

Factores biomecânicos e bioenergéticos limitativos do rendimento em natação pura desportiva

Tiago Barbosa¹, Kari Keskinen², João Paulo Vilas-Boas³

¹ Departamento e Ciências do Desporto, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

² Sociedade Finlandesa de Investigação em Desporto e Educação Física, Helsínquia, Finlândia

³ Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Porto, Portugal

Barbosa, T.; Keskinen, K.; Vilas-Boas, J. P.;
Factores biomecânicos e bioenergéticos limitativos do rendimento em natação pura desportiva. Motricidade 2(4): 201-213

Resumo

Um dos objectivos prioritários da Biomecânica do Desporto é o de, num primeiro momento, caracterizar um determinado padrão motor e, num segundo momento, intervir no sentido de incrementar a eficiência motora. Esse incremento da eficiência do gesto tem como finalidade última permitir que o seu executante aceda a níveis superiores de rendimento desportivo. Do exposto, emerge a ideia que a Biofísica encontra-se numa linha fronteira entre a Mecânica Clássica e a Fisiologia. Neste contexto, a Natação Pura Desportiva é uma das modalidades mais proficuas no estudo das implicações bioenergéticas e das repercussões em termos de eficiência dos diferentes modelos de locomoção. Foi objectivo do presente trabalho efectuar uma revisão do actual “estado da arte” sobre a relação que se estabelece entre o rendimento desportivo, as características bioenergéticas e biomecânicas em Natação Pura Desportiva.

Palavras-chave: técnicas de nado, dispêndio energético, custo energético, cinemática
Biomechanical and Bioenergetical factors determining swimming performance

data de submissão: Janeiro de 2006

data de aceitação: Maio de 2006

Abstract

Biomechanical and Bioenergetical factors determining swimming performance

Two of the main goals in the Biomechanics of Sports it is to characterise motor patterns and to increase the motor efficiency. The increase of the efficiency is assumed to be one way to access better performances. In this perspective, the Biophysics it is a knowledge area in the edge of the Classic Mechanics and the Physiology. Competitive swimming it is one of the sports with more studies around the bioenergetical implications and its repercussions to the efficiency of several locomotion models. The purpose of this paper was to do a revision of the actual “state of art” about the relationships between performance, bioenergetical and biomechanical factors in competitive swimming.

Key words: swimming techniques, energy expenditure, energy cost, kinematics

Introdução

Um dos objectivos prioritários da Biomecânica do Desporto é o de, num primeiro momento, caracterizar um determinado padrão motor; e num segundo momento, intervir no sentido de incrementar a eficiência motora⁷. Esse incremento da eficiência do gesto tem como finalidade última permitir que o seu executante aceda a níveis superiores de rendimento desportivo.

Williams⁶² sistematizou os pressupostos que levam ao incremento do rendimento desportivo a partir da intervenção Biofísica. A figura 1 sintetiza a abordagem do autor supracitado. A intervenção técnica visa, primariamente, uma diminuição do dispêndio energético. Particularmente com gestos “parasitas”. Isto é, uma diminuição do dispêndio de energia com gestos que não tem as repercussões desejadas no trabalho mecânico externo do sujeito. Desta forma, o praticante apresenta uma maior economia motora. Consequentemente, para o mesmo dispêndio energético, será possível atingir velocidades de deslocamento superiores e, portanto, aumento do rendimento.

Nesta abordagem, toma-se como pressuposto implícito o estabelecimento de relações significativas entre o rendimento desportivo, as características bioenergéticas e biomecânicas. Não obstante o rendimento desportivo ser um fenómeno multifactoriado, assume-se a possibilidade de prever o rendimento a partir do perfil Biofísico do desportista.

Winter⁶³ suporta a ideia do estabelecimento de pontes entre uma abordagem mais mecânica e outra mais fisiológica no estudo da locomoção humana. O autor descreveu o fluxo da energia desde a sua entrada num sistema biológico (*input*) até à sua saída (*output*). A figura 2 apresenta esse fluxo da energia ao longo do percurso. A produção de energia metabólica decorre do consumo de oxigénio e da produção de dióxido de carbono. Apenas uma fracção dessa energia será utilizada para a produção de trabalho mecânico externo. A restante parcela é dispendida, nomeadamente, com a manutenção da temperatura corporal, a contracção muscular ou a realização de trabalho postural. Por exemplo, a eficiência

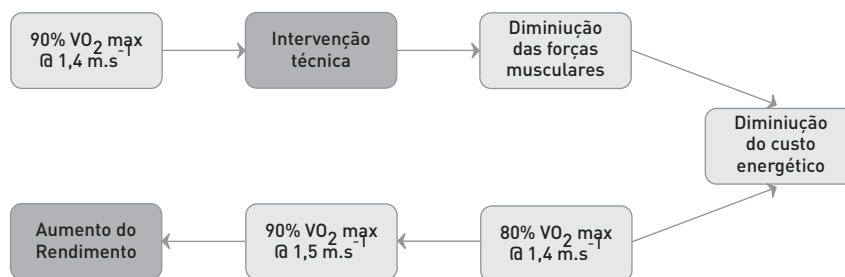


Figura 1: A intervenção Biofísica e o aumento do rendimento desportivo (modificado de Williams⁶²).

da locomoção terrestre varia em média entre os 30% ao caminhar a uma velocidade auto-seleccionada e os 50% para a corrida a uma velocidade moderada³⁴. Já no caso da locomoção aquática, a eficiência representa aproximadamente 10% para a técnica de Crol³⁸.

12 áreas do conhecimento. A categoria que apresentava o maior número de estudos foi a “Biomecânica” (20% do total dos artigos analisados), seguido da “Fisiologia” (18%). Ou seja, o estudo dos pressupostos Biofísicos inerentes à prática da NPD parece ser um dos campos mais atractivos

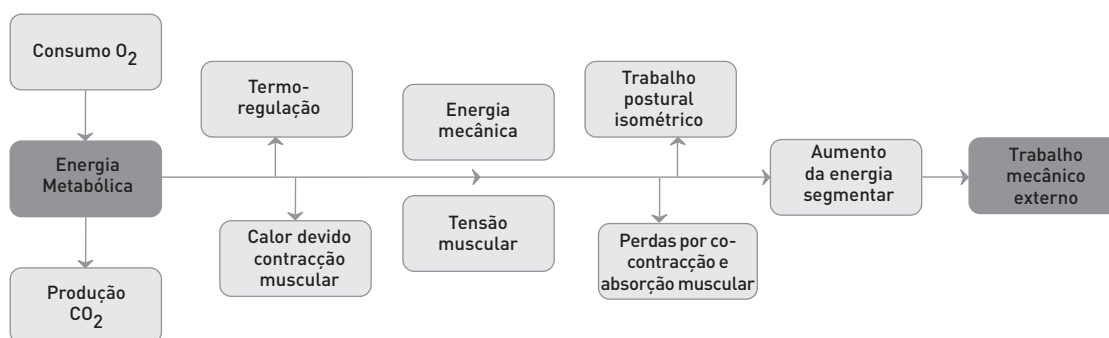


Figura 2: Fluxo de energia desde a entrada no sistema até à sua saída (adaptado de Winter⁴³).

Do exposto constata-se que a Biofísica encontra-se numa linha fronteira entre a Mecânica Clássica e a Fisiologia^{7,12}. Esta área do conhecimento pressupõe o entendimento do organismo biológico, como um sistema termodinâmico e o desempenho desportivo como uma emergência de processos optimizados de aporte energético, repercussão das características biomecânicas desse sistema⁵⁹.

Nesta conjuntura, a Natação Pura Desportiva (NPD) é uma das modalidades mais proficuas no estudo das implicações bioenergéticas e das repercussões em termos de eficiência dos diferentes modelos de locomoção. A produção de investigação no domínio da Biofísica parece ser um dos alvos preferenciais dos investigadores desta modalidade desportiva. Clarys²⁰ reviu 685 artigos “peer reviewed” tendo a NPD como objecto de estudo. O autor categorizou os trabalhos em

para os investigadores desta modalidade.

Assim, foi objectivo do presente trabalho efectuar uma revisão do actual “estado da arte” sobre a relação que se estabelece entre o rendimento desportivo, as características bioenergéticas e biomecânicas em Natação Pura Desportiva.

Predição da cinemática do centro de massa a partir da cinemática segmentar

Na NPD, a melhoria do rendimento desportivo, passa pela obtenção de resultados melhores do que os alcançados pelos adversários directos e/ou do que os registados pelo próprio no passado. Para o efeito, a necessidade de percorrer a distância da prova no menor intervalo de tempo possível é um critério determinante. Daí a pertinência do estudo da velocidade de deslocamento do nadador.



Uma das maiores preocupações dos investigadores na área da Biomecânica da Natação, é o estudo dos factores mecânicos que condicionam a cinemática do centro de massa.

A análise da variação da velocidade dentro de um ciclo completo de nado contribui para o deslocamento do nadador e apresenta um conjunto de informações sobre as diferentes fases do ciclo³⁰. Estas variações de velocidade são o resultado de aceleração positiva e negativa do centro de massa, ocasionadas pelas forças propulsivas e resistivas aplicadas sobre o nadador em cada instante do ciclo⁵.

O estudo das variações intracíclicas da velocidade de nado permitem interpretar melhor a mecânica do nado, fornecendo informações potencialmente relevantes para o controlo e avaliação técnico dos nadadores³¹.

Um factor que discrimina o nível técnico é a variação intracíclica da velocidade horizontal de deslocamento do centro de massa. No sentido da optimização técnica, o nadador deverá ser capaz de atingir elevadas velocidades médias de deslocamento mas, cumulativamente, apresentando uma variação mínima dessa velocidade ao longo do ciclo gestual. Aliás, sugere-se que a atenuação das variações intracíclicas da velocidade de deslocamento deverá ser tida como um dos principais objectivos no sentido da optimização⁵².

Face a estes enunciados, será interessante determinar quais os factores cinemáticos que influenciam a velocidade horizontal de deslocamento do centro de massa, assim como, a sua variação intracíclica. Mais ainda, saber quais serão aqueles que apresentam uma maior capacidade preditiva da velocidade de nado. Com efeito, tem vindo a ser realizadas algumas abordagens, um tanto insipientes, neste sentido.

Togashi e Nomura⁴⁴ avaliaram o ângulo relativo entre o antebraço e o braço em mariposistas. Os autores encontraram uma correlação significa-

tiva ($R = -0.606$) entre o ângulo, no “agarre” e nas fases seguintes, com a velocidade horizontal de deslocamento da anca. Este dado sugere que nadadores com elevadas velocidades médias de deslocamento tendem a apresentar ângulos relativos entre o antebraço e o braço inferiores. Detectaram uma correlação significativa ($R = -0.570$) entre a fase de surgimento de uma posição alta do cotovelo e a velocidade horizontal de deslocamento do tronco. Este resultado reforça a ideia de que a colocação bem cedo do cotovelo nessa posição, promove uma maior velocidade horizontal de deslocamento. A correlação entre a velocidade média de deslocamento e a flutuação da velocidade também foi significativa ($R = -0.509$). Assim, a minimização da variação dentro de cada ciclo passará pelo aumento da velocidade média de deslocamento. Mais tarde, este último resultado foi confirmado para Costas⁴.

Relativamente à técnica de Bruços, Manley e Atha³² observaram uma relação significativa entre a variação intracíclica e a velocidade média de nado. O aumento da velocidade de nado induzia uma diminuição significativa da flutuação da velocidade. Isto sugere então que nadar a velocidades mais reduzidas parece induzir menores níveis de eficiência. Posteriormente, Takagi et al.⁴³ verificaram que os nadadores de melhor nível competitivo apresentavam menores flutuações. Mais ainda, as reduzidas variações instantâneas da velocidade dentro do ciclo deviam-se às estratégias adoptadas para atenuar os picos de aceleração negativa. Pelo menos a Crol, ocorreu um aumento da eficiência total com o aumento da velocidade de nado⁶⁴. Especulando, tudo aponta que o mesmo possa ocorrer nas técnicas simultâneas.

Barbosa et al.¹¹ analisaram as relações que se estabelecem entre a flutuação da velocidade e a velocidade média de deslocamento nas quatro técnicas de nado competitivo. Ao contrário dos

autores descritos previamente, nesse trabalho identificou-se um maior ajuste do modelo polinomial de 2º grau do que do modelo linear para a relação entre as duas variáveis. Com efeito, este fenómeno é recorrentemente descrito para a locomoção terrestre³⁵. A relação foi significativa nas técnicas de Mariposa ($R = 0.47$), a Bruços ($R = 0.65$) e Crol ($R = 0.65$).

Martins-Silva e Alves³³ estudaram a relação entre a flutuação da velocidade do centro de massa e a velocidade das mãos, em Mariposa. Verificaram correlações significativas entre a flutuação da velocidade e as diversas componentes da velocidade da mão nas fases finais do trajecto motor (acção lateral interior e acção ascendente). As variáveis predictoras, ou que mais influenciaram a flutuação da velocidade, foram a velocidade resultante da mão durante a acção lateral interior ($R^2 = -0.98$), seguida da componente lateral da velocidade da mão durante a acção lateral interior ($R^2 = 0.99$) e da componente vertical da velocidade da mão durante a acção lateral interior ($R^2 = 1.0$).

Na senda destes resultados, Barbosa⁶ identificou as variáveis que melhor predizem a flutuação da velocidade, com base na velocidade da mão e dos pés, na mesma técnica. As velocidades segmentares que melhor predisseram a flutuação da velocidade foram a componente horizontal da velocidade da mão durante a acção ascendente, a componente vertical do segundo batimento descendente e a componente lateral da velocidade da mão durante a entrada. Estas variáveis tinham uma capacidade preditiva de 93% da flutuação da velocidade horizontal do centro de massa dos mariposistas

Deschodt et al.²⁴ estudaram a relação entre o movimento tridimensional do membro superior, com a velocidade de deslocamento da anca a Crol. Segundo os autores, a velocidade da anca estava relacionada com os movimentos horizontais e verticais dos centros articulares analisados.

Contudo, não havia relação significativa com os movimentos latero-mediais.

Chollet et al.¹⁷ também verificaram uma relação significativa entre a acção segmentar, nomeadamente a sincronização entre os membros superiores e inferiores com a velocidade de deslocamento, a Bruços. Este mesmo facto já tinha sido descrito por Tourny et al.⁴⁶, observando uma capacidade preditiva da velocidade com a diminuição da duração do deslize ($0.77 \leq R^2 \leq 0.86$). Com efeito, verificaram que a velocidade de deslocamento aumentava com a diminuição da duração relativa de deslize. Assim, a coordenação inter-segmentar, é um factor decisivo para a obtenção de uma elevada velocidade de deslocamento. Outros estudos, nesta área, foram desenvolvidos para as restantes técnicas de nado^{18, 19, 34, 41}.

Ainda a Crol, Keskinen e Komi²⁷ estudaram a relação entre a variação intracíclica da força, da velocidade e da potência mecânica, a partir de nado amarrado. A análise correlacional demonstrou uma relação ligeiramente positiva entre a velocidade e a força ao longo das diversas fases do ciclo.

Do conjunto dos estudos descritos, surge um denominador comum. Diferentes grupos de investigação, identificaram diversas variáveis cinemáticas com capacidade preditiva da cinemática do centro de massa, nas quatro técnicas de nado.

Predição do perfil bioenergético a partir das características biomecânicas

Não obstante a profícua investigação em torno dos aspectos biomecânicos e bioenergéticos nas diversas técnicas de nado, poucos tem sido os projectos desenvolvidos no sentido de conhecer e compreender as possíveis relações que se estabelecem entre estes dois domínios.

Vários estudos foram levados a cabo no sentido



de compreender a relação que se estabelece entre a economia de nado e a velocidade de deslocamento. Um facto consistente, entre os diversos estudos, é que o dispêndio energético aumenta com o incremento da velocidade, nas diversas técnicas de nado^{8,9,10,16,21,26,39,53,57}. Uma questão que não parece estar esclarecida é se a relação entre as duas variáveis é linear como sugerem alguns autores^{8,9,57} ou cúbica^{1,51,60}.

O aumento da velocidade de deslocamento induz um aumento da força de arrasto ($D = k.v^2$). Ora, a potência externa necessária para vencer a força de arrasto é descrita por uma função cúbica ($P = k.v^3$). Daí que, teoricamente, a relação entre o dispêndio energético e a velocidade seja considerada como cúbica^{25,60,61}. Todavia, diversos autores apresentam um maior ajuste do modelo linear. A explicação avançada por estes é a possibilidade de a velocidades relativamente elevadas os nadadores se tornem mais eficientes, reduzindo o dispêndio energético^{8,9,36,53}.

A relação entre o dispêndio energético e a força de arrasto pode ser analisada numa outra perspectiva. Comparando o dispêndio energético nas diversas técnicas de nado, verificou-se que para uma mesma velocidade, a técnica com uma maior economia era o Crol, seguido respectivamente por Costas, Mariposa e Bruços¹⁰. Ao comparar-se o arrasto activo, a sequência era a mesma. Para uma mesma velocidade, a técnica com menor arrasto era o Crol, seguido por Costas, Mariposa e Bruços²⁹. Aliás, a mesma sequência foi novamente identificada para a variação do impulso médio resultante por ciclo nas quatro técnicas de nado^{2,54,56}. Esta é uma fortíssima evidência da relação entre o comportamento biomecânico do nadador e das suas repercussões do ponto de vista bioenergético.

Um outro interesse nesta área de confluência entre a bioenergética e a biomecânica é o de compreender as repercussões que a resposta bio-

mecânica tem no custo energético. O conceito de “custo energético específico de transporte” foi introduzido por Schmidt-Nielson⁴⁰ e exprime o dispêndio de energia que ocorre por unidade de distância percorrido pelo indivíduo.

Smith et al.⁴² estudaram a relação entre o custo energético e a mecânica gestual na técnica de Costas. Os autores encontraram uma relação inversa e significativa entre o custo energético e a distância de ciclo ($R^2 = 0.14$). Por outro lado, uma maior frequência gestual estava associada a um maior custo energético, independentemente da massa corporal e da velocidade de nado.

Wakayoshi et al.⁶¹ estudaram a relação entre o consumo de oxigénio e a lactatemia com a mecânica gestual, na técnica de Crol. Verificaram que as variáveis mecânicas se mantinham inalteradas a intensidades aeróbias (30 a 60% do VO_{2max}). Contudo, acima do limiar anaeróbio, ocorreu uma diminuição da distância de ciclo e um aumento da frequência gestual. Este resultado, expressará uma menor sensibilidade para sentir a água, motivada pela fadiga muscular local. Mais tarde, o mesmo grupo de investigação alargou este estudo às restantes técnicas de nado. Para todos os sujeitos, verificou-se uma relação significativa entre o consumo de oxigénio e a frequência gestual ($0.925 \leq R \leq 0.998$). Esta tendência foi verificada por outros estudos^{21,28,45}.

Barbosa et al.⁹ estudaram a relação entre o perfil bioenergético e a mecânica gestual na técnica de Mariposa. O custo energético correlacionava-se significativamente com a frequência gestual ($0.94 \leq R \leq 0.98$). Contudo, a sua relação com a distância de ciclo não era consistente do ponto de vista estatístico.

Uma outra abordagem, no domínio da Biofísica da Natação, é o estudo da relação entre a variação intracíclica da velocidade de deslocamento e o custo energético. Parece que, pelo menos do ponto de vista teórico, existirá alguma relação



entre a maior variação intracíclica da velocidade horizontal de deslocamento da anca e/ou do centro de massa com o custo energético. Nadadores mais económicos apresentarão uma menor flutuação do ponto em análise^{22,23}. Maiores variações da velocidade, ao longo do ciclo gestual, implicarão custos energéticos acrescidos para vencer o arrasto e a inércia^{37,48}. A distribuição o mais uniforme possível das acções propulsivas ao longo do ciclo gestual parece representar um factor de eficiência de nado fundamental, sendo um indicador da habilidade técnica do nadador²². Daí o interesse emergente no desenvolvimento de equipamentos e no estudo da variação intracíclica da velocidade de deslocamento, enquanto meio de controlo e avaliação técnica em NPD³⁰.

Alves et al.³ estudaram a relação entre a variação intracíclica da velocidade horizontal de deslocamento da anca e o custo energético nas técnicas alternadas. Verificaram que, a Costas, a flutuação da velocidade se correlacionava significativamente com o custo energético às velocidades de 1.1 m.s⁻¹ (R = 0.78) e de 1.2 m.s⁻¹ (R = 0.66). Contudo, no caso da técnica de Crol, não foram observadas correlações significativas³.

Para a técnica de Bruços, em termos intra-individuais, observaram-se coeficientes de correlação e de determinação com significado estatístico entre a variação intracíclica da velocidade horizontal de deslocamento da anca e o custo energético, em termos intra-individuais ($-0.322 \leq R \leq 1$)⁵⁸. Todavia, em termos globais, o coeficiente de correlação não apresentou valores estatisticamente significativos.

Por fim, a Mariposa, Barbosa et al.⁸ detectaram uma relação significativa entre o custo energético e a flutuação da velocidade do centro de massa ($R^2 = 0.651$).

Recentemente, foi desenvolvido um outro estudo analisando a relação entre a flutuação da velocidade e o custo energético de nadadores de

elite (Barbosa et al., in press-a). A associação entre a flutuação da velocidade e o custo energético, controlando a influência da velocidade de deslocamento, foi significativa em todas as técnicas de nado: Crol (R = 0.62), Costas (R = 0.55), Bruços (R = 0.60) e Mariposa (R = 0.55).

Em jeito de síntese, pode-se concluir a existência de fortes evidências que apontam para o estabelecimento de relações significativas entre o perfil bioenergético (nomeadamente o dispêndio energético e o custo energético) com a resposta biomecânica dos nadadores (como por exemplo, a mecânica gestual, a velocidade de deslocamento e a variação intracíclica da velocidade).

Predição do rendimento desportivo a partir do perfil biofísico

Como foi referido previamente, a intervenção biofísica alicerça-se no pressuposto que permite ao desportista alcançar níveis superiores de rendimento desportivo. Os objectivos primários da Biofísica do Desporto, no caso das modalidades orientadas para o rendimento desportivo, passa pelo incremento da economia e/ou da eficiência do seu praticante. Desta forma, construir-se-á os alicerces para se um aumento do rendimento desportivo.

Diversos estudos desenvolvidos, no âmbito da NPD, sugerem a capacidade preditiva do rendimento desportivo com base no perfil biofísico dos nadadores.

Toussaint et al.⁴⁷ compararam sete nadadoras de nível olímpico com outras sete nadadoras de nível competitivo inferior, ao executarem a acção dos membros superiores num ergómetro (*arm cranking*). A distância de ciclo foi significativamente superior no grupo de elite do que no grupo de nível inferior. Os autores especularam que as nadadoras olímpicas apresentariam uma eficiência propulsiva superior. Este facto foi mais



tarde comprovado, pelo mesmo grupo, ao verificar que a eficiência propulsiva de um grupo de nadadores foi significativamente superior ao de um grupo de triatletas⁴⁹.

Outros autores confirmaram a ideia que o perfil bioenergético era um factor discriminativo do nível competitivo em NPD. Vilas-Boas⁵⁵ verificou que a economia de nado, a Bruços, foi significativamente superior num grupo de elite do que num grupo de nível inferior. O mesmo fenómeno foi descrito para Costas⁴². A Crol, verificou-se uma correlação significativa entre o consumo de oxigénio e a velocidade de nado, em nadadores de competição ($R = 0.80$)²¹.

Cappaert et al.¹³ compararam, a Crol, diversas variáveis semi-qualitativas entre os nadadores finalistas dos Jogos Olímpicos de 1992 e os nadadores que se ficaram pelas eliminatórias. A distância de ciclo corrigida para a estatura foi a variável mais discriminativa entre os dois grupos. Com efeito, já tinha sido sugerida a importância do incremento da distância de ciclo para o aumento da eficiência propulsiva em NPD⁵⁰.

Cappaert et al.¹⁴ e Cappaert¹⁵, compararam a cinemática de mariposistas de nível desportivo diverso (finalistas *vs* não finalistas olímpicos e de campeonatos do mundo). Verificaram que os nadadores finalistas apresentavam um ângulo absoluto entre o tronco e a horizontal, no plano sagital, significativamente inferior aos não finalistas. Os autores verificaram uma correlação positiva e significativa entre a orientação do tronco e a duração da acção ascendente. Quanto maior a extensão do cotovelo, maior a duração absoluta da acção ascendente e, supostamente, mais força propulsiva será gerada.

Takagi et al.⁴³ compararam a flutuação da velocidade de um grupo de bruçistas eliminados dos 9º Campeonatos do Mundo de Natação com o grupo de nadadores que passou para as semifinais. O grupo de nível inferior apresentou uma

maior flutuação intracíclica da velocidade do que os de melhor nível. Mais ainda, não se verificaram diferenças significativas no valor máximo da velocidade instantânea atingida em cada ciclo gestual entre os dois grupos. Os bruçistas de menor nível apresentaram valores mínimos mais reduzidos, o que poderá estar relacionado com a sujeição a intensidades da força de arrasto superiores.

Estes dados sugerem que as características biomecânicas, e por consequência, bioenergéticas dos nadadores têm uma repercussão significativa no seu rendimento desportivo. Nos estudos descritos verificou-se, de forma consistente, que nadadores com níveis desportivos diferenciados apresentavam comportamentos biofísicos diversos.

Van Handel et al.⁵³ identificaram como melhor preditor para a prestação na prova de 400-m Crol a economia de nado ($R = -0.65$). Para Costill et al.²¹, os melhores preditores da prestação nos 400-y Crol foi a distância de ciclo e o consumo máximo de oxigénio corrigido para a massa magra ($R^2 = 0.94$).

Alves¹ procurou prever o rendimento, nas diversas provas de Crol e de Costas com base no perfil biofísico dos nadadores. No caso da prova de 200-m Crol, as variáveis que melhor predisseram o rendimento foi o impulso médio resultante durante a acção lateral interior e a estatura ($R^2 = 0.910$). Para a prova de 200-m Costas, as variáveis que entraram no modelo preditivo foram o consumo máximo de oxigénio corrigido para a massa corporal, o custo energético à velocidade de $1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e a velocidade da anca durante a acção ascendente final e a saída ($R^2 = 0.793$).

Num estudo preliminar, Barbosa et al. procuraram identificar as variáveis biofísicas que melhor predizem o rendimento nas provas de 200-m Mariposa. As variáveis independentes que entraram no modelo foram a frequência gestual

à velocidade de $1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a distância de ciclo à velocidade de $1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a estatura e o declive da recta de dispêndio energético total ($R^2 = 1.0$).

Estes últimos estudos apontam para a possibilidade de se identificarem variáveis biofísicas que tem uma influência significativa no rendimento de diversas técnicas da NPD. Contudo, será pertinente a realização de mais estudos para uma maior sustentabilidade dos resultados aqui revistos.

Conclusão

Em síntese, o estudo da relação entre os pressupostos biofísicos e o rendimento em NPD parece ser uma área emergente. Não obstante o longo trabalho pela frente, para uma cabal compreensão das relações que se estabelecem entre estes domínios, passos importantes já foram dados.

Barbosa⁶, a partir de um conjunto de estudos, desenvolveu um modelo que procura prever o rendimento desportivo em Mariposa, a partir de diversas variáveis Biofísicas. A Figura 3 apresenta o modelo desenvolvido pelo autor.

O aprofundamento deste modelo, quer o desenvolvimento de modelos semelhantes para out-

ras técnicas de nado será necessariamente uma oportunidade a não desperdiçar no âmbito da Biofísica da Natação. Nestes modelos poderá residir a chave para uma intervenção técnica mais acertiva durante o processo de controlo e avaliação do treino no sentido do incremento do rendimento de nadadores.

Correspondência:

Tiago Barbosa
Departamento de Ciências do Desporto
Instituto Politécnico de Bragança
Campus Sta. Apolónia
Apartado 1101
5301-856 Bragança | Portugal
Telefone: +351 273 303 000
Fax: +351 273 303 135
E-mail: barbosa@ipb.pt

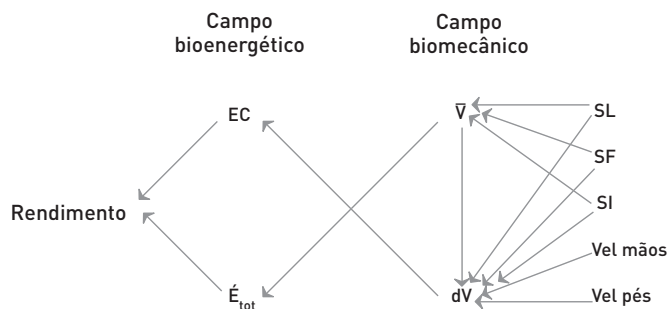


Figura 3: Modelo da relação entre variáveis bioenergéticas e biomecânicas com o rendimento em Mariposa (adaptado de Barbosa⁶).

Referências

1. Alves F (1995). *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.
2. Alves F (1996). Average resultant impulse per phase in swimming: a tool for technical analysis. In: Abrantes J (Ed). *Proceedings of the XIV Symposium on Biomechanics in Sports*. Lisbon: Faculty of Human Movement of the Technical University of Lisbon, 281-284.
3. Alves F, Gomes-Pereira J, Pereira F (1996). Determinants of energy cost of front crawl and backstroke swimming and competitive performance. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*. London: E & FN Spon, 185-192.
4. Alves F, Costa M, Gomes-Pereira J (1998). The influence of swimming velocity on the kinematic characteristics of backstroke swimming. In Rieche H, Vieten M (Eds). *XVI International Symposium on Biomechanics in Sports - Proceedings II*. Zabel, Radolfzell: University of Konstanz, 104-107.
5. Barbosa T, Santos Silva JV, Sousa F Vilas-Boas JP (2002). Measurement of butterfly average resultant impulse per phase. In: K Gianikellis (Ed). *Proceeding of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports*. Cáceres: Universidad de Extremadura, 35-38.
6. Barbosa T (2005). *Bioenergetical and Biomechanical Characterisation of Butterfly Stroke*. Dissertação de Doutoramento. Porto: Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.
7. Barbosa T, Vilas-Boas JP (2005). A eficiência da locomoção humana no meio aquático. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto* 5: 337-349.
8. Barbosa T, Keskinen K, Fernandes R, Colaço C, Lima A, Vilas-Boas JP (2005a). Energy cost and intracyclic variations of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol* 93: 519-523.
9. Barbosa T, Keskinen K, Fernandes R, Colaço C, CArmo C, Vilas-Boas JP. (2005b). Relationship between energetic, stroke determinants and velocity in butterfly stroke. *Int J Sports Med* 26: 841-846.
10. Barbosa T, Fernandes R, Keskinen K, Colaço C, Cardoso C, Silva J, Vilas-Boas JP. (2006). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *Int J Sports Med* 27: 1-6.
11. Barbosa T, Lima F, Portela A, Novais D, Machado L, Colaço P, Gonçalves P, Fernandes R, Keskinen K, Vilas-Boas JP (in press-a). Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes. In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. Portuguese Journal of Sports Sciences Supl 2.
12. Caldwell G, van Emmerik C, Hamill J (2000). Movement proficiency: incorporating task demand and constraints in assessing human movement. In: Sparrow A (Ed). *Energetics of Human Activity*. Illinois: Human Kinetics, 66-95.
13. Cappaert J, Pease D, Troup J (1995). Three dimensional analysis of the men's 100-m freestyle during 1992 Olympic Games. *J Appl Biomech* 11: 103-112.
14. Cappaert J, Pease D, Troup J (1996). Biomechanical highlights of world champion and olympic swimmers. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*. London: E & FN Spon, 76-80.
15. Cappaert J (1999). Biomechanics of swimming analysed by three-dimensional techniques. In: Keskinen K, Komi P, Hollander AP (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. Jyväskylä: Gummerus Printing, 141-145.
16. Chatard J-C, Lavoie J, Lacour J (1990). Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *Eur J Appl Physiol* 61: 88-92.
17. Chollet D, Tourny-Chollet C, Gleizes F (1999). Evolution of co-ordination in flat breaststroke in relation to velocity. In: Keskinen K, Komi P, Hollander AP (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. Jyväskylä: Gummerus Printing, 29-32.

18. Chollet D, Seifert L, leblanc H, Boulesteix L, Carter M (2004). Evaluation of arm-leg coordination in flat breaststroke. *Int J Sports Med* 25: 486-495.
19. Chollet D, Seifert L, Boulesteix L, Carter M (2005). Arm to leg coordination in elite butterfly swimmers. *Int J Sports Med* 26: 1-8.
20. Clarys JP (1996). The historical perspective of Swimming Science. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*. London: E & FN Spon, xi-xxxiv.
21. Costill D, Kovaleski J, Porter D, Fielding R, King D (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med* 6: 266-270.
22. Costill D, Lee G, D'Acquisto L (1987). Video-computer assisted analysis of swimming technique. *J Swimming Research* 3: 5-9.
23. D'Acquisto L, Ed D, Costill D (1998). Relationship between intracyclic linear body velocity fluctuations, power and sprint breaststroke performance. *J Swimming Research* 13: 8-14
24. Deschodt V, Rouard A, Monteil K (1996). Relationship between the three coordinates of the upper limb joints with swimming velocity. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*. London: E & FN Spon, 52-58.
25. Hollander AP, Toup JP, Toussaint HM (1990). Linear vs Exponential extrapolation in swimming research (abs). Liverpool: 6th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming.
26. Holmér I (1974). *Physiology of Swimming Man*. Acta Phys Scand (407): 1-55.
27. Keskinen K, Komi P (1993). Intracycle variation in force, velocity and power as a measure of technique performance during front crawl swimming. *XIVth International Society of Biomechanics Congress*. Paris, 676-677.
28. Klentrou P, Montpetit R. (1992). Energetics of backstroke swimming in males and females. *Med Sci Sports Exerc* 24: 371-375.
29. Kolmogorov S, Rummyantseva O, Gordon B, Cappaert J (1997). Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels. *J Appl Biomechanics* 13: 88-97.
30. Lima AB (2005). *Conhecimento de Resultados e Eficiência no Treino da Técnica em Natação. Conceção, Desenvolvimento e Avaliação de um Sistema de "Biofeedback" para o Treino em Nadadores*. Dissertação de Doutoramento. Porto: Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.
31. Maglischo E, Maglischo C, Santos T (1987). The relationship between the forward velocity of the centre of gravity and the forward velocity of the hip in the four competitive strokes. *J Swimming Res* 3: 11-17.
32. Manley P, Atha J (1992) Intra-stroke velocity fluctuations in paces breaststroke swimming. In: MacLaren D, Reilly T, Lees A (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VI*. London: E & FN Spon, 151-160.
33. Martins-Silva A, Alves F (2000). Determinant factors to variation in Butterfly velocity. In: Sanders R, Hong Y (Eds). *Applied Proceedings of the XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports – Swimming*. Edinburgh: Faculty of Education of the University of Edinburgh, 73-74.
34. Millet G, Chollet D, Chabies S, Chatard JC (2002). Coordination in front crawl in elite triathletes and elite swimmers. *Int J Sports Med* 23: 99-104.
35. Minetti A (2000). The three modes of terrestrial locomotion. In: Nigg B, MacIntosh B, Mester J (Eds). *Biomechanics and Biology of Movement*. Illinois: Human Kinetics, 67-78.
36. Montpetit R, Lavoie J-M, Cazola G (1983). Aerobic energy cost of swimming the front crawl at high velocity in international class and adolescent swimmers. In: Hollander AP, Huijting PA, de Groot G (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Illinois: Human Kinetics Publishers, 228-234.



37. Nigg B (1983). Selected methodology in biomechanics with respect to swimming. In: Hollander AP, Huijting P, de Groot G (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Illinois: Human Kinetics Books, 72-80.
38. Pendergast D, Zamparo P, di Prampero D, Capelli C, Cerretelli P, Termin A, Craig A, Bushnell D, Paschke D, Mellendorf J (2003). Energy balance of human locomotion in water. *Eur J Appl Physiol* 90: 377-386.
39. Rodríguez F (1999). Cardiorespiratory and metabolic field testing in swimming and water polo: from physiological concepts to practical methods. In: Keskinen K, Komi P, Hollander AP (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. Jyväskylä: Gummerus Printing, 219-226.
40. Schmidt-Nielsen K (1972). Locomotion: energy cost of swimming, flying and running. *Science* 177: 222-228.
41. Seifert L, Chollet D, Allard P (2005). Arm coordination symmetry and breathing effect in front crawl. *Human Movement Science* 24: 234-256.
42. Smith H, Montpetit R, Perrault H (1988). The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *Eur J Appl Physiol* 58: 182-188.
43. Takagi H, Sugimoto S, Nishijima N, Wilson B (2004). Differences in stroke phases, arm-leg coordination and velocity fluctuation due to event, gender and performance level in breaststroke. *Sports Biomechanics* 3: 15-27.
44. Togashi T, Nomura T (1992). A biomechanical analysis of the swimmer using the butterfly stroke. In: MacLaren D, Reilly T, Lees A (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VI*. London: E & FN Spon, 87-91.
45. Tourny C (1992). *Analyse des Paramètres Biomécaniques du Nageur de Brasse de Haut Niveau*. Dissertação de Doutorado. Montpellier: Universidade de Montpellier.
46. Tourny C, Chollet D, Micallef J, Macabies J (1992). Comparative analysis of studies of speed variations within a breaststroke cycle. In: MacLaren D, Reilly T, Lees A (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VI*. London: E & FN Spon, 161-166.
47. Toussaint H, van der Helm F, Elzerman J, Hollander AP, de Groot G, van Ingen Schenau I (1983). A power balance applied to swimming. In: Hollander AP, Huijting P, de Groot G (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Illinois: Human Kinetics Books, 165-172.
48. Toussaint H (1988). *Mechanics and Energetics of Swimming*. Dissertação de Doutorado. Amsterdam: Faculty of Human Movement Sciences of the Vrije University Amsterdam.
49. Toussaint, H. (1990). Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 22: 409-415.
50. Toussaint H, Hollander AP (1994). Mechanics and energetics of front crawl swimming. In: Miyashita M, Mutoh Y, Anderson AB (Eds). *Medicine and Science in Aquatic Sports*. Basel: Karger, 107-116.
51. Troup J (1991). Aerobic characteristics of the four competitive strokes. In: Troup J (Ed). *International Center for Aquatic Research Annual. Studies by the International Center for Aquatic Research (1990-1991)*. Colorado Spring: US Swimming Press, 3-7.
52. Ungerechts B (1988). The relation of peak body acceleration to phase of movements in swimming. In: Ungerechts B, Wilke K, Reischle K (Eds). *Swimming Science V*. Illinois: Human Kinetics Books, 61-66.
53. Van Handel P, Katz A, Morrow J, Troup J, Daniels J, Bradley P (1988). Aerobic economy and competitive performance of US elite swimmers. In: Ungerechts B, Wilke K, Reischle K (Eds). *Swimming Science V*. Illinois: Human Kinetics Books, 219-227.
54. Van Tilborgh L, Willems E, Persyn U (1988). Estimation of breaststroke propulsion and resistance-resultant impulses from film analyses. In: Ungerechts B, Wilke K, Reischle K (Eds). *Swimming Science V*. Illinois: Human Kinetics Books, 67-71.
55. Vilas-Boas JP (1993). *Caracterização Biofísica de Três Variantes da Técnica de Bruços*. Dissertação de Doutorado. Faculdade de Ciências do Desporto e de Edu-

cação Física da Universidade do Porto. Porto: Medisa.

56. Vilas-Boas JP (1994). Maximum propulsive force and maximum propulsive impulse in breaststroke swimming technique. In: Barbaras A, Fábian G (Eds). *Proceedings of the XIIth International Symposium on Biomechanics in Sports*. Budapeste: Hungarian University of Physical Education, 307-310.

57. Vilas-Boas JP, Santos P (1994). Comparison of swimming economy in three breaststroke techniques. In: Miyashita M, Mutoh Y, Richardson A (Eds). *Medicine and Science in Aquatic Sports*. Karger: Basel, 48-54.

58. Vilas-Boas JP (1996). Speed fluctuations and energy cost of different breaststroke techniques. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*. London: E & FN Spon, 167-171.

59. Vilas-Boas JP (2004). *Relatório Pedagógico da Disciplina de Biomecânica*. Provas de agregação do 3º grupo de disciplinas. Porto: Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física

60. Wakayoshi K, D'Acquisto J, Cappaert JM, Troup JP (1995). Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *Int J Sports Med* 16: 19-23.

61. Wakayoshi K, D'Acquisto J, Cappaert JM, Troup JP (1996). Relationship between metabolic parameters and stroking technique characteristics in front crawl. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*. London: E & FN Spon, 152-158.

62. Williams KR (1990). Relationships between distance running biomechanics and running economy. In: Cavanagh PR (Ed). *Biomechanics of Distance Running*. Illinois: Kuman Kinetic Books, 271-305.

63. Winter D (1990). *Biomechanic and Motor Control of Human Movement*. Chichester: John Wiley and sons.

64. Zamparo P, Pendergast D, Mollendorf J, Termin A, Minetti A (2005). An energy balance of front crawl. *Eur J Appl Physiol* 94: 134-144.