

## Força crítica em nado atado para avaliação da capacidade aeróbia e predição de performances em nado livre

*Critical force during tethered swimming for the evaluation of aerobic capacity and prediction of performances in freestyle swimming*

Marcelo Papoti<sup>1,2</sup>  
 Ricardo Vitório<sup>3</sup>  
 Gustavo Gomes Araújo<sup>1</sup>  
 Luiz Eduardo Barreto Martins<sup>4</sup>  
 Sérgio Augusto Cunha<sup>4</sup>  
 Claudio Alexandre Gobatto<sup>1</sup>

1 Universidade Estadual Paulista. Laboratório de Fisiologia Aplicada ao Esporte. Rio Claro, SP. Brasil.

2 Universidade Estadual Paulista. Laboratório de Fisiologia do Exercício. Presidente Prudente, SP. Brasil.

3 Universidade Estadual Paulista. Bauru, SP. Brasil.

4 Universidade de Campinas. Laboratório de Instrumentação para Fisiologia do Exercício. Campinas, SP. Brasil.

Recebido em 18/06/08  
 Revisado em 02/09/08  
 Aprovado em 07/03/09

**Resumo** – O presente estudo investigou as relações da força crítica ( $F_{crit}$ ) com o limiar de lactato ( $LL_{NA}$ ) e a intensidade de exercício correspondente ao  $VO_2max$  ( $iVO_2max$ ) em nado atado (NA) e suas correlações com as performances de 400m (V400) e teste de 30 minutos (VT30) em nado livre (NL). Sete nadadores foram submetidos a teste incremental em NA para determinação do  $LL_{NA}$  e da  $iVO_2max$ . Para determinação da  $F_{crit}$ , os nadadores realizaram 4 esforços até a exaustão com intensidades (F) correspondente a 87%, 104%, 118% e 134% da  $iVO_2max$  para obtenção dos tempos limites (tlim). A  $F_{crit}$  correspondeu ao coeficiente linear da relação entre a F e  $1/tlim$ . Os valores de  $F_{crit}$  ( $51,97 \pm 4,02$  N) foram significativamente diferentes da  $iVO_2max$  ( $60,21 \pm 8,73$  N), mas não do  $LL_{NA}$  ( $45,89 \pm 8,73$ ). A  $F_{crit}$  foi significativamente correlacionada com o  $iVO_2max$  (0,97),  $LL_{NA}$  (0,88), V400 (0,85) e VT30 (0,86). Os resultados sugerem que a  $F_{crit}$  pode ser utilizada na determinação da capacidade aeróbia, prescrição do treinamento em NA e na predição de performance em NL.

**Palavras-chave:** Nado atado; Força crítica; Limiar de lactato; Performance.

**Abstract** – The present study investigated the relationship of critical force ( $F_{crit}$ ) with lactate threshold ( $LL_{NA}$ ) and the intensity corresponding to  $VO_2max$  ( $iVO_2max$ ) in tethered swimming (TS), and their correlation with maximal performance in 400-m (V400) and 30-min (VT30) freestyle swimming (FS). Seven swimmers were submitted to a TS incremental test for the determination of  $LL_{NA}$  and  $iVO_2max$ . For the determination of  $F_{crit}$ , the swimmers performed four exercises to exhaustion at intensities (F) corresponding to 87%, 104%, 118% and 134% of  $iVO_2max$  for the calculation of time limits (Tlim).  $F_{crit}$  corresponded to the linear coefficient of the ratio between F and  $1/tlim$ . The maximal performance in FS corresponded to the mean velocity obtained during maximal exercise of 400-m and 30-min crawl swimming.  $F_{crit}$  ( $51.97 \pm 4.02$  N) was significantly lower than  $iVO_2max$  ( $60.21 \pm 8.73$  N) but not than  $LL_{NA}$  ( $45.89 \pm 8.73$ ).  $F_{crit}$  was significantly correlated with  $iVO_2max$  (0.97),  $LL_{NA}$  (0.88), V400 (0.85), and VT30 (0.86). These data suggest that  $F_{crit}$  can be used for the determination of aerobic capacity, prescription of a TS training program, and prediction of performance in FS.

**Key words:** Tethered swimming; Critical force; Lactate threshold; Performance.

## INTRODUÇÃO

Considerando a necessidade de aumento da força específica em natação<sup>1</sup> e que, em natação, a melhora da performance em decorrência do treinamento de força fora da água parece ser limitada, formas alternativas de treinamento são utilizadas com o objetivo de desenvolver a força e a potência dos nadadores. Dentre elas pode-se destacar a natação contra resistência, envolvendo a suspensão de anilhas (Power Rack), esforços contra tubos cirúrgicos<sup>2</sup> e a aplicação da força contra blocos fixados no fundo da piscina<sup>3</sup>.

Especificamente com relação ao treinamento em nado atado (NA), provavelmente, em função das alterações na mecânica de nado<sup>4</sup>, é um método de treinamento bastante criticado, não sendo ainda verificado na literatura pesquisas que investigaram os efeitos do treinamento em nado atado, objetivando o desenvolvimento de parâmetros aeróbio.

Para o desenvolvimento adequado da capacidade aeróbia, é necessário realizar treinamentos em intensidades próximas a da máxima fase estável de lactato (MFEL) e entre as ferramentas constantemente utilizadas para avaliação, monitoramento e prescrição das intensidades de treinamento, destaca-se a determinação da capacidade aeróbia a partir da mensuração das concentrações sanguíneas de lactato<sup>5</sup>, que apesar de apresentar significativas variações na intensidade de exercício, dependendo de sua forma de determinação<sup>6</sup>, é um parâmetro sensível aos efeitos do treinamento em natação<sup>7</sup>.

O modelo de potência crítica proposto por Monod e Scherrer<sup>8</sup> e validado por Moritani et al.<sup>9</sup>, tem sido uma ferramenta atraente de determinação da capacidade aeróbia por ser não-invasiva, apresentar custo reduzido e por fornecer, em um único teste, parâmetros aeróbio e anaeróbio<sup>10</sup>. Wakayoshi et al.<sup>11</sup> adaptaram o modelo de potência crítica para natação utilizando o swimming-flume, passando a ser chamada de velocidade crítica (Vcrit). Wakayoshi et al.<sup>12</sup>, popularizaram o teste de Vcrit para piscina convencional, sugerindo a utilização de apenas dois esforços máximos de 200m e 400m nado crawl.

Em natação, o parâmetro aeróbio desse modelo geralmente apresenta respostas semelhantes aos testes de limiar anaeróbio (Lan), utilizando a lactacidemia<sup>10,11,13</sup>. No entanto, ainda é contraditório se a Vcrit representa<sup>12</sup> ou não a MFEL<sup>14</sup>. Na situação de nado atado, foi demonstrado ser possível determinar a capacidade aeróbia de modo invasivo<sup>15,16</sup> e não invasivo<sup>17,18,19</sup>. Quando a capacidade aeróbia é obtida com a utilização do modelo de potência crítica, denomina-se força crítica (Fcrit).

Embora a Fcrit apresente significativas correlações com o limiar anaeróbio<sup>17</sup> e com a Vcrit<sup>19</sup> determinada em nado livre, seus valores parecem subestimar a MFEL em nado atado<sup>18</sup>, não sendo ainda observado, na literatura, estudos que investigaram as associações entre os valores de Fcrit com o limiar de lactato em nado atado (LL<sub>NA</sub>), bem como a capacidade da Fcrit prever performances em nado livre. Desse modo, o objetivo do presente estudo foi investigar as relações da Fcrit com o LL<sub>NA</sub> e a intensidade de exercício correspondente ao VO<sub>2</sub>max em nado atado e suas correlações com as performances de 400m e teste de 30 minutos.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### Sujeitos

Participaram do presente estudo sete nadadores (13 ± 1 ano), filiados à Federação Aquática Paulista de nível regional e estadual, com tempo mínimo de natação competitiva de 2 anos. Todos os testes foram realizados em piscina aberta de 25m, com temperatura da água de 27 ± 1°C. Os participantes somente foram confirmados após assinatura dos pais ou representantes legais de termo de consentimento livre e esclarecido, aprovado pelo comitê de ética das Faculdades Integradas de Bauru/SP (protocolo 0017).

### Desenho experimental

Uma semana anterior aos esforços preditivos utilizados para determinação da Fcrit, os nadadores realizaram um teste progressivo em nado atado até a exaustão voluntária, estando os nadadores conectados por uma corda elástica (tubo cirúrgico nº 204) a um dinamômetro contendo células de carga como elemento sensor primário. Esse procedimento foi realizado para determinação do limiar de lactato (LL<sub>NA</sub>) e da intensidade de nado correspondente ao consumo máximo de oxigênio em nado atado (iVO<sub>2</sub>max). Após uma semana, os nadadores foram submetidos a esforços máximos em nado atado para determinação da Fcrit e a esforços de 400m e de trinta minutos (T30) em nado livre. O intervalo mínimo entre os esforços foi de 24h.

Para minimizar os possíveis efeitos da aprendizagem, os nadadores realizaram 10 dias de adaptação ao sistema de nado atado, com duração de 5 min, utilizando somente o nado crawl. Todos os esforços foram precedidos de um aquecimento típico de natação, utilizando o nado crawl com intensidade moderada (determinada subjetivamente pelos nadadores).

### Determinação do limiar de lactato em ( $LL_{NA}$ ) e da intensidade de exercício correspondente ao consumo máximo de oxigênio em nado atado ( $iVO_{2max}$ )

Para determinação do limiar anaeróbio ( $LL_{NA}$ ) e da intensidade correspondente a intensidade de exercício correspondente ao consumo máximo de oxigênio nado atado ( $iVO_{2max}$ ), foi realizado um teste incremental (TI) em nado atado até a exaustão voluntária (assumida como a incapacidade do nadador manter a cabeça próxima ao cone pré-determinado por 10 segundos), estando os nadadores conectados a uma célula de carga (Lutron Electronic Enterprise, FG-5100) com capacidade de 1000N através de corda elástica comercial (Auriflex, nº 204) previamente calibrada, de modo que a cada dois metros de extensão correspondia a um incremento de 10N na força. Os estágios tiveram duração de 3 minutos, pausas de aproximadamente 40s para coleta de amostras sanguíneas para determinação da lactacidemia ( $[La]$ ) e incrementos de 10N. Para isso, cones foram dispostos na borda lateral da piscina e separados por uma distância de 2 m. Durante os esforços, foi solicitado aos nadadores manterem a cabeça próxima ao cone que estava disposto na borda lateral da piscina. O incremento da intensidade consistiu em manter a cabeça próxima ao cone subsequente (Figura 1).

Um modelo de regressão com dois componentes lineares pela bi-segmentação da relação entre  $[La]$  e intensidade de exercício, foi utilizado para determinação do  $LL_{NA}$  que foi assumido como a intensidade de nado correspondente à intersecção das inclinações das duas retas<sup>15,20,21</sup>.

A  $iVO_{2max}$  foi determinada com a adaptação da equação proposta por Kuipers et al.<sup>22</sup>. No caso do nadador ter entrado em exaustão sem terminar

o estágio, a  $iVO_{2max}$  foi determinada através da seguinte equação:

$$iVO_{2max} (N) = F_{com} + (t/180) \times 10;$$

Onde  $F_{com}$  = último estágio completo;  $t$  = tempo de permanência na última carga incompleta; 180 = tempo (s) de cada estágio e; 10 é o valor em Newton (N) de incremento de intensidade.

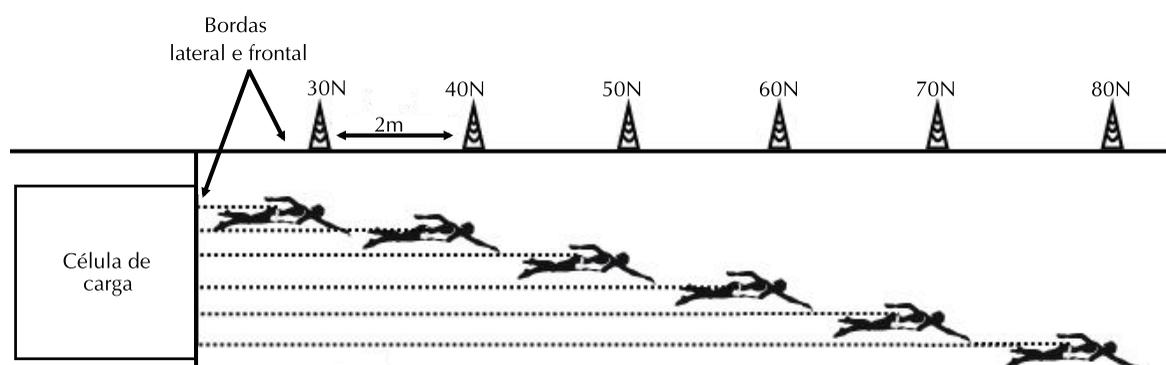
### Determinação da força crítica em nado atado ( $F_{crit}$ )

Para determinação da força crítica ( $F_{crit}$ ), os nadadores realizaram quatro esforços (distribuídos aleatoriamente) separados por intervalo de 24h, em intensidades de aproximadamente 87%, 104%, 118% e 134% da  $iVO_{2max}$ , até a exaustão, que foi assumida como a incapacidade do nadador manter a intensidade de nado previamente definida por tempo superior a dez segundos. Para garantir que os nadadores realizassem os esforços nas intensidades pré-determinadas, foi solicitado aos atletas que mantivessem a cabeça próxima as marcas dispostas na borda lateral da piscina. Quando os nadadores não mais conseguiam continuar o exercício na intensidade pré-determinada, o tempo de nado para cada esforço foi registrado ( $t_{lim}$ ).

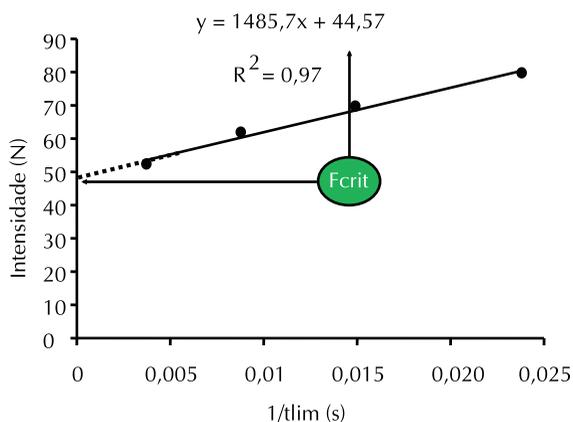
Os valores de  $F$  e  $t_{lim}$  obtidos nos esforços em nado atado foram submetidos ao procedimento de regressão linear para estimativa da  $F_{crit}$ , pelo modelo linear  $F$  vs  $1/t_{lim}$ , de modo que a  $F_{crit}$  correspondeu ao coeficiente linear dessa relação (Figura 2).

### Determinação das performances aeróbias nado livre

As performances aeróbias foram assumidas como as velocidades obtidas durante esforços máximos de 30 min (VT30) e 400m (V400) nado crawl.



**Figura 1.** Representação esquemática da disposição dos cones na borda da piscina que foram utilizados como referência no aumento das intensidades durante o teste incremental em nado atado.



**Figura 2.** Modelo representativo de determinação da força crítica em nado atado (Fcrit) de um único nadador através da relação linear entre a intensidade (N) e o inverso do tempo limite (1/tlim).

### Amostras de sangue

As amostras sanguíneas (25µl do lóbulo da orelha) foram coletadas com capilar (*Perfecta*) calibrado e heparinizado e posteriormente, foram armazenadas em tubos de 1,5 ml (Eppendorf) contendo 50 µl de fluoreto de sódio a 1 % (NaF). O homogenado foi analisado em lactímetro eletro-químico (YSI, 1500 Sport, Ohio, EUA). As concentrações de lactato foram expressas em mM.

### Tratamento estatístico

A normalidade e homogeneidade dos parâmetros mensurados foram verificados com os testes de Shapiro-Wilks e Levene test respectivamente. Os testes de análise de variância One-Way e o post hoc de Newman-Keuls foram utilizados para comparar os valores provenientes dos testes de Fcrit, LL<sub>NA</sub> e iVO<sub>2</sub>max. As possíveis associações da Fcrit com a LL<sub>NA</sub>, iVO<sub>2</sub>max, V400 e VT30 foram verificadas com o teste de correlação de Pearson. A análise gráfica de Bland & Altman<sup>23</sup> foi utilizada para determinar o erro sistemático (bias) e os limites de concordância (L) superior (Ls) e inferior (Li) entre os métodos de determinação da capacidade aeróbia em nado atado (Fcrit e LL<sub>NA</sub>). Em todos os casos o nível de significância foi pré-fixado para P<0,05.

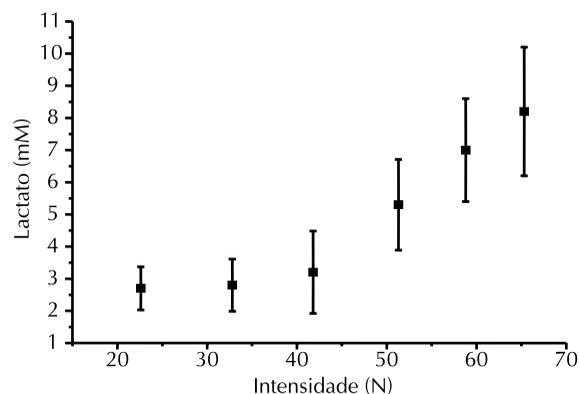
## RESULTADOS

O comportamento médio ± desvio padrão da lactacidemia em função do aumento da intensidade de exercício está apresentado na figura 3.

Foi possível determinar o LL<sub>NA</sub> pelo método de “reta bi-segmentada” de todos os participantes.

Foram verificados elevados coeficientes de determinação da relação entre F versus 1/tlim ( $R^2 = 0,94 \pm 0,06$ ). Os valores de Fcrit foram signifi-

cativamente diferentes da iVO<sub>2</sub>max, mas não do LL<sub>NA</sub> ( $p = 0,06$ ) (Tabela 1).



**Figura 3.** Valores médios ± desvio padrão das concentrações sanguíneas de lactato (mM) em função do aumento da intensidade de exercício (N) durante teste incremental em nado atado.

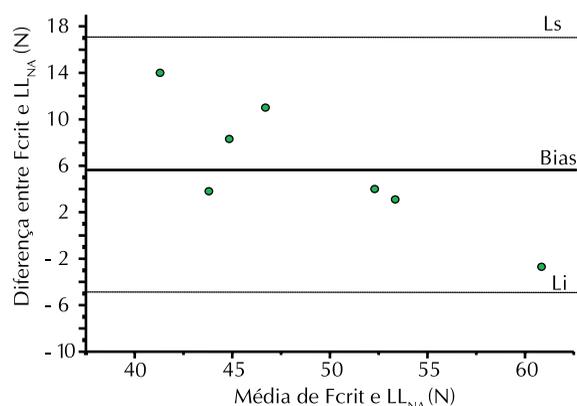
**Tabela 1.** Valores médios ± desvio padrão da força crítica (Fcrit), limiar de lactato (LL<sub>NA</sub>) e intensidade de exercício correspondente ao consumo máximo de oxigênio (iVO<sub>2</sub>max).

Fcrit (N)	LL <sub>NA</sub> (N)	iVO <sub>2</sub> max (N)
51,9 ± 4,1	45,9 ± 9,3	60,2 ± 0,84*

\* Diferença significativa com relação à Fcrit e LL<sub>NA</sub> ( $P < 0,05$ ).

Foram verificados valores de  $1,21 \pm 0,11 \text{ m.s}^{-1}$  e de  $1,10 \pm 0,12 \text{ m.s}^{-1}$  para as velocidades obtidas durante esforços máximos de 400m (V400) e teste de 30 minutos (T30) respectivamente.

Apesar de um erro sistemático (bias) de aproximadamente 6N, verificou-se, a partir da análise gráfica de Bland & Altman<sup>23</sup>, que os pontos obtidos da diferença entre os valores de Fcrit e LL<sub>NA</sub>, em função da média dos valores desses dois métodos, apresentaram-se distribuídos aleatoriamente e todos os pontos estiveram entre os limites de concordância superiores e inferiores ( $\pm 1,96 \text{ dp}$ ). (Figura 4).



**Figura 4.** Valores da diferença da média (bias) dos valores de limiar de lactato (LL<sub>NA</sub>) e força crítica em nado atado (Fcrit), limites superior (Ls) e inferior (Li) de concordância (bias ± 1,96 dp) de LL<sub>NA</sub> com Fcrit.

## DISCUSSÃO

Os principais achados do presente estudo foram a possibilidade de utilizar a Fcrit na determinação do limiar de lactato em nado atado ( $LL_{NA}$ ) e na predição de performances aeróbia em nado livre.

Diversos autores têm demonstrado que os valores de Vcrit não diferem significativamente do limiar anaeróbio (Lan), determinado diretamente a partir de concentração fixa de  $4\text{mM}^{10,11,24}$ ;  $3,5\text{mM}^{13}$  de lactato ou indiretamente através do teste de 30 min<sup>25</sup>, podendo<sup>12</sup> ou não<sup>14</sup> representar a MFEL. Além disso, os valores de Vcrit geralmente apresentam elevadas correlações e concordância<sup>21</sup> com a capacidade e “performance aeróbia”<sup>10,11,13,25</sup>.

Embora os esforços em nado atado sejam constantemente utilizados para determinação do  $VO_{2\text{max}}^{26-28}$ , avaliação da força dos nadadores durante esforços de curta duração<sup>29,30</sup> e como métodos alternativos de treinamento<sup>2</sup>, poucos estudos determinaram a capacidade aeróbia em nado atado<sup>15</sup> bem como suas correlações com a performance aeróbia em nado livre e somente foram encontrados três estudos que objetivaram desenvolver métodos não invasivos de avaliação da capacidade aeróbia em nado atado<sup>17-19</sup>.

A principal vantagem dos testes em nado atado é o fácil controle da intensidade e o custo reduzido com relação ao swimming flume<sup>26</sup>. Bonen et al.<sup>26</sup> constataram que os valores de  $VO_{2\text{max}}$  determinados em nado atado não foram diferentes significativamente dos obtidos em swimming flume e em nado livre. No entanto, a mecânica da braçada parece sofrer alterações na situação de nado atado, especialmente, com relação ao comprimento de braçada<sup>4</sup>, evidenciando uma possível limitação na utilização desses esforços para avaliação e prescrição do treinamento. Apesar disso, ainda não foi verificado na literatura estudos demonstrando se as alterações na mecânica da braçada, após o treinamento em nado atado, são transferidas para o nado livre.

Ikuta et al.<sup>17</sup>, determinaram a Fcrit em nado atado, utilizando um sistema de polias e em nado livre, obtiveram o Lan, que foi assumido como a velocidade de nado correspondente a concentração fixa de  $4\text{mM}$  de lactato e a Vcrit a partir de esforços máximos de 200m e 400m. Esses autores encontraram significativas correlações entre Fcrit e Lan ( $r = 0,68$ ) e entre Fcrit e Vcrit ( $r = 0,69$ ). Perandini et al.<sup>19</sup>, utilizando ergômetro semelhante, também constataram significativas correlações entre os valores de Fcrit determinado a partir de

diferentes modelos matemáticos e a Vcrit ( $r = 0,89$  a  $0,91$ ) e concluíram que a Fcrit pode ser utilizada como indicador da capacidade aeróbia.

Em contrapartida, Almeida et al.<sup>18</sup>, ao submeterem um grupo de nadadores a exercitarem-se, durante 30 min, em intensidades de 90%, 100% e 110% da Fcrit, verificaram que a 110% os valores de  $VO_{2\text{max}}$  e de lactacidemia foram próximos aos observados a 100% e concluíram que a Fcrit subestima os valores de MFEL. A explicação para esses resultados foi que os nadadores teriam “ajustados” a mecânica de nado de modo a tornarem-se mais econômicos. No entanto, não foi relatado nesse estudo, se os nadadores estavam adaptados aos esforços em nado atado.

No presente estudo, para minimizar as possíveis influências da aprendizagem e de ajustes na mecânica de nado, os nadadores foram adaptados ao sistema de nado atado durante duas semanas. Mas infelizmente não foi possível afirmar se a Fcrit corresponde a MFEL. Entretanto, a análise gráfica de Bland e Altman<sup>23</sup> revelou um erro sistemático de 6N, desse modo, se um nadador obtivesse um valor de Fcrit de 50N, por exemplo, o  $LL_{NA}$  desse mesmo atleta poderia ser 44N ou 56N, mas a ausência de diferença significativa juntamente com o elevado coeficiente de correlação ( $r = 0,97$ ) observados entre os valores de Fcrit e  $LL_{NA}$ , e ainda, as elevadas correlações com as performances de 400m e de 30 min em nado livre, evidenciam a utilização em potencial da Fcrit na avaliação aeróbia de nadadores.

O teste de Fcrit apresenta as mesmas vantagens do teste de Vcrit (não-invasivo, baixo custo e fácil aplicação). Além disso, pelo fato da Fcrit ter sido determinada com a utilização de uma corda elástica comercial, é teoricamente possível incorporar os valores de Fcrit na rotina de treinamento dos nadadores apenas utilizando um cronômetro, piscina demarcada e uma corda elástica.

Durante os esforços em nado atado, os “impulsos” na borda da piscina após as viradas são eliminados, permitindo a realização de treinamentos mais contínuos que os convencionais. Essa característica, teoricamente, possibilita o desenvolvimento da capacidade aeróbia dos nadadores em piscinas com dimensões inferiores as utilizadas em competições oficiais (25m e 50m) e pelo mesmo motivo, ainda pode potencializar os efeitos do treinamento de nadadores especialistas em águas abertas e de triatletas.

A Fcrit do grupo investigado foi de aproximadamente  $51,9 \pm 4,1\text{N}$ , valor esse que, teoricamente, é obtido com a extensão do elástico até a marca de aproximadamente 14m. Para utilização prático-

ca desses resultados durante o treinamento em intensidades próximas a  $F_{crit}$ , basta os nadadores realizarem esforços em nado atado a uma distância de 14m da borda frontal da piscina. Apesar disso, três limitações devem ser destacadas. A primeira refere-se ao reduzido número de participantes que não se pode fazer inferência para toda a população de nadadores. A segunda está relacionada à necessidade de comparar os valores de  $F_{crit}$  com os de MFEL, que é atualmente considerado o “padrão ouro” na determinação da capacidade aeróbia. A terceira está envolvida com a aplicação prática dos valores de  $F_{crit}$  nas sessões de treinamento, pelo fato de ser necessário que os nadadores utilizem durante os treinamentos elásticos com as mesmas especificações dos utilizados durante o teste de  $F_{crit}$ .

## CONCLUSÃO

Embora a validade da  $F_{crit}$  como intensidade de MFEL bem como sua sensibilidade aos efeitos do treinamento deva ser investigada, pode-se concluir que a  $F_{crit}$  é um método de avaliação não invasivo, de baixo custo que pode ser utilizado na determinação da capacidade aeróbia, prescrição do treinamento em nado atado e na predição de performance aeróbia em nado livre.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Girolid S, Calmels P, Maurin D, Milhau N, Chatard JC. Assisted and resisted sprint training in swimming. *J Strength Cond Res* 2006;20(3):547-54.
2. Maglischo EW. Nadando ainda mais rápido. Manole 1ª. ed 1999.
3. Toussaint HM, Vervoorn K. Effects of specific high resistance training in the water on competitive swimmers. *Int J Sports Med* 1990;11(3):228-33.
4. Maglischo CW, Maglischo EW, Sharp RL, Zier DJ, Katz A. Tethered and nontethered crawl swimming. In: Terauds J, Barthels K, Kreighbaum E, Mann JR, Crakes, CA. Del Mar, editors. *Proceedings of ISBS: Sports Biomechanics*; 1988. p.163-176.
5. Olbrecht J, Madsen O, Mader A, Liesen H, Hollmann W. Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises. *Int J Sports Med* 1985;6(2):74-77.
6. Tokmakidis PS, Léger AL, Piliandis CT. Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. *Eur J Appl Physiol* 1998;77(4):333-342.
7. Pyne BD, Lee HE, Swanwick KM. Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Med Sci Sports Exer* 2001;33(2):291-297.
8. Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 1965;8(3):329-337.
9. Moritani T, Nagata A, DeVries HA, Muro M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomic* 1981;24(5):339-50.
10. Kokubun E. Velocidade crítica como estimador do limiar anaeróbio em natação. *Rev Pau Educ Fisc* 1996;10(1):5-20.
11. Wakayoshi K, Ikuta K, Yoshida T, Udo M, Moritani T, Mutoh Y, Miyashita M. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur J Appl Physiol* 1992;64(2):153-157.
12. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Harada T, Moritani T, Mutoh Y, Miyashita M. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1993;66(1):90-95.
13. Papoti M, Zagatto AM, Mendes OC, Gobatto CA. Use of invasive and non-invasive protocol tests on aerobic and anaerobic performances prediction in Brazilian swimmers. *Port J Sport Sci* 2005;5(1):7-14.
14. Mello FC, Franchini E. Velocidade crítica, concentração de lactato sanguíneo e desempenho no remo. *Rev Bras de Cineantropom Desempenho Hum* 2005;7(2):14-19.
15. Matsumoto I, Araki H, Tsuda K, Odajima H, Nishima S, Higaki Y, et al. Effects of swimming training on aerobic capacity and exercise induced bronchoconstriction in children with bronchial asthma. *Thorax* 1999;54(3):196-201.
16. Papoti M, Vitorio R, Cunha AS, Araújo GG, Silva ASR, Santhiago V, Martins LEB, Gobatto CA. Determination of Force Corresponding to Maximal Lactate Steady State in Tethered Swimming. *Int J Exercise Sci* 2009;2(4):269-279.17.
17. Ikuta Y, Wakayoshi K, Nomura T. Determination and validity of critical swimming force as performance index in tethered swimming. *Biomech Med Swimming* 1996;7:146-151.
18. Almeida AG, Cunha FAP, Rosa MRR, Kokubun E. Força crítica em nado atado: relações com o lactato sanguíneo e o consumo de oxigênio. *Rev Bras Ciên Esporte* 2002;24(1):47-59.
19. Perandini LAB, Okuno NM, Kokubun E, Nakamura FY. Correlação entre a força crítica e a velocidade crítica e suas respectivas frequências de braçada na natação. *Rev Bras de Cineantropom Desempenho Hum* 2006;8(4):59-65.
20. Nagle EF, Zoeller RL, Robertson RJ, Chiapetta LB, Goss FL, Moyna NM. Prediction of Performance Using Physiological and Stroke Variables in a Sample of Adult Competitive Swimmers. *J Swimming Res* 2004;16:31-37.
21. Toubekis AG, Tsami AP, Tokmakidis SP. Critical Velocity and Lactate Threshold in Young Swimmers. *Int J Sports Med* 2006;27(2):117-123.
22. Kuipers H, Verstappen FTJ, Keizer HA, Guerten P, Van Kranenburg P. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med* 1985;6(4):197-201.

23. Bland JM, Altman DG. Statistical Methods for Assessing Agreement Between two Methods of Clinical Measurement. *Lancet* 1986;8(1):307-310.
24. Denadai BS, Greco CC, Teixeira M. Blood lactate response and critica speed in swimmers aged 10-12 years of different standards. *J Sports Sci* 2000;18(10):779-784.
25. Greco CC, Denadai BS, Pellegrinotti IL, Freitas AB, Gomide E. Limiar anaeróbio e velocidade crítica determinada com diferentes distâncias em nadadores de 10 a 15 anos:relações com a performance e a resposta do lactato sanguíneo em testes de endurance. *Rev Bras Med Esporte* 2003;9(1):2-8.
26. Bonen A, Wilson BA, Yarkony M, Belcastro AN. Maximal oxygen uptake during free, tethered and flume swimming. *J Appl Physiol* 1980;48(2):232-235.
27. Costill DL, Kovaleski J, Portes D, Kirwan J, Fieling R, King D. Energy Expenditure During Front Crawl Swimming: Predicting Succes in Midle-Distance Events. *Int J Sports med* 1985;6(5):266-270.
28. Plyley MJ, Wells GD, Schneiderman-Walker J. Normal Physiological Characteristics of Elite Swimmers. *Pediatr Exerc Sci* 2006;18(1):30-52.
29. Papoti M, Martins LEB, Cunha SA, Zagatto AM, Gobatto CA. Padronização de um protocolo específico para determinação da aptidão anaeróbia de nadadores utilizando células de carga. *Rev Port Ciênc Desp* 2003;3(3):36-42.
30. Papoti M, Zagatto AM, Cunha SA, Martins LEB, Freitas PB, Gobatto. Effects of taper on swimming force and swimmers performance after an experimental 10 week training program. *J Strength Cond Res* 2007;21(2):538-42.

### Agradecimentos

Os autores agradecem aos técnicos Julita Siqueira e André Barbosa Velosa da Associação Luso Brasileira de Bauru pela importante ajuda na realização desse estudo e aos órgãos CAPES e FAPESP pelo suporte financeiro.

---

### Endereço para correspondência

Marcelo Papoti  
Rua Aviador Gomes Ribeiro, 21-55. Altinópolis  
17012155 - Bauru, SP. Brasil  
E-mail: mpapoti@yahoo.com.br