

RESPOSTA VENTILATÓRIA DURANTE A PROVA DE 400 METROS LIVRES: ASSOCIAÇÕES COM A PRESTAÇÃO

BREATHING FREQUENCY ALONG THE 400 M FREE STYLE: ASSOCIATION WITH PRATICE

AUTORES

Octávio Meira¹

Victor Machado Reis¹

Antonio José Silva¹

André Luiz Carneiro^{1,2,3}

António Malvas Reis¹

Felipe Aida¹

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro - Vila Real, Portugal

² Faculdades Unidas do Norte de Minas - Montes Claros - MG

³ Universidade Estadual de Montes Claros-MG

**RESPOSTA VENTILATÓRIA DURANTE
A PROVA DE 400 METROS LIVRES:
ASSOCIAÇÕES COM A PRESTAÇÃO**
4(1): 57-66

PALAVRAS-CHAVE

400 metros crol;
custo energético; prestação.

KEYWORDS

400m crawl; energy cost;
performance.

RESUMO

Os objectivos do presente estudo foram os seguintes: i) Descrever variáveis ventilatórias e metabólicas na prova de 400 metros crol; ii) Determinar a contribuição relativa do metabolismo aeróbio e anaeróbio no decorrer da prova; iii) Determinar a relação entre a prestação em 400m crol e as variáveis ventilatórias e metabólicas. A amostra foi constituída por 8 nadadores, do sexo masculino, média=17.7±2.3 anos, portugueses de nível competitivo nacional e com uma prática regular de natação. Cada elemento realizou as provas de esforço aleatoriamente (uma submáxima e a outra supramáxima com um intervalo de tempo, entre 48 horas) em uma piscina coberta, com 25m de comprimento e 10m de largura e, temperatura ambiente entre os 26-29 graus centígrados. Em ambas as provas o ar expirado foi analisado por um sistema de gases e registado os valores de VO₂ em intervalos de 20s. Antes de cada prova, os nadadores realizaram os aquecimentos com duração entre 10 a 15 min. A submáxima foi constituída por 5 patamares de 6 min de duração, alternados com um tempo de recuperação. A velocidade inicial foi entre 3 e 4m.s⁻¹ e os patamares subsequentes, receberam acréscimos de 0.5m.s⁻¹ sendo assegurada uma velocidade constante através de um *pacer*, colocado no fundo da piscina. Foram colhidas amostras de sangue capilar no final de cada patamar de esforço. Na supramáxima, cada nadador nadou 400m exigindo-se um esforço máximo na prova. Após a prova, foi medido o lactato sanguíneo, em intervalos de 2 minutos, até se verificar diminuição nos valores observados. Não se verificou nenhuma correlação significativa entre a velocidade média na prova supramáxima e as variáveis ventilatórias e metabólicas medidas nesta prova. Todavia, encontrámos a interferência de factores antropométricos na prestação em natação, nomeadamente a massa gorda (r=0.78; p≤0.05). Para velocidades até ≈1.3 m.s⁻¹, o metabolismo aeróbio assegurou a maior

parte da produção energética. E ainda, os nadadores que apresentaram maior déficit de oxigénio acumulado apresentaram menores valores da velocidade associada ao limiar láctico.

ABSTRACT

The aims of the present study were: i) to assess ventilator and metabolic variables during a 400m crawl event; ii) to assess the relative contribution of aerobic and anaerobic energy during the event; iii) to investigate the associations between the performance and ventilator and metabolic variables. The sample comprised 8 male Portuguese swimmers with a mean age of 17.7±2.3 years, regularly involved in competitive swimming. Each subject performed a submaximal and a supramaximal swimming tests with a 48h recovery between them. The tests were conducted in an indoor 25m swimming pool. During both tests gas analysis was performed and VO₂ was recorded in 20 s intervals. The submaximal test comprised 5 bouts of 400m with individual recovery between them. Initial speed was 3 to 4m.s⁻¹ and speed increases were 0.5m.s⁻¹. Swimming speed was kept constant with a light pacer placed in the bottom of the pool. Blood samples were collected after each bout. The supramaximal test was an all-out 400m crawl swimming. Blood samples were collected every 2 min after the test until blood lactate levelled-off. NO significant association was found between the assessed variables and the performance. However, we found a significant association of the performance with anthropometric measures, namely total body fat (r=0.78; p≤0.05). We also found that to swimming speeds up to ≈1.3 m.s⁻¹, the aerobic energy sources provided the major fraction of energy release. Moreover, the swimmers that presented the largest accumulated oxygen deficit presented the also the larger mean values of the swimming speed associated with the lactic threshold.

INTRODUÇÃO

Em natação, e com o evoluir da investigação, verifica-se que os resultados desportivos têm progredido para níveis de excelência, onde a vitória depende, cada vez mais, das diferenças mínimas¹⁶. No estudo realizado por Keskinen¹³, entre os anos de 1900 e 2006 foram encontrados vários artigos científicos com as palavras-chave natação e fisiologia. Este estudo concluiu que a estrutura do conhecimento sobre o treino da natação é ampla e está bem representada nas várias subdivisões da fisiologia aplicada à mesma. Portanto, podemos analisar a natação a nível da biomecânica, da fisiologia e da biofísica. Pendergast et al.²³ demonstraram que a correcta interpretação da biomecânica e dos aspectos fisiológicos, em função da velocidade de nado, permitir-nos-á compreender melhor a biofísica da natação. Ainda a nível da biofísica, foi evidenciado por Rodriguez e Mader³², através de uma simulação computacional do comportamento do metabolismo energético, que a contribuição aeróbia não pode ser sobrestimada em relação à energia total necessária para completar as provas de 100 e 400 metros crol, nomeadamente em nadadores jovens. As provas de natação consistem em percorrer diferentes distâncias desde 50m aos 1500m^{20,23}, as quais duram entre 23s e 14m30s, aproximadamente (+/- 23-1000s), para serem completadas²¹. Por conseguinte, devemos ter em consideração a duração da prova de 400m livres, a qual não ultrapassa, em média no sexo masculino, os quatro minutos e quinze segundos, o que nos deixa prever uma velocidade de nado significativa e ainda pressupor, uma manutenção da velocidade em

valores tão elevados quanto possível. Ito e Okuno¹² e Caty et al.⁶ consideraram que a velocidade, numa prova de natação, é determinada pela relação entre a propulsão e a resistência do nadador. Para Thanopoulos et al.³⁵ os resultados na natação de elite dependem de vários factores incluindo a eficiência da técnica de nado, as características funcionais e metabólicas dos nadadores e o nível de realização do treino. Logo, a intensidade do exercício e a importância relativa dos sistemas energéticos aeróbios e anaeróbios variam dependendo do tempo de nado, portanto, esta relação ajuda-nos a compreender a contribuição de cada sistema metabólico de acordo com o tempo da actividade²¹.

Para caracterizar o perfil metabólico de um determinado esforço é usual recorrermos à quantificação da produção de energia aeróbia e/ou anaeróbia²⁷. Um dos problemas com que o nadador tem de se confrontar é, fundamentalmente, como disponibilizar mais energia e como processar mais rapidamente essa energia. Consequentemente, para caracterizar os indicadores de produção de energia devemos avaliar todas as condicionantes que neles intervêm. Nesta ordem de pensamento, para medir a capacidade anaeróbia, foi proposto por¹⁶ o conceito de DefO₂Ac que caracteriza-se pela diferença entre o consumo de O₂ e a oferta de O₂ acumulado até o momento em que o sistema cardiopulmonar consegue responder e fornecer todo o oxigénio necessário, sendo atingida a fase de estabilidade. Reis e Carneiro²⁸ consideraram que a determinação do DefO₂Ac é possível a partir da medição do O₂ e permite a quantificação das fracções de energia aeróbia e anaeróbia, relativamente ao

custo energético total do esforço. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi o analisar as respostas ventilatórias e associá-las a prestação em nadadores portugueses de 400 metros crol.

METODOLOGIA

Amostra

Participaram voluntariamente neste estudo 8 nadadores, do sexo masculino, portugueses de nível competitivo nacional, pertencentes aos escalões de juvenis, juniores e seniores e que, habitualmente, têm competido nos campeonatos nacionais. A tabela 1 caracteriza a amostra.

Procedimentos

Prova submáxima

A prova foi constituída por 5 patamares de 400m, cada um com a duração de aproximadamente seis minutos e uma intensidade progressiva a cada patamar. Para ser assegurada uma velocidade constante durante os patamares, foi usado um sistema de sinais luminosos, colocado no fundo da piscina (GBK-Pacer, GBK-Electrónica, Aveiro, Portugal). A velocidade inicial foi determinada de acordo com o nível de aptidão de cada nadador (entre 3 e 4m.s⁻¹). Os acréscimos de velocidade nos patamares subsequentes foram de 0.5m.s⁻¹ com isto, pretendeu-se que dois a três dos patamares fossem cumpridos a uma intensidade inferior ao limiar anaeróbio, um a uma intensidade próxima deste limiar e dois ou mais claramente acima.

Entre cada patamar ocorreu um período de repouso passivo, cuja duração foi individual e determinada



com base no $\dot{V}O_2$ (diferença inferior a $2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ em relação ao valor observado antes do início do primeiro patamar). Cada prova individual terminou quando o indivíduo não conseguiu manter o ritmo pretendido, conseqüentemente, atingindo a exaustão, obtendo-se, desta forma, o valor correspondente ao $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ do indivíduo. Também durante toda a prova e, nos dois primeiros minutos de recuperação, os gases foram analisados por um analisador portátil de gases Cosmed K4b2 (Cosmed, Rome, Italy), equipado com uma válvula específica para natação Aquatrainer (Cosmed, Rome, Italy) e registados os valores de $\dot{V}O_2$ em intervalos de 20s.

Para determinação da equação de regressão entre $\dot{V}O_2$ e velocidade, foi considerada a média dos valores registados no último minuto de cada patamar. Foi ainda acrescentado um valor de $\dot{V}O_2$ correspondente a uma velocidade nula, sendo demonstrado que este procedimento permite melhorar a robustez da regressão²⁷. Para tal foi considerado o valor médio de $\dot{V}O_2$ observado no último minuto antes do início da prova²⁷. Para medição da concentração sanguínea de lactato (La'), foram feitas recolhas de sangue na extremidade do dedo, como demonstrado na figura 8, imediatamente após a conclusão de cada patamar. Foram colhidos aproximadamente $32\mu\text{L}$ de sangue e analisados imediatamente num aparelho Accusport Lactate Analyser (Boehringer, Mannheim, Germany). Para assegurar a validade das medições, o aparelho foi calibrado antes de cada utilização com o auxílio de soluções padrão de lactato (YSI 1530 Standard Lactate Solution) a 2.5, 5.0, 10.0 e 15.0mmol.

Nadador	Idade (anos)	Treino (anos)	Altura (cm)	Peso (kg)	Enverg. (cm)	Massa Gorda (kg)	Massa Gorda (%)
BC	17	8	171	66	180.0	5.90	8.70
DF	15	8	164	58	177.0	5.00	8.10
FF	22	13	175	60	176.0	6.80	10.20
FM	15	6	173	64	181.0	6.20	8.90
MC	16	6	178	60	185.0	5.00	8.10
MM	20	11	182	60	187.0	8.60	10.50
MR	18	10	180	68	183.0	7.21	9.60
TC	17	9	172	75	185.0	6.10	9.50
Média \pm dp	17.5 \pm 2.4	8.9 \pm 2.4	174.4 \pm 5.7	66.4 \pm 7.7	181.7 \pm 3.9	6.4 \pm 1.2	9.2 \pm 0.9

TABELA 1

Médias (\bar{x}) e desvios-padrão (dp) da idade, anos de treino, altura, peso, massa gordas em percentual e massa gordas em Kg.

Prova supramáxima

No que diz respeito à prova supramáxima, cada nadador realizou uma prova simulada de 400m. Neste caso, foi pedido aos nadadores que nadassem à uma determinada velocidade exigindo-lhes um esforço máximo. Durante esta prova, os gases foram analisados por um analisador de gases (segundo os procedimentos descritos para a prova submáxima) e registados os valores de $\dot{V}O_2$ em intervalos de 20s. Após a prova, foi medido o lactato sanguíneo (também, segundo os procedimentos descritos para a prova submáxima), em intervalos de 2 minutos, até se verificar diminuição nos valores observados.

Estatística

Todos os cálculos foram realizados pelo *package* estatístico SPSS (Science, Chicago, USA), versão 14.0 para Windows[®] e, os gráficos elaborados com o software *SigmaPlot 8.0*[®] (SPSS Science, Chicago, USA). Os resultados são apresentados como médias e desvios-padrão. Foi testada a normalidade da distribuição das variáveis em estudo com o

teste de *Shapiro-Wilk* (uma vez que a amostra é composta por menos de trinta indivíduos), e também, foi feito o Teste-T para reconhecermos se há relação entre as variáveis. As diferenças entre medidas repetidas foram investigadas pelo teste de *Wilcoxon*. Para verificar o nível de associação foi usado o coeficiente de correlação de *Pearson* e de *Spearman* (neste caso, para as variáveis não paramétricas). Para todos os testes o nível mínimo de significância adotado foi de $p \leq 0.05$. Os resultados são apresentados como médias e desvios-padrão ($\bar{X} \pm dp$).

RESULTADOS

Na prova submáxima foram calculados o custo energético submáximo (CE^{sub}), a velocidade de nado correspondente ao limiar láctico das 2 mmol.L⁻¹ (V2) e a velocidade de nado correspondente ao limiar láctico das 4 mmol.L⁻¹ (V4). Os valores médios observados nestas variáveis foram de: $0.58 \pm 0.06 \text{ ml.Kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$ para o C_E^{sub} , $1.04 \pm 0.11 \text{ m.s}^{-1}$ para V2 e $1.20 \pm 0.08 \text{ m.s}^{-1}$ para V4.

Variável	VM ^{sub} (m.s ⁻¹)
máxLa ^{sub}	-0,196
V2	0.842 (**)
V4	0.878 (**)
C _E ^{sub}	0.548
VO ₂ máx ^{sub}	0.639

TABELA 2

Coefficiente de Correlação de *Spearman* (r) entre a máxima velocidade média na prova submáxima (VM^{sub}) e as variáveis da prova submáxima.

* p ≤ 0.05; ** p ≤ 0.01

Abreviaturas:

VM^{sub} = máxima velocidade média na prova submáxima; máxLa^{sub} = máxima lactatemia;

V2 = velocidade para 2mmol.L⁻¹; V4 = vel. de nado correspondente ao limiar láctico;

C_E^{sub} = custo energético da prova submáxima;

VO₂^{sub} = média do consumo máximo de O₂ na prova submáxima (último patamar).

A máxima lactatemia na prova submáxima (máxLa^{sub}) apresentou a média de 6.97mmol.L⁻¹ com desvio-padrão de 2.53mmol.L⁻¹.

Na prova supramáxima (prova simulada de 400m), a velocidade média foi ligeiramente superior à observada no último patamar da prova

submáxima: 1.31±0.05 m.s⁻¹ vs 1.28±0.06 m.s⁻¹. Também o custo energético do nado na prova supramáxima foi ligeiramente superior ao verificado na submáxima: 0.62 ± 0.06 ml.Kg⁻¹.m⁻¹ vs 0.58±0.06 ml.Kg⁻¹.m⁻¹. Nenhuma das diferenças anteriores teve significado estatístico.

Parâmetro		VM ^{sup} (m.s ⁻¹)
%Aer	R	0.209
%Anaer	R	-0.209
C _E ^{sup}	R	0.468
C _E ^{tot}	R	0.468
VO ₂ máx ^{sup}	R	0.180
DefO ₂ Ac	R	0.045
VO ₂ Ac	R	-0.090
La ^{sup} Rep	R	-0.055
máxLa ^{sup}	R	0.126

TABELA 3

Coefficiente de Correlação de *Spearman's* (r) entre a performance da prova supramáxima e as variáveis da prova supramáxima.

* p ≤ 0.05; ** p ≤ 0.01

Abreviaturas:

VM^{sup} = performance da prova supramáxima; %Aer = percentagem aeróbia;

%Anaer = percentagem anaeróbia; C_E^{sup} = custo energético da prova supramáxima;

C_E^{tot} = custo energético total; VO₂máx^{sup} = média do consumo máximo de O₂ da prova supramáxima;

DefO₂Ac = déficit de O₂ acumulado; VO₂Ac = consumo de O₂ acumulado;

La^{sup}Rep = lactatemia antes da prova; máxLa^{sup} = máxima lactatemia na prova supramáxima.

Na tabela 2 podem-se observar as correlações entre a máxima velocidade média obtida pelos nadadores na prova submáxima e as restantes variáveis medidas nesta prova.

Em relação à velocidade do último patamar da prova submáxima, correspondente à maior velocidade conseguida por cada nadador, é de referir que, houve uma correlação positiva e significativa (r=0.854; p=0.040) entre esta variável e a percentagem aeróbia e uma correlação negativa e significativa (r=-0.854; p=0.015) com a percentagem anaeróbia.

A tabela 3 demonstra que não se verificou nenhuma correlação significativa, quando investigadas as associações entre a velocidade média na prova supramáxima e as variáveis medidas nesta prova.

Nas tabelas 4 e 5 são apresentadas as correlações bivariadas simples entre as variáveis quantificadas nas duas provas, submáxima e supramáxima.

DISCUSSÃO

Velocidade média de nado da prova supramáxima de 400 metros

A economia de nado e a eficiência propulsiva dependem do trabalho mecânico que os músculos têm de produzir para manter uma determinada velocidade, por conseguinte, o trabalho para deslocar-se na água é gerado entre duas componentes: o trabalho para ultrapassar as forças de arrasto e o trabalho que é feito para acelerar ou desacelerar os membros em relação ao centro de massa³⁶. O presente estudo apresenta valores próximos, aos estudos realizados com médias



de idades contíguas. Com excepção de Chatard et al.⁷ que encontraram maiores velocidades para uma amostra de idades inferiores. Outra excepção foram Platanou e Gelas²⁵, os quais obtiveram valores mais altos que os restantes estudos. A interpretação do quadro permite-nos mencionar que, quanto à primeira excepção, quando a média de idade da amostra aumenta, a velocidade também aumenta. Relativamente a esse aumento a bibliografia encontrada apresentou uma amostra de idades superiores, possibilitando referir que a amostra teria mais anos de treino e, consequentemente a possibilidade de uma melhor prestação.

D'Acquisto et al.⁹ avaliaram os benefícios do treino usando testes de economia de nado e demonstraram que o declive da equação de regressão da economia decresce significativamente após o treino. Assim, para um dado aumento de velocidade, o aumento do $\dot{V}O_2$ será diminuído após treino, implicando uma melhoria na eficiência de nado. Se o nadador melhorar a sua habilidade técnica como resultado do treino, isso irá reflectir-se numa frequência da braçada reduzida e consequente aumento da distância de ciclo e $\dot{V}O_2$ consistindo numa melhor economia para a mesma velocidade de nado. Em relação à segunda excepção, Platanou e Gelas²⁵ desenvolveram o estudo com nadadores de nível internacional, com reconhecidas prestações e melhores do que o presente estudo.

Máximo consumo de oxigénio

Ao se fazer análise dos valores relativos ao máximo consumo de oxigénio obtidos no presente estudo e nos estudos realizados por outros autores.

Variável	$\dot{V}O_{2m\acute{a}x}^{sub}$	C_E^{sub}	V2	V4	$m\acute{a}xLa^{sub}$
$\dot{V}O_{2m\acute{a}x}^{sub}$					
C_E^{sub}	0.88 (**)				
V2	0.71 (**)	0.42			
V4	0.33	0.17	0.83 (*)		
$m\acute{a}xLa^{sub}$	0.41	0.67	-0.22	-0.48	

TABELA4

Coefficiente de Correlação de Spearman (r) entre as diferentes variáveis da prova submáxima.

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$

Abreviaturas:

$\dot{V}O_{2m\acute{a}x}^{sub}$ = média do consumo máximo de O_2 na prova submáxima (último patamar);
 C_E^{sub} = custo energético da prova submáxima; V2 = velocidade para 2mmol.L⁻¹;
V4 = velocidade de nado correspondente ao limiar láctico;
 $m\acute{a}xLa^{sub}$ = máxima lactatemia na prova submáxima.

Da análise anterior verificamos que, relativamente ao máximo consumo de oxigénio, os valores obtidos no presente estudo são superiores aos encontrados por outros autores. A excepção encontrada diz respeito ao estudo realizado por ²⁵, o qual obteve valores superiores de má-

ximo consumo de oxigénio. Se considerarmos o tipo de amostra utilizada, nomeadamente o seu nível desportivo, poderemos justificar algumas das diferenças de valores encontradas. No caso do estudo de ²⁵ a amostra não foi constituída por nadadores, mas sim por 15 joga-

Variável	C_E^{sup}	DefO ₂ Ac	$\dot{V}O_2Ac$	Aer%	Anaer%	CE^{tot}	$\dot{V}O_2^{sup}$	$m\acute{a}xLa^{sup}$
C_E^{sup}								
DefO ₂ Ac	0.09							
$\dot{V}O_2Ac$	0.43	-0.79 (*)						
Aer%	0.27	-0.89 (**)	0.76 (*)					
Anaer%	-0.27	0.89 (**)	-0.76 (*)	-1.00 (**)				
CE^{tot}	1.00 (**)	0.02	0.43	0.27	-0.27			
$\dot{V}O_2^{sup}$	0.71	0.45	0.86 (*)	0.60	-0.60	0.71		
$m\acute{a}xLa^{sup}$	0.29	0.87 (*)	-0.42	-0.76 (*)	0.76 (*)	0.29	0.21	

TABELA5

Coefficiente de Correlação de Spearman (r) entre as diferentes variáveis da prova submáxima.

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$

Abreviaturas:

C_E^{sup} = custo energético da prova submáxima; DefO₂Ac = défice de O_2 acumulado;
 $\dot{V}O_2Ac$ = consumo de O_2 acumulado; Aer% = percentagem aeróbia;
Anaer% = percentagem anaeróbia; CE^{tot} = custo energético total;
 $\dot{V}O_2^{sup}$ = média do consumo de O_2 médio na prova supramáxima;
 $m\acute{a}xLa^{sup}$ = máxima lactatemia na prova supramáxima.

dores de pólo, o que revela o nível desportivo desta amostra como sendo inferior à do presente estudo, composta por nadadores de nível nacional. Rodrigues e Mader³³ encontraram valores superiores aos nossos, mas devemos ter em consideração a metodologia utilizada. Nos últimos 30 anos inovações técnicas como os sistemas portáteis de análises de gases permitiram as medidas metabólicas do custo energético em laboratório e em campo, demonstrando precisão e fiabilidade nos testes de exercícios práticos. Equipamentos computadorizados com analisadores electrónicos, que avaliam e armazenam, em tempo real, on-line, as trocas gasosas em cada respiração (*breath by breath*), aparecem na bibliografia científica². Foi feita a comparação da precisão e da validade das medidas do $\dot{V}O_2$ e do $\dot{V}CO_2$ entre Cosmed K4 RQ e o espectrómetro de massa Airspec QP9000¹, simultaneamente, durante os testes. Os resultados confirmaram a validade do sistema de análises de gás Cosmed K4 para um mesmo sujeito, em recuperação e durante o exercício à submáxima e máxima intensidade, sugerindo ser possível o uso nas medições do C_E em várias intensidades de exercícios e, neste caso, foi o aparelho utilizado no nosso estudo.

Défice de oxigénio acumulado

A magnitude da capacidade anaeróbia é influenciada pela capacidade de tamponamento do organismo¹⁷. Este autor referiu ainda que

o método de treino é um dos factores que perturba o défice de oxigénio acumulado, isto é, a percentagem de treino de velocidade e de resistência. Neste caso, atletas de velocidade têm maior probabilidade de apresentar valores médios de défice de oxigénio acumulado superiores aos dos atletas fundistas. Os valores médios relativos ao défice de oxigénio acumulado obtidos no presente estudo foram de 14.14 ± 14.20 ml.kg⁻¹. No estudo de Rodrigues et al.³³ os valores médios do DefO₂Ac observados numa prova de 400m crol foram ligeiramente superiores (20.35 ml.kg⁻¹) aos observados por nós.

No estudo de Ogita et al.¹⁹ a média do DefO₂Ac durante o nado foi muito superior ao verificado no presente estudo, 53.3 a 60.6 ml.kg⁻¹ no género masculino, utilizando uma prova de duração entre 2 e 3 min. Contudo o facto de ter sido realizado num ergómetro aquático, a produção de forças de fricção pela água e a sua possível influência no custo energético dos nadadores não é totalmente conhecida, o que pressupõe algumas dúvidas na utilização deste instrumento¹⁶. O estudo¹⁹, confirmou valores muito elevados para o DefO₂Ac, quando usado o ergómetro aquático, sendo o valor médio de 70.1 ml.kg⁻¹. Num outro estudo Ogita et al.²⁰ verificaram valores inferiores (média de 37 ml.kg⁻¹) nos finalistas do campeonato Japonês, novamente usando a avaliação em ergómetro aquático. Em suma, poucos são os estudos com a medição do DefO₂Ac na natação, sobretudo no nado em piscina. Essa falta de estudos dificulta o conhecimento do real comportamento da cinética do DefO₂Ac em natação.

Contribuição relativa dos sistemas aeróbio e anaeróbio

As análises do $\dot{V}O_2$ e os parâmetros respiratórios têm sido utilizados nos estudos da natação, permitindo um acesso indirecto, não invasivo, ao metabolismo energético^{10,13}. No presente estudo, a percentagem de energia aeróbia foi calculada pela fracção entre o $\dot{V}O_2$ acumulado durante a prova e o C_E^{tot} e, a percentagem de energia anaeróbia foi calculada pela fracção entre o DefO₂Ac durante a prova e o C_E total. A contribuição média de energia aeróbia que observámos foi de $92.85 \pm 7.57\%$, valor superior ao referido por estudos anteriores com a mesma distância, 83.2% em nadadores do género masculino e 85.5% em nadadoras do género feminino³³.

É de ressaltar a consideração de alguns que, o uso do equipamento (nomeadamente a válvula e o tubo respiratório) pode influenciar significativamente a prestação e/ou alterar as respostas fisiológicas durante o nado. Contrariamente, Kjendlie et al.¹⁵ não encontraram diferenças significativas no nado a velocidade máxima com o uso e sem o uso da válvula. Di Prampero¹⁰ sugeriu que no crol, o arrasto produzido pela válvula e pelo tubo é contra balanceado pelo facto do nadador não ter que realizar a rotação da cabeça no momento da respiração.

Poucos estudos descritos na literatura usaram a mesma metodologia seguida no presente estudo para avaliar as contribuições aeróbia e anaeróbia em provas de nado. Na distância de 200m bruços, Reis et al.²⁸ verificaram uma contribuição média de energia aeróbia de 82% enquanto³⁴ verificaram uma contribuição média de energia aeróbia de 85% numa prova simulada de

¹ Airspec QP9000 (QP9000): espectrómetro de massa construído num robusto sistema de vácuo; foi especialmente desenhado para a análise de gases respiratórios e consiste em um aparelho microprocessador conectado a um computador pessoal.



200m crol. Ambos os estudos anteriores foram realizados com nadadores Portugueses. De notar que em 200m crol, Silva et al.³⁴ verificaram uma percentagem de energia aeróbia praticamente igual à verificada por³³. Tendo em consideração que a duração da prova era muito inferior, seriam de esperar valores inferiores da componente aeróbia, por referência com o estudo³³.

Máxima lactatemia

A cinética do metabolismo láctico durante o exercício é deduzida através da medida de concentração láctica no sangue e músculo. Em repouso ou em exercícios de baixa intensidade, aproximadamente 50% do $\dot{V}O_{2máx}$, o lactato é produzido e removido em quantidades iguais³.

Os factores anteriormente sugeridos por nós para explicar a velocidade relativamente baixa de deslocamento durante a prova submáxima (influência da válvula Aquatrainer, factores motivacionais e viragens condicionadas), podem igualmente ter contribuído para que a prova assumisse um perfil menos anaeróbio do que seria em situação real de competição. Assim, esses factores podem também ter determinado os valores baixos de lactatemia máxima, comparativamente com a literatura.

Custo energético

O custo energético na natação (C_E) por unidade de distância a uma dada velocidade, varia em larga escala entre nadadores⁷. Esta variação faz-se sentir na economia de nado que é definida como o consumo de oxigénio ($\dot{V}O_2$) necessário para nadar a uma dada velocidade, tal como, o declive da recta de regressão entre o $\dot{V}O_2$ e o trabalho da actividade¹⁵. Os valores médios

do C_E no presente estudo são inferiores aos verificados por²⁶ e por²⁹, mas superiores aos indicados por Kjendlie et al. (2004a). Além disso, os nadadores estudados tinham uma idade muito inferior aos que foram estudados no presente estudo, o que pode explicar um maior custo energético do nado. Com efeito, foi sugerido que o custo energético associado ao deslocamento do corpo (economia), é menor em atletas adultos em relação aos atletas em idades pré ou circumpubertárias¹. No estudo de Reis et al.²⁹ com crolistas Portugueses o C_E foi também superior ao verificado no presente estudo. Nesse estudo os autores avaliaram o C_E durante uma prova supramáxima de 200m crol, seguindo a mesma metodologia que foi usada no presente estudo. É possível que o facto da distância de prova ter sido menor tenha contribuído para um maior C_E por metro percorrido. Todavia, o C_E quando expresso por metro percorrido não é necessariamente muito sensível à velocidade de deslocamento. Assim, é mais provável que os nadadores avaliados naquele estudo apresentassem uma economia de nado pior do que os que foram avaliados no presente estudo. Segundo Holmér¹¹ e Millet e Candau¹⁴ a variação do C_E depende, de factores externos (ligados ao atrito, à gravidade e às cargas adicionais) e factores mecânicos (ligados à velocidade, à frequência de ciclo e à musculatura utilizada na actividade física) e ainda depende, principalmente da habilidade técnica⁵. A massa e a superfície do nadador aumentam o C_E ⁷ enquanto altos valores de fluabilidade diminuem o C_E ^{11,7}. Por outro lado, a envergadura foi demonstrada que influencia directamente o C_E ⁸ e, foi demonstrado ainda que, em nadadores

com pesos iguais, o que possuir maior envergadura será mais económico e também, que os fundistas são mais económicos que os velocistas, independente da velocidade nadada. Para determinar a influência da fluabilidade e da densidade corporal no custo energético de nado, Onodera²³, formaram dois grupos de sujeitos, elaborados a partir da percentagem de gordura corporal, grupo L=13.5% e grupo H=24.7%, o que permitiria também analisar a influência da percentagem de gordura no custo energético de nado. Os sujeitos realizaram quatro testes de 10min a 70% da velocidade de $\dot{V}O_{2máx}$, num ergómetro aquático. Os parâmetros avaliados que determinariam o custo energético foram o $\dot{V}O_2$ e a frequência cardíaca. Os resultados obtidos demonstram que à medida que a fluabilidade da água aumenta, o custo energético de nado diminui, pela respectiva diminuição dos valores de $\dot{V}O_2$ e de frequência cardíaca. Assim, existem inúmeros factores não avaliados no presente estudo que podem ter influenciado os valores encontrados para o C_E .

Associação entre variáveis

Embora os nadadores, na prova submáxima, tenham apresentado maiores velocidades, de acordo com o protocolo (n patamares de 400m, com acréscimos de velocidade), os valores de lactatemia não apresentaram correlações significativas entre os valores máximos de velocidade e a velocidade da prova submáxima, levando-nos a pensar que os valores de lactatemia são inerentes a cada nadador, estando submetido às características fisiológicas individuais e não correspondem directamente ao aumento de velocidade. Segundo Billat³ a estabilização da máxima lactatemia

é definida como a máxima concentração de lactato e carga que consegue ser mantida ao longo do tempo sem acumulação progressiva de lactato sanguíneo. Relativamente ao $\dot{V}O_{2\max}$, são poucos os estudos que referem o valor exacto da concentração de lactato, destacando apenas o valor médio de 4 mmol/L e de uma amplitude muito larga (2-7mmol/L) e a sua especificidade individual (Billat, 2003). De acordo com Alves¹ o crol tem sido, tradicionalmente utilizado como a técnica para a maior parte do desenvolvimento aeróbio do nadador. A ser verdadeiro e, referente à média da velocidade máxima na prova submáxima obtida pelos nadadores (VM^{sub}), identificámos que quanto maior foi a velocidade do nadador, maior percentagem aeróbia foi utilizada e, conseqüentemente menor percentagem anaeróbia. Estes resultados sugerem que, nos nadadores estudados, em velocidades até $\approx 1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, o metabolismo aeróbio assegura a maior parte da produção energética. Os resultados obtidos na prova supramáxima (prova simulada de 400m) confirmaram esta tendência. Com efeito, a velocidade média nesta prova ($1.28\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\pm 0.04$) foi quase igual à verificada no último patamar da prova submáxima ($1.27\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\pm 0.06$) e também se verificou uma predominância da produção de energia aeróbia ($92.85\%\pm 7.57$). O $\dot{V}O_{2\max}$ do último patamar da prova submáxima demonstrou que os nadadores, que na prova submáxima apresentaram valores superiores de O_2 , foram aqueles que também apresentaram valores superiores de O_2 no teste supramáximo. Ou seja, a prova de 400m tem uma duração que determina que os nadadores com valores mais elevados de $\dot{V}O_{2\max}$ possuam uma maior possibilidade de atingi-

rem, nesta distância, também valores elevados de $\dot{V}O_{2\max}$. Apesar dos valores não serem significativos entre o $\dot{V}O_{2\max}$ e a VM^{sub} , foi encontrada uma relação positiva entre as variáveis, tal como era esperado. A falta de significado estatístico nesta associação poderá ser explicada pela reduzida dimensão da amostra, já que o coeficiente de correlação obtido foi de 0.63. Anteriormente, Reis et al.²² descreveram uma associação positiva entre a prestação nos 200m crol e o máximo consumo de oxigénio de nadadores Portugueses. A correlação negativa entre o $DefO_2Ac$ e a $V4$ demonstrou que os nadadores que apresentaram maiores valores de $V4$. Este resultado seria de esperar pois espelha o tipo de especialização metabólica resultante das adaptações ao treino. Sabe-se que é difícil, em sujeitos treinados, desenvolver simultaneamente as aptidões aeróbias e anaeróbias. A velocidade média na prova supramáxima não se correlacionou significativamente com nenhuma variável. Estudos anteriores Reis et al.²¹ também não observaram associações entre a prestação na prova simulada de 200m bruços e a respectiva contribuição dos sistemas energéticos aeróbio e anaeróbio. Assim, parece que na amostra estudada, outros factores além dos indicadores fisiológicos que foram medidos poderão determinar as diferenças de rendimento na prova de 400m. Por outro lado, a reduzida dimensão da amostra também poderia explicar a ausência de significado estatístico nas associações que foram investigadas. Os restantes coeficientes de correlação foram baixos ou muito baixos. Num estudo com nadadores Portugueses de crol, foi encontrada uma relação positiva e significativa entre a máxima lac-

tatemia pós-esforço e a prestação numa prova simulada de 200m crol em que os sujeitos usavam a válvula Aquatrainer acoplada³¹. Também é de admitir a possível interferência de factores antropométricos na prestação em natação, nomeadamente a altura, envergadura e a massa gorda ou magra dos nadadores. Assim, no presente estudo, das variáveis antropométricas avaliadas, apenas a massa gorda total se correlacionou com a velocidade média na prova simulada de 400m ($r=0.78$; $p\leq 0.05$), não se verificando qualquer efeito significativo da altura ou envergadura. Sabemos por exemplo, que nas situações de maior flutuabilidade na água, a área frontal que o nadador apresenta ao deslocamento fica reduzida, uma vez que as pernas do nadador flutuam melhor, permitindo-lhe manter uma posição hidrodinâmica mais bem definida e como tal, mais vantajosa e económica²³. Curiosamente, Carneiro et al.⁴ num estudo com nadadores Portugueses verificaram resultados inversos. Assim, verificaram uma correlação negativa entre a velocidade média em prova simulada de 200m crol (nadando com a válvula Aquatrainer) e a massa gorda, enquanto que a massa magra e a envergadura se associaram positiva e significativamente com essa mesma velocidade média. Os mesmos autores verificaram associações da mesma natureza e nas mesmas variáveis quando o estudaram nadadores brucistas durante uma prova simulada de 200m bruços. Em conclusão, a utilização da válvula Aquatrainer acoplada ao nadador parece interferir com a resposta fisiológica do nadador durante o nado Crol, podendo diminuir o valor dos indicadores de produção de energia anaeróbia por



comparação com a situação real de competição. Nestes indicadores incluem-se o défice de oxigénio acumulado, a fracção de energia anaeróbia e a acumulação de lactato no sangue. Com efeito, não é ainda conhecido o efeito da utilização desta válvula na diminuição da velocidade de nado para uma mesma carga interna. Assim, futuros estudos deverão investigar este efeito na tentativa de o quantificar. O custo energético do nado apresentou valores que encontram consistência na literatura o que nos leva a sugerir que a metodologia usada pode ser aconselhável para avaliação da economia de nado. Basicamente, tendo em consideração os constrangimentos verificados durante o nado, a velocidades mais elevadas, talvez o método seja mais adequado para avaliação da economia de nado a intensidades submáximas. A correlação negativa encontrada entre a V_4 e o $DefO_2Ac$ confirmam que a especialização metabólica dos atletas determina a sua resposta ventilatória e indicam que o método que foi usado é sensível a essa mesma especialização.

REFERÊNCIAS

1. Alves, F. (2004). O nadador jovem: crescimento e maturação. Seminário Internacional "O treino do jovem nadador". Viseu: ESEV.
2. Bassett, D.; Howley, E.; Thompson, D.; King, G.; Strath, S.; McLaughlin, J.; Parr, B. (2001). Validity of inspiratory and expiratory methods of measuring gas exchange with a computerized system. *J Appl Physiol* 91:218-224, 2001.
3. Billat, V.; Sirvent, P.; Py, G.; Koralsztein, J.; Mercier, J. (2003). The concept of maximal lactate steady state. A bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sport Med*, 3(6):407-426.
4. Carneiro, A.; Reis, V.; Silva, A.; Ávila, W. (2006). Características antropométricas de nadadores portugueses dos estilos bruços e crol e sua associação com a prestação na prova de 200 metros. *Actas do I Congresso Carioca de Educação Física*, Rio de Janeiro, FIEP.
5. Carzola, G.; Montpetit, R. (1988). Metabolic and cardiac responses of swimmers, modern pentathletes and water polo players during free-style swimming to a maximum. In: Ungerechts, B.E.; Wilk, K.; Reische, K. (eds.), *Swimming Science V*: 251-257. Human Kinetics Publishers. Champaign, Illinois.
6. Caty, V.; Rouard, A.; Hintzy, F.; Aujouannet, Y.; Molinari, F.; Knafnitz, M. (2006). Time-frequency parameters of wrist muscles EMG after an exhaustive Freestyle test. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. (ed.) Revista Portuguesa de Ciências do Desporto. Volume 6, Supl. 2; 28-30.
7. Chatard JC, Lavoie JM & Lacour JR (1990). Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *Eur Appl Physiol*, 61:88-92.
8. Chatard, J.C., Lavoie, J.M. e Lacour, J.R. (1991). Energy cost of front-crawl swimming in women. *Eur J Appl Physiol*, 63:12-6.
9. D'Acquisto; Troup, J.; Holmberg, S. (1991). Stroke related differences in economy as a result of long course and flume swimming. In: J. M. Cameron (ed.), *Aquatic Sports Medicine* 199:98-101. Farrand Press, London.
10. Di Prampero, P.; Pendergast, D.; Wilson, D.; Rennie, D. (1974). Energetics of swimming in man. *J Appl Physiol* 37:1-5.
11. Holmér I (1974). Physiology of swimming man. *Acta Physiologica Scandinavica*. Supplementum 407; 20-25; 38-39.
12. Ito, S.; Okuno, K. (2003). A Fluid dynamical consideration for arm-stroke in swimming. In: J-C Chatard (ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, (pp 39-44). Saint-Etienne: Universite Jean Monnet Saint-Etienne (Publications de l'Université de Saint-Étienne), Saint-Etienne, France.
13. Keskinen, K. (2006). State of the art on swimming physiology and coaching practice: bridging the gap between theory and practice. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. (eds.) Revista Portuguesa de Ciências do Desporto. Volume 6, Supl. 2; pp. 285-287.
14. Kjendlie PL, Frank Ingjer F, Madsen Ø, Stallman RK e Stray-Gundersen J (2004a). Differences in the energy cost between children and adults during front crawl swimming. *Eur J Appl Physiol*, 91: 473-480.
15. Kjendlie PL, Frank Ingjer F, Stallman RK e Stray-Gundersen J (2004b). Factors affecting swimming economy in children and adults. *Eur J Appl Physiol*, 93:65-74.
16. Mazza, J.; Alárcon, N.; Galasso, C.; Cosolito, P.; Bermudez, C. (2003). Estudio comparativo entre testes específicos y no específicos para investigar la potencia aeróbica y anaeróbica en nadadores. *PubliCE Standard*. Pid: 181.
17. Medbø, J.; Mohn, A.; Tabata, I.; Bahr, R.; Vaage, O.; Sejersted, O. (1988) Anaerobic capacity determined by maximal accumulated oxygen deficit. *J Appl Physiol* 64:50-60.
18. Millet GP e Candau RB (2002). Facteurs mécaniques du coût énergétique dans trois locomotions humaines. *Science&Sports*,17:166-76.

19. Ogita, F.; Hara, M.; Tabata, I. (1996). Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta Physiol Scand*, 157, 435-441.
20. Ogita, F.; Onodera, T.; Tabata, I. (1999). Effect of hand paddles on anaerobic energy release during supramaximal swimming. *Med Sci Sports Exerc*: 31 5), 729-735.
21. Ogita, F.; Onodera, T.; Tamaki, H.; Toussaint, H.; Hollander, P. e Wakayoshi, K. (2003). Metabolic Profile During Exhaustive Arm Stroke, Leg Kick and Whole Body Swimming Lasting 15s to 10min. In: J-C Chatard (ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, (pp 361-366). Saint-Etienne: Universite Jean Monnet Saint-Etienne (Publications de l'Université de Saint-Étienne), Saint-Etienne, France.
22. Ogita, F.; Tanaka, T.; Tamaki, H.; Wagatsuma, A.; Hamaoka, T.; Toussaint, H. (2006). Metabolic and mechanical characteristics of female gold medalist. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. (ed.) Revista Portuguesa de Ciências do Desporto. Volume 6, Supl. 2;194-197.
23. Onodera, S.; Miyachi, M.; Yano, H.; Yano, L.; Hoshijima, Y.; Harada, T. (1999). Effect of buoyancy and body density on energy cost during swimming. In: Keskinen, K.; Komi, P.; Hollander, A. P. (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, pp. 355-358. Department of Biology of Physical Activity - University of Jyväskylä. Finland.
24. Pendergast, D.; Capelli, C.; Craig Jr A.; di Prampero P.; Minetti, A.; Mollendorf, J.; Termin, A.; Zamparo, P. (2006b). *Biophysics in swimming*. In: Book of Abstracts of the Xth International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming. (eds.) Revista Portuguesa de Ciências do Desporto. Volume 6, Supl. 1; 15-16.
25. Platanou, T.; Geladas, N. (2006). The influence of competitiveness on mach exercise intensity in elite water polo players. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. (ed.) Revista Portuguesa de Ciências do Desporto. Volume 6, Supl. 2;163-165.
26. Poujade, B.; Hautier, C.; Rouard, A. (2003). Influence of morphology, $O_{2m\acute{a}x}$ and energy cost on young swimmers' performance. *Science & Sports*; 18; 182-187.
27. Reis, V. (2003). Estimation of the Accumulated Oxygen Deficit during treadmill running: a study on the effects of resting oxygen uptake, exercise intensities above the lactic threshold and treadmill inclination on the oxygen uptake-speed regression. Doctoral Dissertation, Vila Real, UTAD.
28. Reis, V.; Carneiro, A. (2006a). Deficit de Oxigénio acumulado e produção de energia anaeróbica. *Treinamento Desportivo*. 7(1) (epub ahead).
29. Reis, V.; Carneiro, A. (2006b). Metodologia de estimativa do Deficit de Oxigénio Acumulado. *Rev Bras Ciência Mov*. 13(3).7-15.
30. Reis, V.; Carneiro, A.; Aidar, F.; Silva, A.; Ávila, W.; Reis, A. (2006b). Associação do pico de vo_2 e da máxima produção de lactato com a prestação na prova de 200 metros crol. Actas do Congresso Internacional de Atividade Física, Saúde e Esporte, Rio de Janeiro, COBRASE.
31. Reis, V.; Silva, A.; Carneiro, A.; Fernandes, Filho J. (2006a). Associações entre a produção energética, indicadores cinemáticos e a prestação nos 200m de nado peito. *FIEP Bulletin*. 76 (supp): 636.
32. Reis, V.; Silva, A.; Reis, A.; Garrido, N.; Moreira, A.; Carneiro, A.; Marinho, D.; Neto, S. (2006c). Assessment of submaximal and supramaximal swimming energy cost in crawl and breaststroke swimmers. In Vilas-Boas JP, Marques A, Alves FB. (Eds): *Book of Abstracts of the Xth International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming*. Porto, Portugal. p. 55.
33. Rodriguez, F.; Mader, A (2003). Energy metabolism during 400 and 100-m crawl swimming: computer simulation based on free swimming measurement. In: J-C. Chatard (ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, pp. 373-378. University of Saint-Etienne. Saint-Etienne, France.
34. Silva, A.; Reis, V.; Reis, A.; Garrido, N.; Moreira, A.; Carneiro, A.; Alves, F. (2006). Associations between energy release and performance in a supramaximal effort of 200m in crawl. In Vilas-Boas JP, Marques A, Alves FB. (Eds): *Book of Abstracts of the Xth International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming*. Porto, Portugal. p. 59.
35. Thanopoulos, V.; Dopsaj, M.; Nikolopoulos, A. (2006). The relationship of anthropomorphological characteristics of crawl sprint swimmers of both genders with critical speed at 50 and 100M. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. (ed.) Revista Portuguesa de Ciências do Desporto. Volume 6, Supl. 2; pp. 107-109.
36. Zamparo, P.; Pendergast, D.; Termin, B.; Minetti, A. (2002). How fins affect the economy and efficiency of human swimming. *J Experim Biol* 205, 2665-2676.