper body exercise on an arm and a modified leg ergometer. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(10):1453-9.
- Koppo K, Bouckaert J, Jones AM. Oxygen uptake kinetics during high-intensity arm and leg exercise. *Respir Physiol Neurobiol.* 2002;133(3):241-50.
- Calbet JAL, Holmberg H-C, Rosdahl H, van Hall G, Jensen-Urstad M, Saltin B. Why do arms extract less oxygen than legs during exercise? *Am J Physiol Regul Comp Physiol.* 2005;289:1448-58.
- Neder JA, Nery LE. *Fisiologia Clínica do Exercício. Teoria e Prática.* São Paulo: Artes Médicas; 2003.
- Baecke JA, Burema J, Frijters E. A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. *Am J Clin Nutr.* 1982;36(5):936-42.
- Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ, Casaburri R. *Principles of exercise testing and interpretation.* 2<sup>a</sup> ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1987.
- McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Fisiologia do Exercício - energia, nutrição e performance humana.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1998.
- Ward SA, Blesovsky L, Russak S, Ashjian A, Whipp BJ. Chemoreflex modulation of ventilatory dynamics during exercises in humans. *J Appl Physiol.* 1987;63(5):2001-7.
- Hill DW, Ferguson CS. A physiological description of critical velocity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1999;79(3):290-3.
- Franklin BA. Exercise testing training and arm ergometry. *Sports Med.* 1985;2(2):100-19.
- Bull AJ, Housh TJ, Johnson GO, Perry SR. Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(2):526-30.
- Astrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB. *Textbook of work physiology.* 4<sup>a</sup> ed. Champaign: Human Kinetics; 2003.
- Wakayoshi K, Ikuta K, Yoshida T, Udo M, Moritani T, Mutoh Y, et al. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;64(2):153-7.

29. Fawcner SG, Armstrong N. Assessment of critical power with children. *Pediatr Exerc Sci*. 2002;14:259-68.
30. Moritani T, Nagata A, deVries HA, Muro M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*. 1981;24(5):339-50.
31. Smith CG, Jones AM. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *Eur J Appl Physiol*. 2001;85(1-2):19-26.
32. Barker T, Poole DC, Noble ML, Barston TJ. Human critical power-oxygen uptake relationship at different pedalling frequencies. *Exp Physiol*. 2006;91(3):621-32.
33. Cligeleffer 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 Occup Physiol*. 1994;68(2):182-7.
34. Billat VL, Sirvent P, Py G, Koraltzen J-P, Mercier J. The concept of maximal lactate steady state. A bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med*. 2003;33(6):407-26.
35. Morton RH. Critical power test for ramp exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994;69(5):435-8.