

COMPARAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DE RECONSTRUÇÃO CINEMÁTICA 2D NA TÉCNICA DE BRUÇOS – DUPLO MEIO / PLANOS SEPRADOS

Figueira B¹, 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, duplo meio, planos separados, cinemática 2D, bruços

RESUMO: O presente estudo teve como propósito principal o de averiguar os procedimentos bem como o grau de concordância das reconstruções dos parâmetros cinemáticos de execução na técnica de bruços com recurso a duas metodologias distintas de captura e reconstrução cinemática, duplo meio (DM) e planos separados (PS). A amostra foi constituída por 7 nadadores do sexo masculino especialistas na técnica de bruços (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). O protocolo consistiu na realização de um percurso de 100 m na técnica de bruços à máxima velocidade possível (prova maximal), em piscina de 50 metros. Os registos de imagem para posterior tratamento foram recolhidos por um sistema constituído por um par de câmaras de vídeo (uma subaquática - incluída numa caixa estanque e uma de superfície). Assim, foram recolhidas as imagens da prova utilizando as duas metodologias, o DM e os PS. 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. 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). Recorreu-se ao método de digitalização em planos separados (aéreo e subaquático) e subsequente reconstrução pela aplicação do algoritmo 2D-DLT [1]. Foi adoptado o modelo antropométrico de Zatsiorsky, adaptado por de Leva [6], incluindo a divisão do tronco em 2 partes articuladas. Os sinais foram filtrados com uma frequência de corte de 5 Hz, como sugerido por Winter [15], com recurso a dupla-passagem. A fiabilidade do processo de digitalização-redigitalização para os dois métodos foi muito elevada ($R = 0.97$; $ICR = 0.87$; 0.95). Determinou-se a duração absoluta do teste (T100, s), a duração absoluta do ciclo gestual (Durciclo), a frequência ciclo (FC, Hz), a distância de ciclo (DC, m), a velocidade de nado (v , m.s⁻¹), o índice de nado (IN, m2.c-1.s-1), a flutuação intra-cíclica da velocidade horizontal do centro de massa (dv , %) e o deslocamento vertical do centro de massa corporal (Dy , m). Foi efectuada a comparação entre as duas situações com recurso a estatística não paramétrica (Teste de Wilcoxon) para $P \leq 0.05$. O resultados sugerem-nos a ideia de que o padrão biomecânico de execução técnica dos nadadores na técnica de bruços parece ter características diferentes quando comparados os dados dos dois métodos de reconstrução cinemática (DP e PS).

1 INTRODUÇÃO

Na busca e entendimento dos vários pressupostos que afectam o rendimento dos nadadores, têm sido realizados diversos estudos relacionados, por um lado, com o custo energético [2] e, por outro, com a técnica e mecânica de nado ([14]; [13]; [11]).

No domínio específico da Biomecânica, têm sido desenvolvidas diversas metodologias de observação e análise do movimento, de onde se destacam, para o caso específico da natação a cinemetria, dinamometria, antropometria, eletromiografia, entre outros ([3]; [4]; [15]).

Em natação e, devido ao facto da trajectória dos diferentes segmentos corporais e, fundamentalmente das mãos, ocorrer em mais que um plano tem-se implicado frequentemente o recurso a metodologias específicas, sobretudo de carácter 2D e 3D, já que só este tipo de metodologia parece aclarar as particularidades do modo como são produzidas as diferentes forças que permitem ao nadador propulsionar-se no meio aquático. Assim, neste tipo de metodologia de reconstrução cinemática são utilizados sobretudo registos de imagem com recurso a câmaras de vídeo que captam as particularidades do movimento nos planos subaquáticos e aéreo em separado ou em simultâneo tendo por referência um conjunto de referenciais de dimensões conhecidas (geralmente de características cúbicas) que determinam o volume espacial em que se há-de realizar o movimento de estudo [12]; [11]; [10]; [8]; [7]).

À parte do facto de existirem vários meios de captação de imagens que fomentam algumas dúvidas acerca da fiabilidade de cada um deles, verificam-se igualmente diferenças significativas entre as metodologias em estudo, nomeadamente ao nível de todo o *setup experimental*, no momento de realizar as recolhas de imagens, que decorrem necessariamente dos procedimentos de preparação e necessária calibração dos equipamentos. Nesse sentido, a problemática

do nosso estudo centra-se fundamentalmente na comparação entre o método do duplo meio e no método do registo dos planos separados, por forma a facilitar a opção a adoptar no momento da escolha da metodologia observacional.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 AMOSTRA

A amostra do nosso estudo foi constituída por sete brucistas 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 um percurso à intensidade máxima de 100 m bruços, em piscina de 50 metros, efectuando-se a recolha das imagens utilizando ambos os métodos em estudo (método de duplo meio e método dos planos em separado). Os nadadores iniciaram o esforço dentro da água e executaram 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 (Fig.1).

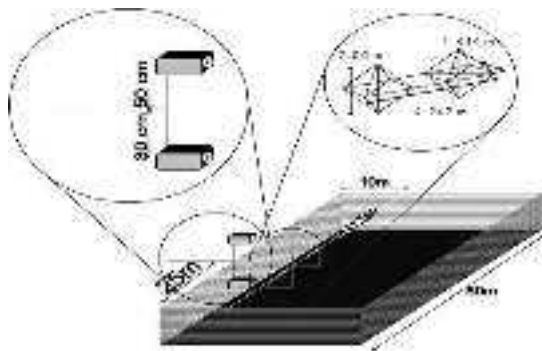


Fig. 1. Esquema de captura e registo das imagens para posterior reconstrução cinemática.

Recorreu-se ao método de digitalização em planos separados (aéreo e subaquático) e em duplo meio (imagens simultaneamente numa perspectiva subaquática e aérea) promovendo-se a subsequente reconstrução pela aplicação do algoritmo 2D-DLT [1] de acordo com o procedimento descrito por de Leva [6]. Foi adoptado o modelo antropométrico de Zatsiorsky [16,17], adaptado por de Leva [5], incluindo a divisão do tronco em 2 partes articuladas [5]. Os sinais foram filtrados com uma frequência de corte de 5 Hz, como sugerido por Winter [15] 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 na frequência de ciclo (FC, Hz), a distância de ciclo (DC, m) e a velocidade de nado (v , m.s^{-1}); (iii) a eficiência de nado estimando o índice de nado (IN , $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$) como descrito por Costill et al. [8] e a flutuação intra-cíclica da velocidade horizontal do centro de massa (dv , %) e o deslocamento vertical do centro de massa corporal (Dy , m) como preconizado por Reis [11] e Silva [13].

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.

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 metodologias de captura e reconstrução, com recurso a estatística não paramétrica (Teste de Wilcoxon) para $P \leq 0.05$. Os valores de Z baseiam-se em rankings positivos dos dados em bruto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PERFORMANCE

No que diz respeito à comparação do T100 entre as duas metodologias de captura e reconstrução não há, naturalmente, diferenças entre os dois métodos, uma vez que o período de duração de um ciclo completo é igual em ambos os casos.

3.2 MECÂNICA DA BRAÇADA

Quando comparamos os parâmetros relativos à mecânica da braçada entre as duas metodologias de captura e reconstrução, verificámos que não há diferenças significativas em qualquer variável dependente (FC, $p = 0.735$, $Z = -0.338$; DC, $p = 0.237$, $Z = -1.183$; v , $p = 0.237$, $Z = -1.183$). Estes dados sugerem-nos uma relativa concordância entre as duas metodologias, no que diz respeito aos factores do movimento de dominância horizontal.

3.3 EFICIÊNCIA DE NADO

Relativamente à eficiência de nado e, comparando as duas metodologias de captura e reconstrução nenhuma das variáveis apresentou diferenças significativas. O IN e a dv apresentaram valores sem significado estatístico relevante, quando comparadas as duas metodologias (IN, $p = 0.237$, $Z = -1.183$; dv , $p = 0.866$, $Z = -0.169$), método dos planos em separado relativamente ao método do duplo meio.

A análise dos valores referentes ao deslocamento vertical do centro de massa no ciclo, verificaram-se diferenças estatisticamente significativas entre as duas metodologias (Dy, $p = 0.018$, $Z = -2.375$).

Verifica-se que é através do uso do DM que são possíveis registos de maiores deslocamentos sobre o eixo transversal, comparativamente ao método dos PS (DM = 0.17 ± 0.05 m, PS = 0.14 ± 0.06 m).

Estas diferenças, parecem ser devidas às dificuldades associadas à determinação da linha de água, dificuldade estas que parecem resultar, de acordo com Kwon [9] do efeito de refração observado ao nível do interface entre ar/água em resultado das diferenças de densidade entre os dois meios. Esta dificuldade, tem de acordo com vários estudos [7, 9, 11 e 13], resultado em erros de digitalização importantes e, que aqui poderão explicar as diferenças observadas entre as duas metodologias em estudo. Aliás, é compreensível que assim seja, já que quando a “velocidade média de escoamento do fluído atinge valores superiores a um dado valor crítico (Re – número de Reynolds), o fluído pode passar a escoar-se de forma irregular (escoamento turbulento), neste caso, as partículas de fluido apresentam um movimento errático (formam-se redemoinhos), evidenciando grandes trocas transversais de quantidade de movimento” [11 e 14]), e que provocam inúmeras dificuldades de visualização dos segmentos corporais que se deslocam nesta zona de interface e que pela sua dificuldade de localização espacial contribuem naturalmente para valores erróneos de deslocamento vertical do centro de massa.

Com base nos dados observados, verifica-se uma maior valorização da amplitude vertical do CM nos nadadores quando observados a partir do DM, isto é, esta metodologia reporta para uma vertente de nado de características mais ondulatórias. Em contrapartida o uso do método dos PS remete-nos para uma vertente de nado mais plana.

Atendendo a que é nesta dimensão da cinemática (deslocamento em Y) do gesto técnico de nado do bruços que parecem residir as principais diferenças entre os dois métodos em apreço, sugerem-se mais desenvolvimentos relativamente à tentativa de despiste sobre qual dos métodos estará efectivamente a medir correctamente esta dimensão do movimento de nado do bruços.

O anteriormente referido será tanto mais importante se pensarmos que, tal como refere Van Tilborgh *at el*, [18] e Silva [13], a ideia de que um nado mais ondulatório associado a uma rotação do tronco, permite uma redução da dv, sendo este um critério para uma melhoria do rendimento na técnica de bruços.

CONCLUSÕES

Face aos resultados obtidos no nosso estudo estamos em posição de afirmar que o padrão biomecânico de execução técnica de bruços parece ter características diferentes quando comparados os dados dos dois métodos de reconstrução cinemática (duplo meio e planos separados). As diferenças entre os resultados obtidos pelos dois métodos não são estatisticamente significativas à excepção do deslocamento vertical do centro de massa do corpo (Dy, $p = 0.018$, $Z = -2.375$). Com base nos resultados obtidos sugerem-se mais desenvolvimentos sobretudo ao nível da metodologia para determinação da linha de água, já que parece ser nesta zona do interface ar/água onde residem as principais dificuldades.

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] Alves F. Economia de nado e prestação competitiva – Determinantes mecânicas e metabólicas nas técnicas alternadas. Dissertação de Doutoramento. Lisboa: Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa, 1995.
- [3] Amadio, A. Fundamentos da Biomecânica do Esporte. Considerações sobre a Análise Cinética e aspectos neuromusculares do Movimento. Tese de Doutoramento. Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo. Não Publicado,

- 1989.. Revista brasileira Ciências e Movimento. 8 (3): 7-13, 2000.
- [4] Bauman, W. Métodos de Medição e Campos de Aplicação da Biomecânica: Estado da Arte e Perspectivas. VI Congresso Brasileiro de Biomecânica. Brasília, 1995.
- [5] 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
- [6] Deleva. P. Adjustments to Zatsiorsky – Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29 (9), 1223-1230, 1996.
- [7] Fan T.I., Yen C.J & Hungt.J.. The study for dynamic Accuracy of 3 dimension direct linear transformations. *Journal of Biomechanics* 40 (S2), 2007.
- [8] Gourgolis V., Aggeloussis N., Vezos N., Kasimatis P., Antoniou P. & Mavromatis G Estimation of hand forces and propelling efficiency during front crawl swimming with hand paddles. *Journal of Biomechanics*. Greece, 2007
- [9] Kwon Y.H. & Casebolt J.B. Effects of light refraction on the Accuracy of Camera Calibration and Reconstruction in Underwater Motion Analysis. *Sports Biomechanics* Vol. 5 (2) 315-340, 2006.
- [10] Petibois C. & Délérís G. 2D – FT – IR spectrometry: a new tool for the analysis of stress induced plasma content changes. www.sciencedirect.com, 2003.
- [11] Reis A. *Estudo Piloto da variabilidade do padrão de execução técnica no decurso de uma prova de 400 metros livres em Natação*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto, 2002.
- [12] Sanders R.H., Cappaert J.M. & Devlin R.K.. Wave characteristics of butterfly swimming. *Journal of Biomechanics* 28(1), 9-16, 1995.
- [13] Silva A.. *The importance of the velocity of the body center of mass in breaststroke*. Tese de Douturamento apresentada à Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto, 2001.
- [14] Vilas-Boas J. *Caracterização biofísica de três variantes da técnica de bruços*. Dissertação apresentada às provas de Doutoramento no ramo de Ciências do Desporto, especialidade de Biomecânica do Desporto da Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto, 1993.
- [15] Winter D. Biomechanics and motor control of human movement. Chichester: John Wiley & Sons, 1990.
- [16] Zatsiorsky, V. & Seluyanov, V. The mass inertia characteristics of the main segments of the human body, in: H. Matsui e K. Kola; (Eds), *Biomechanics VIII-B* (PP. 1152-1159). Champaign, IL: Human Kinetics, 1983.
- [17] Zatsiorsky, V. & Seluyanov, V. Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regression equations. D.A. Winter, R.W. Norman, R.P. Wells, K.C. Hayes & A.E. Patha (Eds). *Biomechanics IV – B* (PP. 233-231), 1985.
- [18] Van Tilborgh, L.; Willens, E.& Persyn, U., (1998.) Estimation of breaststroke propulsion and resistance-resultante impulses from film analysis. In: Umgerechts, B. E. *et al* (eds.), *Streiming Science V*, Champaign III., Human Kinetics publishers, (PP.67-71), 1988.