

CONSTRANGIMENTO MECÂNICO PROVOCADO PELA VÁLVULA AQUATRAINER® ASSOCIADA AO SISTEMA DE OXIMETRIA DIRECTA (K4 b²) NA CINEMÁTICA DE BRUÇOS

Costa M¹, Reis A^{1,2}, Reis VM^{1,2}, Silva AJ^{1,2}, Garrido N^{1,2}, Louro H^{2,3}, Marinho DA^{2,4}, Baldari C⁵ e Barbosa TM^{2,6}

¹ Departamento de Ciências do Desporto, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

² Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal

³ Escola Superior de Desporto de Rio Maior, Instituto Politécnico de Santarém, Santarém, Portugal

⁴ Departamento de Desporto, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal

⁵ Departamento de Ciências da Saúde, Universidade de Roma, Roma, Itália

⁶ Departamento de Desporto, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal; barbosa@ipb.pt

PALAVRAS CHAVE: Natação pura, Bruços, nado constrangido, nado livre, cinemática

RESUMO: O estudo teve como objectivo determinar o constrangimento cinemático provocado pela válvula de treino Aquatrainer® (Cosmed, Roma, Itália), integrada com o sistema portátil analisador de gases K4 b² (Cosmed, Roma, Itália), durante um esforço máximo na técnica de Bruços. O protocolo consistiu na realização de dois percursos à intensidade máxima de 100 m bruços, em piscina de 50 metros: um percurso com o sistema de oximetria acoplado e outro em nado livre (sem o sistema) e um intervalo mínimo de 48 horas por sete bruçistas. Duas câmaras registaram respectivamente imagens aéreas e subaquáticas no plano sagital. Foi efectuada a análise cinemática (Ariel Performance Analysis System, Ariel Dynamics Inc., Califórnia, EUA) de um ciclo gestual completo, através de um leitor de vídeo a 50 Hz (Panasonic, AG 7355, Japão). A duração do teste foi significativamente superior quando acoplados à válvula do que em nado livre ($P = 0,02$). Sem a válvula os bruçistas cumpriram os 100 metros em 109.09 ± 2.23 % do seu recorde pessoal e com a válvula a 115.94 ± 3.31 %. As restantes variáveis não apresentaram diferenças significativas entre as duas condições de exercício. Contudo, verifica-se uma tendência para a frequência gestual (3.56 %) ser superior com a utilização da válvula; a distância de ciclo (-8.47 %), a velocidade de nado (-5.98 %), o índice de nado (-13.94 %), a flutuação da velocidade do centro de massa (-0.16 %) e período do ciclo (-3.24 %) serem inferiores com a utilização da válvula. Em síntese, a válvula Aquatrainer® induz constrangimentos significativos na performance durante uma prova máxima em Bruços

1 INTRODUÇÃO

No domínio do desporto, presentemente, o analisador de gases portáteis K4 b² (Cosmed, Roma, Itália) é um dos mais usados em investigação, assim como, no controlo e avaliação do treino.

Com efeito, a sua utilização em Natação Pura Desportiva é descrita em diversos artigos publicados nos últimos anos [p.e., 2-4, 14]. Nesses trabalhos o K4 b² foi acoplado a uma “válvula de Toussaint” [17]. Entretanto a utilização da válvula com o dito analisador foi descrita como tendo uma boa validade e fiabilidade em diversos parâmetros fisiológicos [e.g., 12, 16].

No mercado também está disponível uma válvula respiratória para o meio aquático que é comercializada enquanto equipamento opcional do K4 b² e que se intitula de AquaTrainer® (Cosmed, Roma, Itália).

Contudo, na literatura não existe nenhum estudo analisando os efeitos desta válvula respiratória sobre a cinemática em qualquer uma das técnicas de nado. Sendo a técnica de Bruços uma das mais estudadas pela comunidade científica na área da Natação Pura Desportiva, emerge a pertinência de averiguar as hipotéticas modificações cinemáticas

decorrentes da sua utilização e clarificar qual a validade ecológica dos dados recolhidos.

Assim sendo, o estudo teve como objectivo determinar o constrangimento cinemático provocado pela válvula de treino Aquatrainer® (Cosmed, Roma, Itália), integrada com o sistema portátil analisador de gases K4 b² (Cosmed, Roma, Itália), durante um esforço máximo na técnica de Bruços.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 AMOSTRA

Foram estudados sete bruçistas do sexo masculino (19.1 ± 4.3 anos de idade; 1.78 ± 0.62 m de estatura; 70.4 ± 8.0 kg de massa corporal; 69.10 ± 4.16 s de recorde pessoal aos 100 m Bruços em piscina longa; 672.0 ± 115.04 pontos do ranking da FINA).

2.2 PROTOCOLO

O protocolo consistiu na realização de dois percursos à intensidade máxima de 100 m bruços, em piscina de 50 metros: (i) um percurso em nado constrangido (i.e., com o sistema AquaTrainer® acoplado ao bruçistas); (ii) outro em nado livre (i.e., sem o sistema acoplado). Foi tido um intervalo mínimo de 48 horas entre os dois testes. Em ambos os casos, a partida foi efectuada dentro de água, com um único bruçistas a ser avaliado de cada vez e a realizar sempre a viragem aberta para o lado da parede lateral. A ordem de realização dos percursos foi determinada de forma aleatória entre os diversos bruçista. Antes dos testes, cada bruçista realizou um aquecimento individual e estandardizado.

2.3 RECOLHA DOS DADOS

Duas câmaras registaram respectivamente imagens aéreas (GR-SX1 SVHS, JVC, Yokoama, Japão) e subaquáticas (GR-SXM25 SVHS, JVC, Yokoama, Japão) no plano sagital, a 25 metros da parede testa de partida e a 10 metros da trajectória de deslocamento do bruçista. Foi efectuada a análise cinemática

(Ariel Performance Analysis System, Ariel Dynamics Inc., Califórnia, EUA) de um ciclo gestual completo, através de um leitor de vídeo (Panasonic, AG 7355, Japão) com uma frequência de 50 Hz. Para ser possível a reconstrução das imagens utilizou-se um objecto de calibração com uma volumetria de 12 m^3 e 20 pontos. Recorreu-se ao método de digitalização em planos separados (aéreo e subaquático) e subsequente reconstrução pela aplicação do algoritmo 2D-DLT [1] de acordo com o procedimento descrito por Figueira et al. [11]. Foi adoptado o modelo antropométrico de Zatsiorsky, adaptado por de Leva [10], incluindo a divisão do tronco em 2 partes articuladas [7]. Os sinais foram filtrados com uma frequência de corte de 5 Hz, como sugerido por Winter [18] com recurso a dupla-passagem. A fiabilidade do processo de digitalização-redigitalização foi muito elevada ($\text{ICC} = 0.98 \pm 0.01$). Determinou-se: (i) a performance desportiva a partir da duração absoluta do teste (T100, s); (ii) a mecânica da braçada com base no período do ciclo (P, s), a frequência gestual (FG, Hz), a distância de ciclo (DC, m), a velocidade de nado (v , $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); (iii) a eficiência de nado estimando o índice de nado (IN, $\text{m}^2\cdot\text{c}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) como descrito por Costill et al. [8] e a flutuação intra-cíclica da velocidade horizontal do centro de massa (dv , %) como descrito por Barbosa et al. [2, 3].

2.4 PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS

Para determinação da dv foram calculados os coeficientes de variação da velocidade horizontal do centro de massa em cada ciclo gestual completo.

Todas as variáveis dependentes são apresentadas como média ± 1 DP. A diferença percentual (Δ) de acordo com a condição de exercitação também foi tomada em conta para comparação de cada uma das variáveis dependentes.

As normalizações das curvas de dv em função do tempo foram efectuada com recurso a MATLAB (v.6 R12, MathWorks

Inc., Massachusetts, EUA). Também foi calculada a regressão polinomial de grau 7 entre a velocidade horizontal do centro de massa e a duração normalizada ($P \leq 0.05$). Os modelos polinomiais descritos baseiam-se em critérios standardizados (p.e., *Akaike information*, *Amemiya's prediction* e *Schwartz Bayesian*).

A normalidade (definida como $Y \cap N(\mu_{Y|X_1, X_2, \dots, X_K}, \sigma^2)$) foi determinada pelo teste de Shapiro-Wilk. Dado o N reduzido ($N < 30$) e a rejeição da hipótese nula (H_0), optou-se pela aplicação de procedimentos não paramétricos. Foi efectuada a comparação de todas as variáveis dependentes entre as duas condições de exercitação com recurso a estatística não paramétrica (Teste de Wilcoxon) para $P \leq 0.05$. Os valores de Z apresentados baseiam-se em rankings positivos dos dados em bruto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PERFORMANCE

A Fig. 1 apresenta a comparação do $T100$ entre as duas condições de exercitação. O $T100$ foi significativamente superior durante o nado constrangido do que em nado livre ($\Delta = 6.26\%$; $Z = -2.366$; $P = 0.02$). Sem a válvula, os bruçistas cumpriram os 100 metros em $109.09 \pm 2.23\%$ do seu recorde pessoal e com a válvula a $115.94 \pm 3.31\%$.

A prova de natação é decomposta em quatro momentos: partida, nado, viragem e chegada. A utilização da AquaTrainer® poderá ter constrangido em algum ou alguns momentos da prova, daí a diferença significativa na performance. Por exemplo, a duração e profundidade dos deslizes após partida e viragem em nado constrangido são fortemente afectados. Foi sugerido que o acoplamento a uma válvula aumentava a força de arrasto em 10% [13, 17]; afectando desde logo a v , caso a força propulsiva se mantenha com idêntica intensidade.

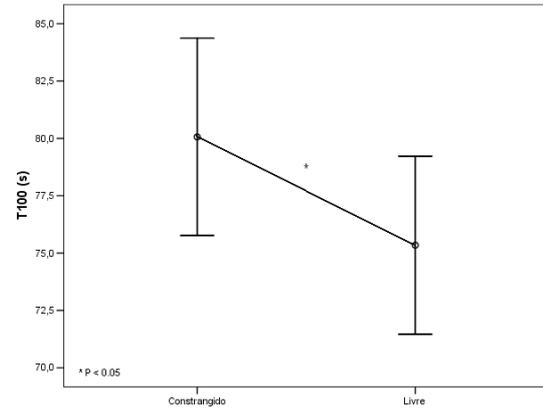


Fig. 1 Comparação da performance em nado constrangido e nado livre.

3.2 MECÂNICA DA BRAÇADA

A Fig. 2 apresenta a comparação dos parâmetros da mecânica da braçada entre as duas condições de exercitação. Não se verificaram diferenças significativas em qualquer variável dependente. Contudo, verifica-se uma tendência para a FG ($\Delta = 3.56\%$; $Z = -1.214$; $P = 0.23$) ser superior no nado constrangido. Já o P ($\Delta = -3.24\%$; $Z = -1.472$; $P = 0.14$), a DC ($\Delta = -3.62\%$; $Z = -1.352$; $P = 0.18$) e a v ($\Delta = -5.98\%$; $Z = -0.745$; $P = 0.40$) tem uma tendência para diminuir.

De igual forma, os parcos estudos na literatura sobre esta matéria também não verificaram diferenças significativas [13] ao se nadar com uma “válvula de Toussaint”, a qual tem uma geometria, volumetria e dimensões próximas da AquaTrainer®.

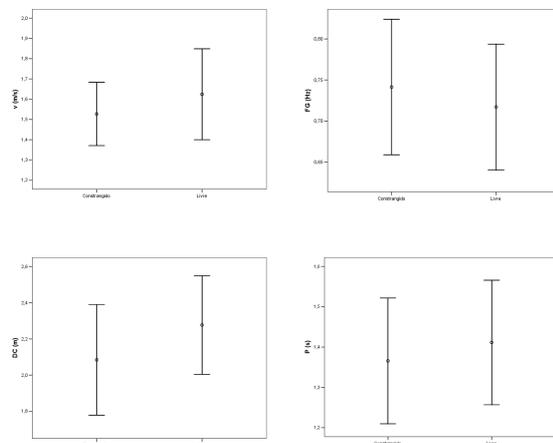


Fig. 2 Comparação da mecânica da braçada em nado constrangido e nado livre.

3.3 EFICIÊNCIA DE NADO

A Fig. 3 apresenta a dv nas duas condições de exercício. Em ambas as situações, a dv de Bruços caracteriza-se por um perfil bimodal. Um primeiro pico está relacionado com a acção propulsiva dos membros superiores e o segundo pico com a acção propulsiva dos membros inferiores [5, 9]. Ainda assim, constata-se que a diminuição da v entre a acção dos membros superiores e inferiores é menos suave e com uma maior dispersão de valores durante o nado constrangido. Isto poderá relacionar-se com diferentes estratégias de sincronização inter-segmentares durante esse tipo de nado, possivelmente por influência do equipamento.

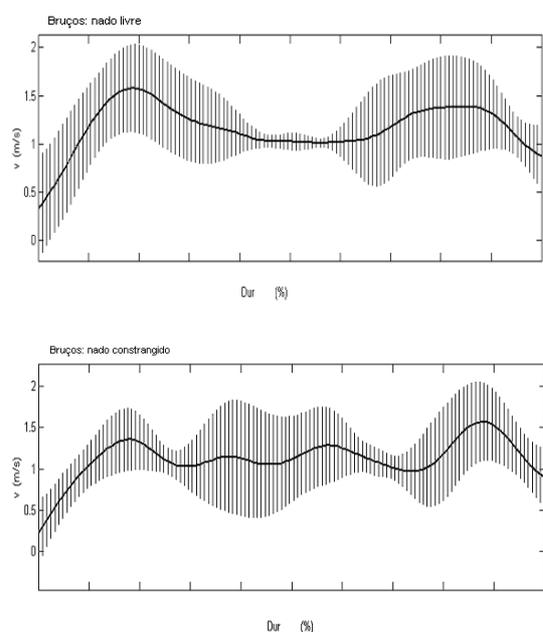


Fig. 3 Variação intra-cíclica da velocidade horizontal do centro de massa a Bruços em nado constrangido e nado livre.

A tabela 1 descreve os modelos matemáticos com melhor ajuste para a descrição da dv . Ambas as regressões apresentaram significado estatístico. Os coeficientes de determinação foram moderados ($0.37 < R^2 < 0.47$). Este resultado pode ser explicável pelo facto de cada bruçista optar individualmente por um deslize mais ou menos

acentuado [6, 15]. A relação entre curvas médias e curvas individuais está na base da discussão entre a perspectiva universalista versus a perspectiva individual aquando da análise de dados. As curvas médias, produzidas de acordo com a perspectiva universalista, expressam variações intra-individuais que são partilhadas pela maioria dos sujeitos estudados. Para o efeito, toma-se como pressuposto a não variação inter-individual e é reforçada a importância do valor modal ou normativo. Nesta circunstância os valores individuais são tidos como variâncias residuais sem significado para o valor médio. Consequentemente o erro de estimativa aumenta e o coeficiente de determinação diminui na proporção directa das variações intra-individuais.

Tabela 1. Modelos matemáticos descritivos da variação intra-cíclica da velocidade horizontal do centro de massa em nado constrangido e nado livre.

Nado	Equação	R^2	R_a^2	P	s
Livre	$Y = 0.714 + 0.128 * X - 0.002 * X^2 - 1.689E-4 * X^3 + 6.646E-6 * X^4 - 1.026E-7 * X^5 + 7.61E-10 * X^6 - 2.264E-12 * X^7$	0.37	0.35	< 0.01	0.37
Constr	$Y = 0.875 + 0.123 * X - 0.005 * X^2 + 6.84E-5 * X^3 + 9.79E-7 * X^4 - 4.092E-8 * X^5 + 4.561E-10 * X^6 - 1.735E-12 * X^7$	0.47	0.45	< 0.01	0.25

A Fig. 4 apresenta a comparação dos parâmetros adoptados para estimar a eficiência entre as duas condições de exercício. O IN ($\Delta = -13.94\%$; $Z = -1.183$; $P = 0,24$) e a dv ($\Delta = -0.16\%$; $Z = -0.338$; $P = 0,74$) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

Um elevado IN está fortemente associado a um menor custo energético [8]. Uma outra variável relacionada com um reduzido custo

energético é uma menor dv [3]. Tal como no presente estudo, pelo menos um outro tinha verificado que a eficiência não era afectada significativamente com o nado constrangido [13]. A dv foi ligeiramente inferior durante o nado constrangido do que no nado livre. A dv apresenta uma relação polinomial (onde o coeficiente $a < 0$) com a v [3]. Quer isto dizer que a menor dv observada relaciona-se com o facto de a v quando acoplado à Aquatrainer® ser de igual forma mais reduzido do que em nado livre.

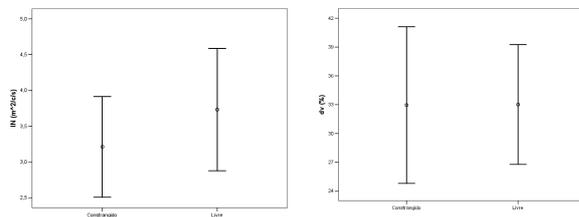


Fig. 4 Comparação da eficiência em nado constrangido e nado livre.

CONCLUSÕES

Em síntese, a válvula Aquatrainer® induz constrangimentos significativos na performance durante uma prova máxima em Bruços. A cinemática da técnica Bruços não apresentou diferenças significativas, apesar de se verificar uma tendência para a subestimação da maioria das variáveis analisadas. Assim, parece que as principais restrições impostas pelo equipamento ocorrerão noutras fases da prova, como o momento da partida e da viragem.

REFERÊNCIAS

- [1] Abdel-Aziz Y, Karara, H. Direct linear transformation: from comparator coordinates into object coordinates in close range photogrammetry. In: Proceedings of the Symposium on close-range photogrammetry. Church Falls. Pp. 1-18, 1971.
- [2] Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes RJ, Colaço P, Lima AB, Vilas-Boas JP. Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol*; 93: 519-523, 2005
- [3] Barbosa TM, Lima F, Portela A, Novais D, Machado L, Colaço P, Gonçalves P, Fernandes RJ, Keskinen KL, Vilas-Boas JP. Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes. In Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds). Porto: Portuguese Journal of Sport Sciences, 6(supl 2): 192-194, 2006
- [4] Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes RJ, Vilas-Boas JP. The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *Eur J Appl Physiol*; 103: 139-149, 2008
- [5] Capitão F, Lima AB, Gonçalves P, Morouço P, Silva M, Fernandes R, Vilas-Boas JP. Videogrametrically and accelometrically assessment intra-cyclic variations of the velocity in breaststroke. In Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds). Porto: Portuguese Journal of Sport Sciences, 6(supl 2): 212-214, 2006
- [6] Chollet D, Seifert L, leblanc H, Boulesteix L, Carter M. Evaluation of arm-leg coordination in flat breaststroke; 25: 486-495, 2004
- [7] Colman V, Persyn U, Daly D, Stijnen V. A comparison of the intra-cyclic velocity variation in breaststroke swimmers with flat and undulating styles. *J Sports Sci*; 16: 653-665, 1998
- [8] Costill D, Kovaleski J, Porter D, Fielding R, King D. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med*; 6: 266-270, 1985
- [9] Craig AB, Termin B, Pendergast DR. Simultaneous recordings of velocity and video during swimming. In Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds). Porto: Portuguese Journal of Sport Sciences, 6(supl 2): 32-35, 2006
- [10] de Leva, P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*; 29: 1223-1230, 1996
- [11] Figueira B, Reis A, Reis VM, Silva AJ, Garrido N, Louro H, Marinho D, Baldari D, Barbosa TM. Comparação dos procedimentos metodológicos de reconstrução cinemática 2d na técnica de bruços – duplo meio / planos separados. 3º Congresso Nacional de Biomecânica. Bragança. 2009.
- [12] Keskinen K, Rodríguez F, Keskinen O. Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming. *Scand J Med Sci Sports*; 13: 322 – 329, 2003
- [13] Kjendlie PL, Stallman R, Stray-Gundersen J. Influences of breathing valve on swimming technique. In Chatard JC (ed). *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*. Saint-Etienne: University of Saint-Etienne.; 69-73, 2003
- [14] Machado L, Querido A, Keskinen KL, Fernandes R, Vilas-Boas JP. Mathematical modelling of the slow component of oxygen uptake kinetics in front crawl. In Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds). Porto: Portuguese Journal of Sport Sciences, 6(supl 2): 144-146, 2006
- [15] Maglischo E. *Swimming fastest*. Illinois: Human Kinetics. 2003.
- [16] Rodríguez FA, Keskinen KL, Kusch M, Hoffmann U. Validity of a swimming snorkel for metabolic testing. *Int J Sports Med*; 29:120-128, 2008
- [17] Toussaint H, Meulemans A, De Groot G, Hollander AP, Schreurs A, Vervoon K. Respiratory valve for oxygen uptake measurement during swimming. *Eur J Appl Physiol*; 56: 363-366, 1987
- [18] Winter, D. *Biomechanic and Motor Control of Human Movement*. Chichester: John Wiley and sons. 1990.