

Bioenergetica do nado-atado em domnio severo do exercicio

Siqueira, L.O.C., Oliveira, J.G.S.V., Simionato, A.R., dos Santos, L.G.A., Carneiro, D.S., Pessôa Filho D.M.

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências (FC), Bauru, São Paulo, Brasil

Resumo

O presente estudo abordou a aplicaçao de modelos bioenergéticos, com a intençao de obter uma referéncia metabólica representativa do perfil fisiológico de nado-atado em domnio severo do exercicio. Dezesesse nadadores de 17,6 anos ($\pm 3,8$), 175,7 cm ($\pm 9,2$) e 68,4 kg ($\pm 10,6$) executaram um teste incremental máxmo (ITT) até a exaustao voluntária, atrelados à um sistema de polias com pesos livres. A carga (WL) progrediu a partir de 30%Fmax, com incrementos de 5% a cada minuto. Fmax (força máxma da braçada) foi avaliada por meio de uma célula de carga atrelada aos nadador por uma corda inelástica, durante um esforço máxmo de 30s. A permuta gasosa pulmonar foi analisada respiraçao-a-respiraçao por uma unidade metabólica (CPET K4b2) acoplada à um snorkel específico. A descriçao matemática da cinética do $\dot{V}O_2$ foi baseada na funçao exponencial de primeira ordem sem tempo de resposta (TD) para as transiçoes à 100% $i\dot{V}O_{2max}$. O valor do $\dot{V}O_{2max}$ atingiu 3418,5 $ml \times min^{-1}$ ($\pm 585,1$) e a $i\dot{V}O_{2max}$ correspondeu à 88,2 N ($\pm 13,7$). As respostas fisiológicas e os valores da contribuicao energética na transiçao à 100% $i\dot{V}O_{2max}$ foram: $p\dot{V}O_{2max}$ de 1,19 kW (0,20), sugerindo que a participaçao anaeróbica atingiu 20,3%. O domnio severo foi contextualizado no nado-atado, o que contribui com sua validade enquanto contexto metabólico para o planejamento do treinamento do atleta, bem como para avaliaçao da aptidao aeróbica.

Palavras-chaves: dispêndio energético, metabolismo aeróbico, metabolismo anaeróbico, nataçao

Abstract

This study aimed to approach bioenergetic modelling as metabolic reference to characterize physiological profile during severe domain in tethered-swimming. Sixteen swimmers with 17.6 years (± 3.8), 175.7 cm (± 9.2) and 68.4 kg (± 10.6) performed an incremental tether-test (ITT) until volitional exhaustion attached to a weight-baring pulley-rope system to the assessment of GET, RCP and maximal aerobic power ($\dot{V}O_{2max}$). WL was incremented from 30 to 70% of Fmax, with step rate of 5% every minute. Fmax (maximal stroke force) was measured with a load cell attached to the swimmers by an inelastic rope, during full-crawl all-out bout lasting 30-s. Pulmonary gas exchange was sampled breath-by-breath (CPET K4b2) connected to a specific snorkel (new AquaTrainer). Mathematical description of $\dot{V}O_2$ kinetics was based on first order exponential function without time delay (TD), based on the transition at 100% $i\dot{V}O_{2max}$. The value of $\dot{V}O_{2max}$ attained 3418.5 $ml \times min^{-1}$ (± 585.1) and $i\dot{V}O_{2max}$ reached 88.2 N (± 13.7). The physiological responses and the values of the energy contribution in the transition to 100% $i\dot{V}O_{2max}$ were: $p\dot{V}O_{2max}$ of 1.19 kW (± 0.20) suggesting that the anaerobic contribution approached 20.3%. The severe domain was contextualized in the tethered-swimming-tied, which contributed to its validity as a metabolic context for the planning of the athlete's training, as well as for the evaluation of aerobic fitness.

Key words: energetic expenditure, aerobic pathway, anaerobic pathway, swimming.

Introduçao

O contexto do exercicio de fase-constante sustenta o pressuposto que a transiçao repouso-exercicio é um modelo de análise dos determinantes fisiológicos da tolerância (tempo-limite, t_{Lim}), principalmente no domnio severo do

exercicio (Jones et al., 2010). Os fatores limitantes do exercicio, nestas circunstâncias de esforço, podem ser descritos pela cinética do $\dot{V}O_2$ e pelo perfil lactacidêmico (Murgatroyd et al., 2011). Ao adotar o modelo da cinética do $\dot{V}O_2$, presume-se que o ajuste metabólico para suprir a demanda energética muscular apresenta uma velocidade de resposta associada à capacidade de perfusao sanguínea, difusao gasosa e à inércia oxidativa na mitocôndria e, assim, à ativaçao tardia, ou prematura, de fontes anaeróbicas de energia (Wagner, 2000; DiMenna; Jones, 2009). Assim, a modelagem do custo energético durante esforços exaustivos no nado-atado poderia auxiliar na determinaçao de zonas de treinamento e testes alternativos de avaliaçao da aptidao aeróbica. No presente estudo, a modelagem bioenergética, em intensidade máxma, foi reproduzida no nado-atado para a validaçao ecológica deste contexto de nado como domnio severo do exercicio.

Método

Sujeitos

Dezesesse sujeitos com 17,6 anos ($\pm 3,8$), 175,7 cm ($\pm 9,2$) e 68,4 kg ($\pm 10,6$) foram submetidos a avaliaçao da potência aeróbica máxma. Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética local (CAEE: 02402512.7.0000.5398).

Delineamento experimental

Os nadadores visitaram o laboratório para realizar o teste de força-atada máxma e teste incremental (TIE). Com intervalos de 24 horas, os nadadores realizaram testes em carga constante à 100% da menor intensidade que atingiu o $\dot{V}O_{2max}$ ($i\dot{V}O_{2max}$).

Teste de força máxma atada

A força máxma média (Fmed) foi medida com célula de carga de 500 kgf (N2000PRO, Cefise) anexada aos nadadores por uma corda inelástica. Os nadadores nadaram no estilo crawl, em intensidade máxma por 30s. A Fmed (média dos picos do sinal força-tempo em 30s) foi calculada conforme sugestao de Morouço *et al.* (2011).

Teste atado incremental máxmo (ITT)

Os nadadores realizaram o ITT até a exaustao voluntária atrelados à um sistema de polias e pesos livres. Todos eles foram instruídos a administrar a força de braçada em nado-crawl, à medida que a carga foi aplicada a partir de 30%Fmed, com incrementos de 5% por minuto. A permuta gasosa pulmonar foi analisada respiraçao-a-respiraçao por uma unidade metabólica portátil (CPET K4b², Cosmed), acoplada à um snorkel validado na nataçao (new-AquaTrainer®). Os dados foram suavizados (filtro de 3s) e obtido a média a cada 9s. O $\dot{V}O_{2max}$ foi considerado aquele atingido por um nadador em seu limite da tolerância.

Modelagem energética

Foram executadas duas (2) transiçoes repouso-exercicio até a exaustao voluntária, em intensidade 100% $i\dot{V}O_{2max}$.

Posteriormente, as amostragens respiraçao-a-respiraçao do $\dot{V}O_2$ nas transiçoes foram alinhadas ao tempo, excluiu-se os ruídos de cada conjunto de dados e interpolou-se segundo-a-segundo (DiMenna & Jones, 2009) para a descriçao matemática da cinética do $\dot{V}O_2$ pelo modelo de ajuste mono-exponencial, sem tempo de início da resposta (TD) (Eq. 1). A partir deste ajuste obteve-se os parâmetros para compor o modelo bioenergético de determinaçao de E_{Total} (Eq. 2), conforme sugerido por Capelli *et al.* (1998) e DiPrampo *et al.* (2009).

$$\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_{2b} + A_1 [1 - e^{-t/\tau}] \quad [1]$$

$$E_{Total} = E_{anaer} + \left([\alpha \cdot (\dot{V}O_{2max} - \dot{V}O_{2b}) \cdot t] - \left[(\alpha \cdot A_1 \cdot \tau) \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \right] \right) \quad [2]$$

onde “Eanaer” (kJ) representou a participaçao anaeróbia ao início e durante o exercicio (Eq. 3); “ α ” é a constante universal de conversao energética (20,9 kJ \times LO₂⁻¹) e o equivalente energético (β) foi 0,0689 kJ \times mmol⁻¹ \times kg⁻¹. A análise do lactato sanguíneo (YST, 2300) foi realizada por amostras de sangue coletadas em 1, 3, 5 e 7 minutos após termino de cada transiçao.

$$W' = E_{anaer} = [(\alpha A_1 \tau) + (\beta \cdot [la] \cdot mc)] \quad [3]$$

Análise estatística

Os valores obtidos foram apresentados em torno da média e desvio-padrão e os ajustes de $\dot{V}O_2(t)$ e $E_{Total-t_{Lim}}$ foram realizados com base no método dos quadrados mínimos para a análise da cinética do $\dot{V}O_2$. As análises estatísticas e matemáticas foram realizadas nos softwares SPSS 18.0® e OriginPro 8®, respectivamente.

Resultados e Discussão

O valor do $\dot{V}O_{2max}$ atingiu 3418,5 ml \times min⁻¹ (\pm 585,1) e a $i\dot{V}O_{2max}$ correspondeu à 88,2 N (\pm 13,7). As respostas fisiológicas e os valores da contribuico energética na transiçao à 100% $i\dot{V}O_{2max}$ são apresentadas na Tabela 1. O valor de $p\dot{V}O_{2max}$ foi 1,19 kW (\pm 0,20), sugerindo que a participaçao anaeróbia atingiu 20,3%.

Tabela 1: Respostas metabólicas obtidas à 100% $i\dot{V}O_{2max}$.

	100% $i\dot{V}O_{2max}$
t_{Lim} (s)*	356,4 \pm 91,3
EE $\dot{V}O_2$ (ml \times min ⁻¹)	3427,6 \pm 565,4
% $\dot{V}O_{2max}$	100,4 \pm 3,8
Lactato (mmol \times L ⁻¹)	7,4 \pm 1,9
DefO ₂ (l \times min ⁻¹)	2,1 \pm 0,7
τ (s)**	39,2 \pm 10,4
Etotal (kJ)	362,6 \pm 89,2
Eanae (kJ)	73,8 \pm 20,3

Ogita *et al.* (2003) sugeriram que o desempenhos em distâncias de 50, 100 e 200 metros seriam realizados com demanda supra-máxima sobre o metabolismo oxidativo, uma vez que a máxima (100% $\dot{V}O_{2max}$) seria alcançado durante os 400 metros. Entretanto, esses mesmos autores salientam que a capacidade anaeróbia (calculada pelo déficit de O₂) é máxima nos desempenhos entre 15 e 60

segundos; e que, portanto, ambos processos metabólicos (anaeróbios e aeróbio) deveriam ser aprimorados para desempenhos entre 2 a 3 minutos. Nossos resultados confirmam esse perfil fisiológico para a noda-atado e, ainda, ressaltam que os ajustes fisiológicos são similares aqueles apresentados por Toussaint & Hollander (1994): potência aeróbia máxima = 18,8 W \times kg⁻¹ (~58,3 mlO₂ \times kg⁻¹ \times min⁻¹), com constante de ajuste (τ) em ~ 32,3s.

Conclusões

O domínio severo foi contextualizado no nado-atado, o que contribuí com sua validade, enquanto contexto metabólico para o planejamento do treinamento do atleta, bem como para avaliação da aptidão aeróbia por um protocolo prático, ou ainda enquanto instrumento de confirmação dos resultados obtidos por testes cardiorrespiratórios padronizados.

Referências

- Capelli, C., Pendergast, D.R., & Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 78, 385-393.
- Dimenna, F.J. & Jones A.M. (2009). Linear versus nonlinear $\dot{V}O_2$ responses to exercise: reshaping traditional beliefs. *Exercise and Science Fitness*, 7, 67-84.
- DiPrampo, P.E., Dekerle, J., Capelli, C. & Zamparo P. (2008). The critical velocity in swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 102, 165-71.
- Jones, A.M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R.H. & Poole, D.C. (2010). Critical power: implications for determination of $\dot{V}O_{2max}$ and exercise tolerance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 1876-1890.
- Morton, R.H. (2006). The critical power and related whole-body bioenergetic models. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 339-354.
- Murgatroyd, S.R., Ferguson, C., Ward, S.A., Whipp, B.J. & Rossiter, H.B. (2011). Pulmonary O₂ uptake kinetics as a determinant of high-intensity exercise tolerance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 110, 1598-1606.
- Morouço, P., Keskinen, K.L., Vilas-Boas, J.P. & Fernandes, R.J.. (2011). Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27, 161-169.
- Toussaint, H.M. & Hollander, A.P. (1994). Energetics of competitive swimming. *Sports Medicine*, 18, 384-405.
- Wagner, P.D. (2000). New ideas on limitations to $\dot{V}O_{2max}$. *Exercise and Sport Science Review*, 28, 10-14.

Nota dos autores

Leandro O.C. Siqueira e Astor R. Simionato são discentes do do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Humano e Tecnologias do IB – UNESP, Rio Claro, São Paulo, Brasil.
João G.S.V. Oliveira, Luis Gustavo A. dos Santos e Daniel S. Carneiro são bolsistas de IC, discentes do curso de Educaçao Fisica, FC – UNESP, Bauru, São Paulo, Brasil.
Dalton M. Pessoa Filho é docente na Faculdade de Ciências, UNESP, Departamento de Educaçao Fisica, Bauru, São Paulo, Brasil.

Contato
Leandro O. C. Siqueira
E-mail: le_siqueiraedf@hotmail.com

Agradecimentos
FAPESP (2016/17735-1); CNPq/PIBIC (16/17: 39249 e 37964).