

Variação do perfil hidrodinâmico no decurso de um macrociclo de preparação em nadadores e a sua interacção com a prestação

Reis AM¹, Reis VM¹, Alves F², Silva AJ¹

¹ Departamento de Ciências do Desporto da ¹Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Vila Real, Portugal; ² Faculdade de Motricidade Humana- Universidade Técnica de Lisboa

data de submissão: 24.11.2004

data de aceitação: 29.12.2004

RESUMO

O sucesso dos nadadores é determinado pela capacidade em gerar força propulsiva e reduzir a resistência ao deslocamento. Pretendemos, com este trabalho, estudar as variações induzidas pelo processo de treino no perfil hidrodinâmico de nadadores durante um macrociclo de treino. Para o efeito, foram estudados 16 nadadores Portugueses de nível nacional (14.91±0.83) ao longo de cinco meses. No final de cada ciclo de preparação foi avaliada a força de arrasto

hidrodinâmico (FDa), a potência mecânica (Pto) e o coeficiente de resistência hidrodinâmica (CxDa) com base no método da perturbação (12). Foram, também, avaliados indicadores constitucionais (altura, área máxima de secção transversa e peso), e condicionais (força isométrica). Para a análise das diferenças nos diferentes momentos de avaliação aplicamos a ANOVA ($p < 0.05$) e para analisar a influência conjunta nas alterações verificadas aplicamos a ANCOVA ($p < 0.05$). Os resultados permitiram-nos concluir: i) que o perfil

hidrodinâmico se modifica reflectindo, de forma específica, os efeitos e orientações do treino; ii) o aumento da eficácia, traduzida na melhoria da velocidade de nado e do valor de CxDa, pode explicar em parte o facto de o valor final da FDa ser inferior ao apresentado nos momentos anteriores; iv) as alterações do CxDa não são justificáveis pelas alterações verificadas na área de secção transversa, e superfície corporal.

Palavras Chave: Natação; crol; perfil hidrodinâmico; masculino; treino.

ABSTRACT

The swimming performance is determined by the capability to generate propulsive forces and decreasing drag forces. In this context, the purpose of this work was to evaluate the changes induced by the training process in the hydrodynamic profile of male swimmers during a swimming season. For this purpose, 16 national level male Portuguese swimmers were studied (14.91±0.83) during 5 months. In the end of each preparation cycle some hydrodynamic parameters were evaluated: the drag force (FDa), the mechanical power output (Pto) and the hydrodynamic coefficient (CxDa), based on the perturbation method (12). Some morphological parameters (height; body section; weight) and conditional parameters (isometric force) were also evaluated. To analyze the differences among the several evaluation moments we applied the ANOVA test ($p < 0.05$) and to evaluate the isolated influence within the differences we applied the ANCOVA ($p < 0.05$). The results let us conclude that: i) the hydrodynamic profile was changed as a consequence of the orientation of training process; ii) the increment of the training efficiency measured by the swimming velocity and the hydrodynamic coefficient can explain the reason why the drag force has decreased in the final evaluation moment; iv) the hydrodynamic coefficient changes were not justified by the changes observed in body section or body surface.

Key words: Swimming; freestyle; hydrodynamic profile; male; training.

METODOLOGIA

Amostra

Participaram, neste estudo, 16 nadadores, portugueses de nível nacional, do sexo masculino. As principais características da amostra encontram-se descritas no Quadro 2.

O momento de aplicação dos testes coincidiu sempre com o fim de cada ciclo de preparação do macrociclo de Inverno:

i) Preparação de base I; ii) Preparação de base II; iii) Preparação específica I; iv) Preparação específica II. A planificação assentou numa organização metodológica com acentuação progressiva, com base nos grandes princípios de treino, introduzindo alterações e adaptações específicas face às características dos nadadores, com as seguintes características:

- Ciclo de preparação de base I - Destinado ao desenvolvimento do sistema aeróbio na sua máxima amplitude, com potenciação brusca do trabalho de capacidade aeróbia e de velocidade. Na preparação em seco, promoveu-se essencialmente o trabalho de força resistência com o peso do próprio corpo e resistências externas (pesos);

- Ciclo de preparação de base II - Destinado à alta intensificação do processo de preparação desportiva, mediante a manutenção do trabalho de desenvolvimento aeróbio (limiar aeróbio), fundamentalmente ao nível do trabalho de limiar anaeróbio e estimulação do trabalho misto (VO_2 máx.). No trabalho em seco, potenciou-se a progressiva transferência da aquisição geral de força, para procedimentos mais específicos da sua manifestação, na força velocidade e explosiva.

- Ciclo de preparação Específica I - Destinado ao desenvolvimento na máxima amplitude da potência aeróbia (VO_2 máx.) e início do trabalho dos sistemas anaeróbio láctico e ritmo de competição, de preparação específica para a competição.

- Ciclo de preparação Específica II - Destinado ao trabalho na máxima amplitude do ritmo de competição, de acordo com o planeamento tático. Super compensação dos sistemas funcionais abordados nos ciclos anteriores, com preparação imediata para a competição mais importante do ciclo.

Procedimentos

O método de determinação dos

parâmetros hidrodinâmicos [12], altera a velocidade máxima de nado usando o arrasto suplementar (resistência adicional conhecida) fornecido por um corpo hidrodinâmico (figura 1).

Cada nadador realizou dois percursos de 25m na técnica de crol com partida dentro de água. Entre as duas repetições foi sempre cumprido um intervalo de 20 minutos de repouso passivo. As velocidades máximas obtidas em nado puro, sem (v_1) e com o corpo hidrodinâmico (v_2) acoplado foram medidas num percurso de 13m, entre os 11m após a parede testa de origem e os 24m, por forma a anular o impulso inicial da parede e o deslize de chegada (figura 8). As diferentes distâncias do percurso na água foram delimitadas no bordo da piscina, tal como descrito na figura 2. A fixação do corpo hidrodinâmico ao nadador (figura 3), efectuou-se através de um cinto convencional e de um cabo de reduzidas propriedades elásticas. A distância a que se encontrava o corpo hidrodinâmico dos pés do nadador foi de 3.5 a 4.5 vezes a altura do nadador. Com base nos dados recolhidos, calculamos os valores do arrasto activo e da potência mecânica propulsiva máxima recorrendo para o efeito a software próprio (Active Drag, V1.06, Magus, 1992-94,97). O erro potencial máximo no cálculo destes parâmetros hidrodinâmicos foi estimado em 6 a 8% [12].

Os pressupostos teóricos inerentes ao cálculo dos indicadores hidrodinâmicos em estudo são os de que o nadador é capaz de manter constante a potência mecânica propulsiva máxima em duas situações de nado diferentes: nado livre (P1) e nado acoplado a um corpo hidrodinâmico de arrasto conhecido (P2). Assim, a força de arrasto (D), é dada pela equação 1:

$$D = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_d \cdot V^2 \quad (1)$$

Onde, ρ , representa a massa específica da água; V a velocidade de deslocamento do nadador na superfície de separação da água e do ar; S a área de secção máxima do corpo transversa à direcção do deslocamento e C_d o coeficiente de arrasto ($D_a = f$ (Sh, Fr, Eu, Re, ...)). O arrasto activo e o coeficiente hidrodinâmico activo ($C_{x_{Da}}$) foram calculados, pressupondo igual rendimento da potência em ambos os ensaios (V1 e V2):

$$D_{a1} \cdot V_1 = D_{a2} \cdot V_2$$

(2)

onde D_{a1} é o arrasto activo durante o primeiro ensaio, D_{a2} é o arrasto activo mais o arrasto do corpo hidrodinâmico e V_1 e V_2 são as velocidades médias do 1º e 2º ensaios respectivamente. Usando a equação 1 e 2 foi possível calcular o rendimento da potência 2:

$$\frac{1}{2} C_{x_{Da}} \cdot \rho \cdot S \cdot V_1^3 = \frac{1}{2} C_{x_{Da}} \cdot \rho \cdot S \cdot V_2^3 + D_b \cdot V_2$$

(3)

onde: S é a área da secção máxima do corpo transversal à direcção de D, V a velocidade de deslocamento - translação, representa a massa específica da água e D_b representa o arrasto adicionado devido ao corpo hidrodinâmico. Resolvendo em ordem ao coeficiente hidrodinâmico activo:

$$C_{x_{Da}} = \frac{D_b \cdot V_2}{\frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot (V_1^3 - V_2^3)}$$

(4)

Substituindo $C_{x_{Da}}$ na equação 1 durante o 1º ensaio (nado livre à máximo velocidade), obtivemos o arrasto activo (D_a):

$$D_a = \frac{D_b \cdot V_2 \cdot V_1^2}{V_1^3 - V_2^3}$$

(5)

O rendimento da potência foi calculado multiplicando D_a à velocidade máxima. O registo de força máxima em seco foi efectuado através de um sistema dinamométrico. Durante a aplicação do teste o nadador era colocado em posição de teste (decúbito ventral), e efectuava uma puxada de uma barra para trás, durante dois segundos, com os dois braços em simultâneo, partindo da posição inicial com os braços flectidos pelo cotovelo e dedos voltados para o chão. As variáveis foram as seguintes: i) como variável dependente, a velocidade de nado nos diferentes momentos de avaliação; ii) como variáveis independentes, a força isométrica geral (F_{iso}); a potência mecânica de nado total (P_{tot}); a força de resistência ao deslocamento activa (D_a) e o coeficiente de força de resistência hidrodinâmica activo ($C_{x_{Da}}$).

Estatística

A análise constou de um estudo exploratório dos dados, com verificação

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Verifica-se, na análise da figura n.º 4 que, a velocidade máxima de nado aumenta progressivamente, do primeiro para o segundo momento de avaliação (6.8%), do segundo para o terceiro momento de avaliação (3.97%) e do terceiro para o quarto momento (94%).

O comportamento do arrasto activo (D_a) ao longo do estudo, demonstrado na figura 5, revela um crescimento progressivo entre os diferentes momentos de avaliação, mas apenas com significado estatístico as diferenças verificadas entre o fim do ciclo de preparação de base I e o fim do ciclo de preparação específica I.

No raio de velocidades mais elevadas, C_{Da} piorou até ao fim do ciclo de preparação de base II e terminou numa fase de melhoria (fim período de preparação específica II). As velocidades críticas rondaram em termos médios da amostra os 1,5 m/s. Em termos individuais foi possível verificar que somente dois dos nadadores não tiveram este comportamento ao nível do C_{Da} , ou seja, somente estes tiveram sempre registos de C_{Da} crescentes até final do estudo.

Verifica-se, ao nível da potência mecânica propulsiva máxima (P), do primeiro momento para o segundo momento da avaliação um aumento 25.5W (17.75%). Do segundo momento para o terceiro momento de avaliação um aumento de 23.59%. Do terceiro para o quarto momento de avaliação, em termos percentuais absolutos o valor médio de P diminuiu, ainda que apenas 0.49% (figura n.º 7).

Na figura n.º 8 podemos verificar o comportamento da variável F_{seco} , no decurso do estudo.

A análise do quadro permite-nos constatar que a força máxima isométrica aumentou, em termos médios, 21.9% do início até ao final do estudo, sem nunca porem se terem registado variações com significado estatístico.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As variações percentuais mais acentuadas, da velocidade de nado, verificaram-se nas zonas inferiores da curva, reforçando a suspeita da importância do desenvolvimento da capacidade aeróbia na prestação competitiva, mesmo em distâncias curtas [13].

As magnitudes de D_a , observadas, neste estudo, foram superiores às verificadas noutros estudos, quando avaliadas por métodos indirectos [3, 4; 15] e métodos directos, como o sistema MAD (a 1.5 m/s=53.2 5.9 N, presente estudo = 68.98 9.21 N). Para velocidades no raio 1.50-1.60 m/s= 66.3 4.1 N, presente estudo = 94.02 1.87 N). Estas diferenças, podem ter origem no nível dos atletas estudados ou às diferenças de esforço exigido a cada um dos estudos (máximo vs. mais sub máximo) [14].

No que se refere à variação dos valores de resistência no decurso do estudo verificamos do primeiro para o terceiro momento de avaliação, um aumento pronunciado, facto que pode estar relacionado com a especificidade do treino neste período, no qual o trabalho desenvolvido visou fundamentalmente o desenvolvimento do sistema aeróbio na sua máxima amplitude, com potenciação brusca do trabalho de Limiar aeróbio. Idênticas evidências da influência negativa da adaptação aeróbia na eficácia técnica já haviam sido descritas no decorrer do ciclo de preparação para os Jogos Olímpicos de Barcelona [13].

Do terceiro para o último momento verifica-se uma diminuição nos valores da D_a . Esta variação, pode ser decorrente das eventuais alterações técnicas. A análise da equação Newtoniana da resistência (equação 1), demonstra claramente que D_a tende a aumentar com vários factores, de entre eles, a velocidade, de uma forma quadrática [3, 10], e uma variável "A" que integra, a densidade da água, das características do corpo do nadador, e do coeficiente hidrodinâmico adimensional. Assim, é de admitir, que a diminuição registada do D_a , possa ser devida à diminuição dos factores indutores da perturbação técnica, isto é, ao aumento da eficácia de nado.

Esta constatação pode, aliás, ser comprovada pelos valores registados do coeficiente hidrodinâmico, que apresenta alterações similares às verificadas para a resistência ao deslocamento. Por outro lado não é de excluir igualmente a hipótese de as variações observadas se deverem a aspectos de natureza constitucional, até porque estes nadadores estão num período assinalável de crescimento físico tal como se pode verificar (Figura 10).

No que se refere aos valores de potência mecânica, os resultados sugerem-nos que os nadadores, em termos relativos, foram capazes de nadar mais rápido sem que para tal fosse necessário aumentar consideravelmente a P no período de preparação específica II, permitindo-nos admitir a hipótese de uma eficácia acentuada ao nível da propulsão. Este fenómeno é semelhante ao encontrado noutro estudo [12].

Este fenómeno, anteriormente descrito, parece estar relacionado com um aumento na eficácia da propulsão resultante da redução na potência usada para deslocar as moléculas de água para trás e necessária para a criação da força de propulsão e, à potência usada para gerar vórtices turbulentos durante a interacção fluxo/superfícies propulsivas e a resistência indutiva de propulsão, devido à alteração específica na cinemática da propulsão e características dinâmicas, que conduzem a menor

P e melhores resultados.

O mecanismo das diferenças observadas em P nos nadadores foi discutido noutro estudo [20] usando o conceito de eficiência de propulsão (e_p). Atletas de elite têm demonstrado terem um e_p mais elevado que os atletas de nível mais baixo [21].

O aumento da e_p ocorre como resultado do decréscimo de potência despendida para fazer deslocar as massas de água para produzir força propulsiva e, diminuição da potência despendida na formação de vórtices [20], isto, por seu turno faz diminuir P para uma dada velocidade.

A importância da força de braços, componente determinante da potência mecânica total na prestação está demonstrada [22] concluindo-se que, a propulsão na técnica de crol, depende em aproximadamente 86% da propulsão gerada pelos braços.

Apesar da importância relativa desta variável na velocidade de nado, constatamos, no entanto, que do terceiro para o quarto momento de avaliação, a velocidade, em termos percentuais, aumenta mais do que a variação percentual da F_{seco} . Assim, esta capacidade de nadar mais rápido sem ganhos importantes de força, poderá ser entendida tal como já havíamos referido anteriormente pela melhoria do desempenho técnico. Por outro lado, o argumento anteriormente descrito, ganha naturalmente outra importância se atendermos igualmente ao facto de estes nadadores ainda se encontrarem num estado de desenvolvimento suficientemente robusto, do ponto de vista físico, nomeadamente no domínio da força.

A tentativa de verificação do "peso" de cada um dos indicadores hidrodinâmicos na alteração da velocidade de nado, foi efectuada com recurso à covariação.

A análise conjunta dos indicadores hidrodinâmicos e a velocidade de nado, permitiu verificar que o C_{Da} , D_a e P foram aumentando até ao raio de velocidade de 1,51m/s e diminuíram a partir desta velocidade.

A principal razão para este facto poderá estar num aumento da eficácia mecânica do sistema de deslocamento do nadador (aumento da eficácia propulsiva do nadador). Isto é evidente pela dinâmica do C_{Da} enquanto indicador da eficácia da técnica (1, 2, 3, 13, 17, 19, 20, 22; 25).

A covariação da velocidade máxima de nado com a força isométrica (F_{seco}) demonstrou existirem diferenças estatisticamente significativas ($p=0.003$). Antes (estatística univariada) já tínhamos verificado que existiam diferenças estatisticamente significativas na velocidade ao longo do estudo, contudo, agora poderemos compreender um pouco melhor as causas das mesmas alterações. Assim, a covariação com F_{seco} permitiu verificar que a significância estatística para a velocidade mantém-se ($p=.096$), pelo que, parece demonstrar que as alterações verificadas em V não se devem à influência isolada da F_{seco} .

Por outro lado, a análise dos factores que podem induzir e explicar as variações de C_{Da} durante o estudo, estão de acordo com outros estudos [3], nomeadamente no que diz respeito à origem das alterações do perfil de propulsão do nadador, isto é, através de adaptações cinemáticas a nível propulsivo aqui traduzidas pela diminuição do C_{Da} e pela praticamente manutenção dos valores de P para a quase inalterada velocidade de nado verificada principalmente do fim do período de preparação de base II para o fim do período de preparação específica II, bem como pela redução verificada em D_a .

BIBLOGRAFIA

1. Clarys, J. P. (1978a). An experimental investigation of the application of fundamental hydrodynamics to the human body. B. Eriksson e B. Furberg (eds.), *Swimming Medicine IV*: 386-394. University Park Press, Baltimore.
2. Clarys, J. P. (1978b). "Relationship of human body form to passive and active hydrodynamic drag". In: E. Asmussen e K. Jorgensen (eds.), *Biomechanics VIB* pp. 120-125. University Park Press, Baltimore.
3. Clarys, J. P. (1979). "Human morphology and hydrodynamics. In: J. Terauds e E. W. Bedingfield (eds.), *Swimming III*, pp. 3-41. University Park Press, Baltimore.
4. di Prampero, P.; Pendergast, D.; Wilson, D.; Rennie, D. (1974) Energetics of swimming in man. In: *Journal Apply Physiology*, 37: 1-5.
5. Fédiaevski, C.; Voïtkounski, I. e faddéev, Y. (1979). *Mecânica de fluidos*. Lopes da Silva, Porto.
6. Hay, J. (1986) The status of research on biomechanics of swimming. In: J. G. Hay (ed.), *Starting, Stroking & Turning [A Compilation of Research on the Biomechanics of Swimming]*. The University of Iowa, 1983-86): 53-76. University of Iowa, Iowa.
7. Hollander, A. P.; De Groot, G.; Van Ingen Schenau, G. J. (1986). Active drag in female swimmers. In: *Biomechanics X. Human Kinetics Publishers*. Champaign, Illinois.
8. Holmér, I. (1974) Energy cost of the arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming style. In: *Journal Apply Physiology*, 33: 105-118.
9. Huijting, P.; Toussaint, H.; Mackay, R.; vervoorn, K.; Clarys, J. de Grot, G. e Hollander, P. (1988). Active drag related to body dimensions. In : B. E. Ungerechts, K. Wilke e K. Reichle (eds.), *Swimming Science*: 31-38, Human Kinetics Publishers. Campaign, Illinois.
10. Karpovich, P.V. (1933). Water resistance in swimming. *Res. Quart.*, 4:21-28.
11. Kemper, H.C.G.; Verschuur, R.; Clarys, J.P.; Jiskoot, J. e Rijken, H. (1976). Efficiency in swimming the front crawl. In: P.V. Komi (ed.), *Biomechanics VB*: 243-249. University Park Press, Baltimore.
12. Kolmogorov, S. V. e Duplicheva, O.A. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hidrodinamique force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. In: *J. Biomechanics*, 25(3):311-318.
13. Kolmogorov, S. V.; Turetsky, G.G.; Krasikov, A.F.; koygerov, S.V.; Rummyantseva, O.A. e Gorlova, S.N. (1995). Interconection between the functional and technical preparedness of top-performing swimmers in the final large training cycle. In: *Sport Science and Physical Culture*, nº 1: 54-64.
14. Kolmogorov, S. V.; Rummyantseva, O.A.; Gordon, B.J. e Cappert, J.M. (1997). Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels. *J Appl Biomch* 13: 88-97.
15. Pendergast, D.R.; Di Prampero, P.E.; Craig, A. B., Jr.; Wilson, D.R.; Wilson, D.R. e Rennie, D.W. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J. Appl. Physiol.*, 43:475-479.
16. Rennie, D.; di Prampero, P.; Wilson, D. e Pendergast, D. (1973). Energetics of swimming the crawl stroke. *Fed. Proc.*, 32 [abst.]: 1125.
17. Schleihauf, R.E. (1979). "A hydrodynamic analysis of swimming propulsion". In.: J. Terauds e E. W. b edingfield (eds.), *Swimming III*, pp.70-109. University Park Press, Baltimore.
18. Schleihauf, R.E. (1984). "The biomechanical analysis of swimming propulsion in the sprint front crawlstroke". Ed. D. Dissertation. Columbia University Teachers College, Columbia.
19. Toussaint, H.M.; De Groot, G.; Savelberg, H.H.C.M.; Vervoorn, K.; Hollander, A.P. e Van Ingen Schenau, G.J. (1988a). Active drag related to velocity in male and female swimmers. In.: *J. Biomechanics Vol. 21*, n.º 5, pp. 435-438.
20. Toussaint, H.M.; Hollander, A.P.; De Groot, G.; Van Ingen Schenau, G.J.; Vervoorn, K.; De Best, H.; Meulemans, A. e Schreurs, W. (1988b). "Propelling efficiency of front crawl swimming. In.: B.E. Ungerechts, K. Wilke e K. Reichle (eds.), *Swimming Science V*, Human Kinetics Publishers. Champaign, Illinois.
21. Toussaint, H.M.; Looze, M.; Rossem, Bas van; Leijdekkers, M. e Dignum, H. (1990). "The effect of growth on drag in young swimmers". In.: *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 18-28.
22. Toussaint, H.; Beek, P. (1992) Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Med*, 13 (1):8-24.
23. Ungerechts, B. e Niklas, A. (1994). Factors of active drag estimated by flume swimming. In: M. Miyashita, M. Mutoh e Richardson (eds.) *Medicine and Science in Aquatic Sports. Med. Sport Sci.* 39: 137-142. Karger, Basel.
24. Van der Vaart, A.; savelberg, H. ; De Grot, G. ; Hollander, A. ; Toussaint, H. e Van Ingen Schenau, G. (1987). An estimation of drag in front crawl swimming. *Jounar of Biomechanics*, 20 : 543-546.
25. Vilas Boas, J. (1993) *Bases Mecânicas da natação: Arrasto hidrodinâmico e propulsão*. Documento de apoio à disciplina de Natação do Mestrado em Treino de Alto Rendimento da Universidade Técnica de Lisboa – Faculdade de Motricidade Humana. Universidade do Porto - Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física. Porto.