

# CONSTRANGIMENTO MECÂNICO PROVOCADO PELA VÁLVULA AQUATRAINER® ASSOCIADA AO SISTEMA DE OXIMETRIA DIRECTA (K4 B<sup>2</sup>) NA CINEMÁTICA DE CROL

*Oliveira C<sup>1</sup>, Reis A<sup>1,2</sup>, Silva AJ<sup>1,2</sup>, Reis VM<sup>1,2</sup>, Garrido N<sup>1,2</sup>, Louro H<sup>2,3</sup>, Marinho DA<sup>2,4</sup>, Guidetti L<sup>5</sup> e Barbosa TM<sup>2,6</sup>*

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

<sup>2</sup> Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal

<sup>3</sup> Escola Superior de Desporto de Rio Maior, Instituto Politécnico de Santarém, Santarém, Portugal

<sup>4</sup> Departamento de Desporto, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal

<sup>5</sup> Departamento de Ciências da Saúde, Universidade de Roma, Roma, Itália

<sup>6</sup> Departamento de Desporto, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal; [barbosa@ipb.pt](mailto:barbosa@ipb.pt)

**PALAVRAS CHAVE:** Natação pura, Crol, 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 Crol. O protocolo consistiu na realização de dois percursos à intensidade máxima de 100 m Crol, 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 seis crolistas. 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 no nado constrangido do que no nado livre ( $P = 0.04$ ). Sem a válvula os nadadores cumpriram os 100 metros em  $95.24 \pm 2.18$  % do seu recorde pessoal e com a válvula a  $90.99 \pm 2.86$  %. As restantes variáveis não apresentaram diferenças significativas entre as duas condições de exercitação. Verificou-se uma tendência para a frequência gestual (-1.58 %), distância de ciclo (-3.62 %), a velocidade de nado (-5.75 %), a a flutuação da velocidade do centro de massa (-2.21 %) e o índice de nado (-9.27 %) serem inferiores com a utilização da válvula. Já a o período do ciclo foi superior no nado constrangido do que no nado livre (1.63 %).

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo da relação entre o perfil bioenergético de nadadores e o seu comportamento biomecânico é uma das áreas de investigação mais profícuas nos últimos tempos. Estudos desta índole implicam a aplicação simultânea de protocolos bioenergéticos e biomecânicos. Do ponto de vista bioenergético o interesse tende a quedar-se pela avaliação de diversos parâmetros metabólicos associados ao custo energético, sendo parte deles obtidos por oximetria directa.

Aquando da recolha de dados por via de oximetria directa, o analisador de gases

portátil K4 b<sup>2</sup> (Cosmed, Roma, Itália) é um dos mais descritos na literatura para esse propósito.

Na realidade, diversos estudos têm sido realizados em Natação Pura Desportiva com recurso a este equipamento [p.e., 2-4, 13, 16] mas na maioria das situações acoplado a uma “válvula de Toussaint” [18]. Com efeito, diversos trabalhos já foram publicados sobre a validade e fiabilidade dos dados fisiológicos recolhidos por ambos os equipamentos [e.g., 11, 14, 17].

Por outro lado, também está disponível para comercialização uma válvula respiratória

enquanto equipamento opcional do K4 b<sup>2</sup> para o meio aquático e designada de AquaTrainer® (Cosmed, Roma, Itália).

Todavia, até ao momento não foi realizado nenhum estudo no sentido de aferir as possíveis modificações cinemáticas na técnica de Crol decorrente dos constrangimentos impostos pela válvula ao se recolher simultaneamente dados bioenergéticos e biomecânicos com a AquaTrainer®. Já no caso da “válvula de Toussaint” existe pelo menos um trabalho publicado [12].

Assim sendo, o estudo teve como objectivo determinar o constrangimento cinemático provocado pela válvula Aquatrainer® (Cosmed, Roma, Itália), integrada com o sistema portátil analisador de gases K4 b<sup>2</sup> (Cosmed, Roma, Itália), durante um esforço máximo na técnica de Crol.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 AMOSTRA

Foram estudados seis especialistas na técnica de Crol do sexo masculino ( $18.5 \pm 2.1$  anos de idade;  $1.78 \pm 0.73$  m de estatura;  $73.03 \pm 9.72$  kg de massa corporal;  $57.72 \pm 2.92$  s de recorde pessoal aos 100 m Crol em piscina longa;  $598.20 \pm 90.71$  pontos do ranking da FINA).

### 2.2 PROTOCOLO

O protocolo consistiu na realização de dois percursos à intensidade máxima de 100 m Crol, em piscina de 50 metros: (i) um percurso em nado constrangido (i.e., com o sistema AquaTrainer® acoplado ao nadador); (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 nadador a ser avaliado de cada vez e a realizar sempre a viragem aberta para o lado da parede lateral em detrimento da viragem de rolamento. A ordem de realização dos percursos foi estabelecida de forma aleatória entre os diversos nadadores. Antes dos testes,

cada nadador 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 nadador. 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<sup>3</sup> e 20 pontos de calibração. 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 de Leva [10]. Foi adoptado o modelo antropométrico de Zatsiorsky, adaptado por de Leva [9], incluindo a divisão do tronco em 2 partes articuladas [6]. Os sinais foram filtrados com uma frequência de corte de 5 Hz, como sugerido por Winter [19] com recurso a dupla-passagem. A fiabilidade do processo de digitalização-redigitalização foi muito elevada ( $ICC = 0.97 \pm 0.01$ ). 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 gestual (P, s), a frequência gestual (FG, Hz), a distância de ciclo (DC, m), a velocidade de nado ( $v$ , m.s<sup>-1</sup>); (iii) a eficiência de nado estimando o índice de nado (IN, m<sup>2</sup>.c<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>) como descrito por Costill et al. [7] e a flutuação intra-cíclica da velocidade horizontal do centro de massa ( $dv$ , %) como proposto 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  $\pm$  1 DP. A diferença percentual ( $\Delta$ ) de acordo com a condição de exercício também foi tomada em conta para cada uma das variáveis dependentes.

A normalização das curvas de  $dv$  em função do tempo foi efectuada com recurso a MATLAB (v.6 R12, MathWorks Inc., Massachusetts, EUA). Também foi calculada a regressão polinomial de grau 8 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 exercício 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 o nado livre e o nado constrangido. O  $T100$  foi significativamente superior quando acoplados à Aquatrainer® do que durante o nado livre ( $\Delta = 4.75\%$ ;  $Z = -2.023$ ;  $P = 0.04$ ). Sem a válvula os nadadores cumpriram os 100 metros em  $95.24 \pm 2.18\%$  do seu recorde pessoal e com a válvula a  $90.99 \pm 2.86\%$ .

Foi sugerido que o acoplamento de um nadador à válvula de “Toussaint” aumentava a força de arrasto em sensivelmente 10% [12, 18]. Sabendo que a dimensão, geometria e volumetria da Aquatrainer® é muito próxima da válvula de “Toussaint” é admissível um incremento da força de arrasto similar. Contudo, o desenvolvimento de novos estudos

(experimentais e numéricos) sobre o efeito do nado constrangido com a Aquatrainer® dará informações relevantes sobre os arrastos passivo e activo. Ainda assim, poder-se-á especular que o aumento do arrasto sem um concomitante aumento da força propulsiva resultará numa diminuição da  $v$  e, portanto, o aumento do  $T100$ . Para mais, o momento da partida e de viragem são fortemente afectados, já que a duração e profundidade do deslize após impulsão são minimizados. Acresce-se o facto de que a viragem habitual nas provas de Livres não é admissível durante o nado constrangido.

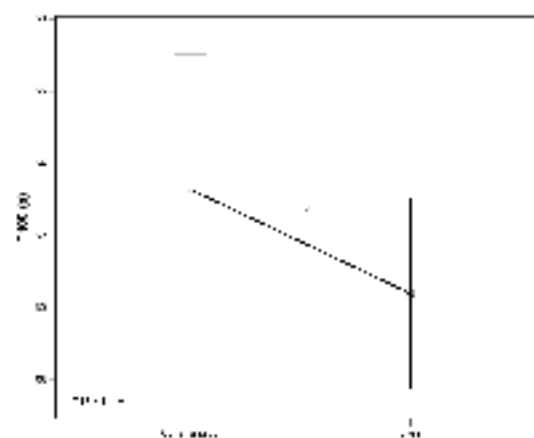


Fig. 1 Comparação da performance em nado constrangido e nado livre.

#### 3.2 MECÂNICA DA BRAÇADA

A Fig. 2 apresenta a comparação dos parâmetros da mecânica da braçada entre o nado livre e o nado constrangido. A  $FG$  ( $\Delta = -1.58\%$ ;  $Z = -0.524$ ;  $P = 0.60$ ), a  $DC$  ( $\Delta = -3.62\%$ ;  $Z = -0.943$ ;  $P = 0.35$ ), a  $v$  ( $\Delta = -5.75\%$ ;  $Z = -0.943$ ;  $P = 0.35$ ) e a  $P$  ( $\Delta = 1.63\%$ ;  $Z = -0.422$ ;  $P = 0.67$ ) não apresentaram diferenças significativas.

Na verdade, o único estudo disponível com a válvula de “Toussaint” também não verificou diferenças significativas na mecânica da braçada [12]. Assim sendo, parece que o constrangimento imposto pela AquaTrainer® no  $T100$  não terá lugar no momento de nado propriamente dito.

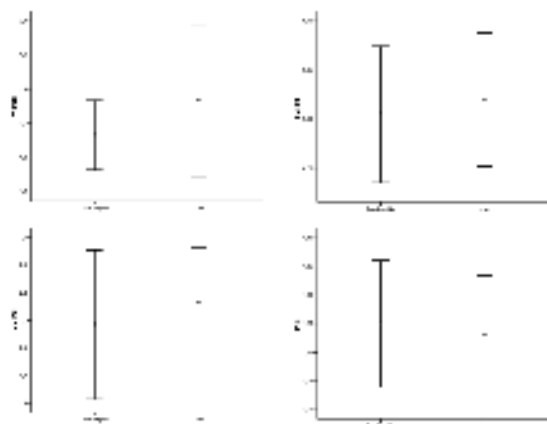


Fig. 2 Comparação da mecânica da braçada em nado constrangido e nado livre.

### 3.3 EFICIÊNCIA DE NADO

A Fig. 3 apresenta a  $dv$  nas duas condições de exercício. Em ambas as situações, a  $dv$  de Crol caracteriza-se por um perfil com ligeiras variações as quais estarão associadas às acções propulsivas dos segmentos corporais. Os picos positivos mais intensos estarão associados à acção propulsiva dos membros superiores durante o trajecto motor e os picos menos intensos à acção propulsiva dos membros inferiores [8, 15].

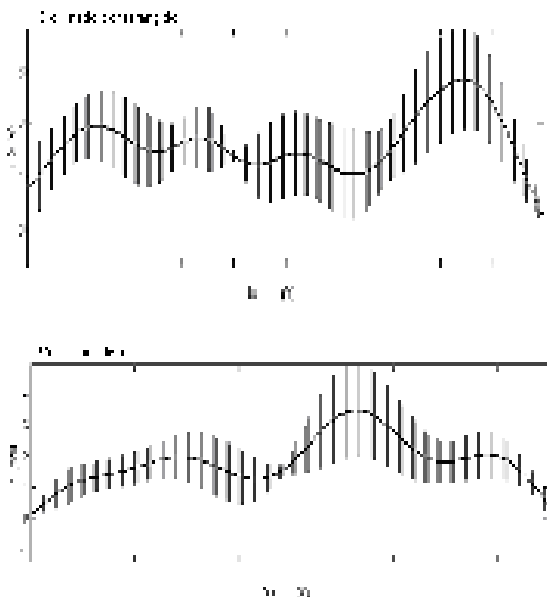


Fig. 3 Variação intra-cíclica da velocidade horizontal do centro de massa a Buços em nado constrangido e nado livre.

A tabela 1 descreve o modelo matemático que com melhor ajuste para a descrição da  $dv$ . Ambas as regressões apresentaram significado estatístico. Os coeficientes de determinação

foram moderados e próximos ( $0.32 < R^2 < 0.33$ ). O facto da capacidade preditiva ser moderada explica-se pelo facto da produção de curvas médias tender a anular as variações intra-individuais e valorizar o valor modal ou normativo. Desta forma os valores individuais são tidos como variâncias residuais sem significado na curva média. Consequentemente, o erro de estimativa aumenta e o coeficiente de determinação diminui na proporção directa das variações intra-individuais. Daí a crescente crítica que a perspectiva universalista na análise de dados em Ciências do Desporto tem vindo a ter quando comparada com a perspectiva individualista.

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	$Y = 0.289 + 0.576 * X - 0.096 * X^2 + 0.008 * X^3 - 3.403E-4 * X^4 + 7.909E-6 * X^5 - 1.009E-7 * X^6 + 6.627E-10 * X^7 - 1.752E-12 * X^8$	0.32	0.21	< 0.01	1.0
Constr	$Y = 0.783 + 0.222 * X + 0.004 * X^2 - 0.002 * X^3 + 1.103E-4 * X^4 - 2.898E-6 * X^5 + 3.928E-8 * X^6 - 2.665E-10 * X^7 + 7.152E-13 * X^8$	0.33	0.31	< 0.01	0.97

A Fig. 4 apresenta a comparação dos parâmetros adoptados para estimar a eficiência entre o nado livre e o nado constrangido. A eficiência de nado não foi afectada pela utilização da Aquatrainer® já que o  $IN$  ( $\Delta = -9.27\%$ ;  $Z = -1.153$ ;  $P = 0.25$ ) e a  $dv$  ( $\Delta = -2.21\%$ ;  $Z = -0.314$ ;  $P = 0.75$ ) não evidenciaram diferenças estatisticamente significativas.

Quer o  $IN$  [7] quer o  $dv$  [3] estão associados, respectivamente, negativa e positivamente com o custo energético. Mais ainda, o custo energético tem uma relação negativa com a eficiência [20]. Com efeito, pelo menos no caso do nado constrangido com a válvula de “Toussaint” também não se verificaram diferenças significativas na eficiência de nado [12]. Todavia, constata-se

uma ligeira tendência para uma maior eficiência durante o nado livre.

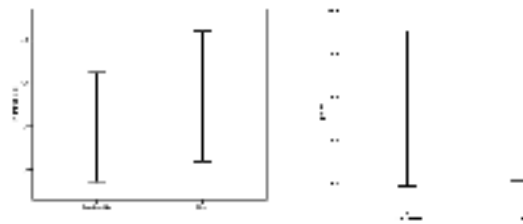


Fig. 4 Comparação da eficiência em nado constrangido e nado livre.

## CONCLUSÕES

Em síntese, a válvula Aquatrainer® induz constrangimentos significativos na performance durante uma prova máxima em Crol. Poder-se-á especular que as modificações significativas verificadas na performance estarão menos relacionadas com o momento de nado e talvez de forma mais acentuada com outros momentos da prova de natação como seja a partida e a 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] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [9] de Leva, P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*; 29: 1223-1230, 1996
- [10] 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 braços – duplo meio / planos separados. 3º Congresso Nacional de Biomecânica. Bragança. 2009
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 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
- [14] McLaughlin J, King G, Howley E, Bassett D, Ainsworth B. Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *Int J Sports Med*; 22: 280-284, 2001
- [15] Maglischo E. *Swimming fastest*. Illinois: Human Kinetics. 2003.
- [16] Reis VM, Carneiro AL, Silva AJ, Reis AM, Marinho DA, Guidetti L, Baldari C. Ventilatory response and swimming velocity during an all-out 100-m crawl bout performed with AquaTrainer(R). *J Sports Sci*. 26(S1): 17, 2008
- [17] Rodríguez FA, Keskinen KL, Kusch M, Hoffmann U. Validity of a swimming snorkel for metabolic testing. *Int J Sports Med*; 29:120-128, 2008
- [18] Toussaint H, Meulemans A, De Groot G, Hollander AP, Schreurs A, Vervoorn K. Respiratory valve for oxygen uptake measurement during swimming. *Eur J Appl Physiol*; 56: 363-366, 1987
- [19] Winter, D. *Biomechanic and Motor Control of Human Movement*. Chichester: John Wiley and sons. 1990.
- [20] Zamparo P. Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. *Eur J Appl Physiol*; 97: 52-58, 2006