

AUTORES:Valdir Rodrigues R Junior ^{1, 2, 3}Alexandre Igor A Medeiros ³João Paulo Vilas-Boas ^{1, 2}Rui Manuel Nunes Corredeira ⁴Daniel John Daly ⁵Ricardo Jorge P Fernandes ^{1, 2}¹ Centro de investigação, Formação, Inovação e Intervenção (CIFI2D), Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Portugal² Laboratório de Biomecânica do Porto (Labiomep), Universidade do Porto, Portugal³ Instituto de Educação Física e Esportes, Universidade Federal do Ceará, Brasil⁴ Centro de Investigação em Atividade Física, Saúde e Lazer (CIAFEL), Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Portugal⁵ Universidade Católica de Leuven, Bélgica<https://doi.org/10.5628/RPCD.18.01.66>**RESUMO**

Foram avaliados os fatores bioenergéticos e biomecânicos nas intensidades moderada e severa em nadadores paralímpicos. Oito nadadores deficientes motores realizaram um protocolo incremental intermitente de 6x200 m crawl, com 30s de intervalo e incrementos de 0.05m.s⁻¹. O consumo de oxigênio foi determinado usando um analisador portátil de gases telemétrico e amostras de sangue capilar foram colhidas para análise das concentrações de lactato. As variáveis cinemáticas foram avaliadas através da gravação de vídeo utilizando câmaras de visão frontal e subaquática. A comparação entre o limiar anaeróbio e o consumo máximo de oxigênio para os determinantes de desempenho no nado foi obtida utilizando as diferenças de médias estandardizadas. Os valores dos dados metabólicos e ventilatórios foram superiores no domínio severo comparativamente a intensidades de nado moderadas. As variáveis biomecânicas gerais frequência gestual e distância de ciclo relacionaram-se inversamente, existindo um aumento da primeira variável (enquanto a segunda diminuiu) com a velocidade de nado. A variação intracíclica da velocidade apresentou valores superiores na intensidade moderada quando comparada com a intensidade de severa. Os resultados parecem corroborar o facto do limiar anaeróbio não ser apenas uma transição fisiológica, mas também biofísica pois a técnica dos nadadores avaliados modificou-se substancialmente a partir dessa intensidade de nado.

Correspondência: Valdir Rodrigues Ramos Junior. Grupo de Pesquisa em Biodinâmica do Movimento Humano, Instituto de Educação Física e Esportes, Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hull, Parque Esportivo, Bloco 320, Campus do Pici, CEP 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil. telefone: 55 (85) 98875.6590. email: valdir.desporto@gmail.com

Determinantes biofísicos de desempenho de nadadores com deficiência motora

PALAVRAS CHAVE:

Fisiologia. Biomecânica. Natação.

Deficiência Motora.

SUBMISSÃO: 2 de Dezembro de 2017

ACEITAÇÃO: 20 de Março de 2018

Biophysical determinants of performance in swimmers with motor disabilities

ABSTRACT

This study aimed to evaluate bioenergetic and biomechanical factors at moderate and severe swimming intensities in swimmers with motor disability. Eight motor disabled swimmers performed a 6 x 200 m front crawl intermittent incremental protocol, with a 30 s interval and increments of 0.05 m.s⁻¹ between each repetition. Oxygen uptake was recorded using a portable telemetric analyser. Capillary blood samples were collected for lactate analysis. Kinematic variables were evaluated by video analysis using frontal and underwater cameras. Comparison between anaerobic threshold and maximal oxygen uptake to determine front crawl performance was obtained through standardized mean differences. Results have showed that the metabolic and ventilatory variables were higher at the severe exertion comparing to moderate swimming. The general biomechanical parameters stroke frequency and stroke length were inversely related, being observed an increase of the former (and a decrease of the latter) with the rise of swimming velocity. Intracycle velocity variation presented higher values in the moderate intensities when compared with the severe intensities. Overall data supports the fact that the anaerobic threshold seems not to be only a physiologic transition but also a biomechanical one since swimmers' technique changed substantially after that swimming boundary.

KEYWORDS:

Physiology. Biomechanics.

Swimming. Motor disability.

INTRODUÇÃO

Na natação competitiva, a performance está diretamente relacionada com a capacidade do nadador em gerar propulsão suficiente para superar as forças de resistência hidrodinâmica (Toussaint & Beek, 1992), percorrendo uma distância pré determinada no menor tempo possível. Na técnica de nado *crawl*, as forças propulsivas são geradas pelas ações combinatórias e coordenadas dos movimentos dos membros superiores e inferiores do nadador, sendo dependentes de sua técnica individual (Seifert, Chollet, & Bardy, 2004).

Tradicionalmente a investigação científica no campo da natação pura desportiva tem incidido em dois aspetos importantes: os bioenergéticos, utilizando métodos que envolvem o estudo dos componentes fisiológicos necessários ao deslocamento no meio aquático (Pendergast et al., 2003) e os biomecânicos, usando métodos que se interessam pela compreensão dos determinantes cinemáticos (Fernandes, Sousa, Machado, & Vilas-Boas, 2011). De facto, e segundo os referidos autores, a combinação dos aspetos bioenergéticos, como o consumo de oxigénio e as concentrações de lactato sanguíneo, e cinemáticos, nomeadamente a frequência gestual e a distância de ciclo, desempenham um papel decisivo na locomoção na natação e são de fundamental importância para a evolução do desempenho e obtenção de bons resultados esportivos.

Relativamente à natação paralímpica, é sabido que a classificação funcional divide os nadadores em um conjunto de classes. Diversos fatores sustentam essa classificação, nomeadamente a força muscular, a coordenação de movimentos, as faixas de movimentos comuns e o comprimento dos membros. Essas limitações físicas e motoras impõem diferentes capacidades propulsivas, seja pela ausência de um ou mais segmentos corporais, como pela falta de movimento de uma ou mais superfícies propulsivas, o que pode resultar em desvantagens no equilíbrio corporal na água, aumento do custo energético e trabalho mecânico necessários ao deslocamento no meio líquido (Figueiredo, Willig, Alves, Vilas-Boas, & Fernandes, 2014; Prins & Murata, 2008).

Apesar de encontrarmos na literatura vários estudos que caracterizam os fatores influenciadores do rendimento dos nadadores sem deficiência (Fernandes et al., 2010; Martin & Whyte, 2000), pesquisas que analisem os parâmetros fisiológicos envolvendo nadadores com deficiência motora são ainda escassas. Garatachea, Abadía, García-Isla, González-Gallego e Paz (2006) estudaram a relação entre a velocidade crítica e a resistência aeróbia em nadadores com deficiência motora, tendo observado que essa intensidade de nado ocorreu próximo do valor correspondente às 4 mmol.L⁻¹ de lactatemia, corroborando os valores pioneiramente sugeridos por Mader, Heck e Hollman (1978) para determinar, avaliar e controlar o limiar anaeróbio de nadadores. Por outro lado, a literatura relativa aos estudos que analisam as variáveis biomecânicas com nadadores com deficiência motora é bem mais ampla (e.g., Lecrivain, Payton, Slaouti, & Kennedy, 2010; Osborough, Payton, & Daly, 2009).

A medição das concentrações de lactato sanguíneo obtidas durante um protocolo incremental é comumente utilizada para determinar o limiar anaeróbio individual e avaliar o nível de treinamento de desportistas em geral (Faude, Kindermann, & Meyer, 2009), nadadores de diferentes faixas etárias (Fernandes et al., 2010, 2011) e triatletas (Martin & Whyte, 2000). No entanto, alguns estudos na área da natação pura sugerem que o limiar anaeróbio não representa somente uma transição fisiológica mas também biomecânica (Keskinen & Komi, 1993), sendo um indicador biofísico. De facto, Figueiredo, Toussaint, Vilas-Boas e Fernandes (2013) observaram que as variáveis fisiológicas podem estar intimamente relacionadas com o comportamento de algumas variáveis biomecânicas de nado.

O objetivo do presente estudo foi avaliar os fatores bioenergéticos e biomecânicos nos domínios de intensidade moderado e severo em nadadores com deficiência motora. As hipóteses formuladas foram: (a) as respostas fisiológicas e biomecânicas em nadadores com deficiência motora diferem nas intensidades moderada e severa; e (b) as variáveis fisiológicas influenciam o comportamento das variáveis cinemáticas e, como consequência, o desempenho de nadadores com deficiência motora.

MÉTODO

AMOSTRA

Participaram no presente estudo oito nadadores masculinos com deficiência motora com 25.83 ± 2.93 anos de idade, 72.45 ± 9.26 kg de massa corporal e 1.79 ± 0.11 m de altura. Foram representadas, de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional, três classes funcionais: S6 (*n* = 1), S8 (*n* = 2) e S9 (*n* = 5). O nadador da classe S6 era lesionado medular com comprometimento total dos membros inferiores. Um dos nadadores da classe S8 apresentou amputação transumeral esquerda e o outro nadador apresentou má formação nas extremidades das mãos e pés. Na classe S9 três nadadores apresentaram desarticulação de uma das mãos, um nadador apresentou amputação transfemoral direita e o outro atrofia fibular muscular.

Todos os nadadores da amostra competiam há mais de cinco anos, realizando uma carga horária de treino semanal ≥ a 20 h. Os nadadores foram previamente informados acerca do protocolo experimental, tendo dado o seu consentimento por escrito para participar (no caso dos menores de idade o mesmo foi solicitado ao encarregado de educação). Todos os sujeitos estavam familiarizados com os procedimentos experimentais da testagem. Como os dados coletados fizeram parte das avaliações de controlo de treino dos nadadores ao longo da temporada (Winter & Maughan, 2009), não foi solicitada a aprovação do Comitê de Ética.

As sessões experimentais decorreram numa piscina de 25 m coberta e aquecida (27°C), com profundidade de 1.90 m e humidade relativa de 85%. Depois dos nadadores serem pesados (utilizando uma balança de bioimpedância InBody R20 Biospace Co, Ltd., Seoul, Korea) e medidos (com uma fita métrica convencional) realizaram um protocolo incremental intermitente de 6 x 200 m crawl, com 30 s de intervalo e incrementos de 0.05 m.s⁻¹ entre cada repetição de 200 m (Fernandes et al., 2011). A velocidade do último patamar foi estabelecida de acordo com o melhor tempo do momento de cada nadador aos 400 m crawl, sendo que a velocidade dos patamares anteriores foi calculada subtraindo-se 0.05 m.s⁻¹ à velocidade dos 200 m finais. Durante o protocolo foi utilizado um pacer visual composto por um sistema de luzes intermitentes colocado no fundo da piscina distantes entre si 1.5 m (Pacer2Swim, KulzerTec, Aveiro, Portugal), auxiliando os nadadores a manterem o ritmo de nado pré-definido.

Os dados ventilatórios foram registrados respiração-a-respiração, direta e continuamente através de um analisador portátil de gases telemétrico (K4b², Cosmed, Roma, Itália) conectado a um snorkel respiratório (AquaTrainer Snorkel[®], Cosmed, Roma, Itália; cf. Figura 1, painel esquerdo). A frequência cardíaca foi medida por telemetria através de um cardiofrequencímetro (Polar Vantage NV, Polar Eletro Oy, Kempele, Finlândia) ligado ao K4b². Para reduzir o ruído dos dados ventilatórios foram considerados apenas os valores de consumo de oxigénio situados entre a média \pm 4 DP sendo, posteriormente, suavizados usando uma média móvel de três respirações em períodos de 5 s (Fernandes & Vilas-Boas, 2012). Depois destes procedimentos, considerou-se a média correspondente ao último min de exercício como sendo o valor máximo obtido em cada patamar do protocolo incremental.

O consumo máximo de oxigénio foi considerado atingido de acordo com critérios fisiológicos primários e secundários, nomeadamente a ocorrência de um *plateau* (\leq 2.1 ml.kg⁻¹.min⁻¹) independentemente do eventual aumento da velocidade de nado, elevados valores de lactato sanguíneo (\geq 8 mmol.l⁻¹), elevado quociente respiratório ($R \geq 1$), elevada frequência cardíaca (superior a 90% dos valores teóricos máximos [220 - idade]) e exaustão visualmente perceptível (Howley, Bassett, & Welch, 1995). A intensidade de nado correspondente à velocidade mínima de nado a que foi atingido o consumo máximo de oxigénio foi aceite como sendo a correspondente ao patamar em que o consumo máximo de oxigénio foi alcançado (Fernandes & Vilas-Boas, 2012).

Amostras de sangue capilar do lóbulo auricular foram colhidas para análise das concentrações de lactato em repouso, nos intervalos entre patamares e aos 3, 5 e 7 min após o teste (CF. FIGURA 1, PAINEL DIREITO). As amostras foram analisadas através de um doseador de lactato portátil (Lactate Pro 1, Arkay, inc., Kyoto, Japão), sendo o limiar anaeróbio individual sido determinado através do método de modelação da curva lactatemia vs. velocidade, correspondendo ao ponto de interseção de duas regressões, uma linear e uma exponencial.



FIGURA 1. Recolhas do ar expirado e de sangue capilar imediatamente antes do início do protocolo experimental (painel esquerdo e direito, respetivamente)

Todos os sujeitos foram marcados com tinta preta em 18 pontos anatómicos nos lados direito e esquerdo do corpo: acrómio, epicôndilo umeral lateral, processo estilóide da ulna, trocânter femoral (superfície externa), epicôndilo femoral lateral, maléolo lateral, falange distal e hallux, enquanto o vértice da cabeça foi marcado com uma fita preta na touca de natação. Estes marcadores foram utilizados para melhorar a visualização da imagem, posterior digitalização e reconstrução em três dimensões (3D), tendo sido utilizados 18 pontos de referência em vez dos 21 pontos, normalmente usados e propostos por Zatsiorsky, Seluyanov, & Chugunova (1990). De acordo com esses autores, para a reconstrução 3D foram utilizados os percentuais de massa dos segmentos corporais e respetivas posições.

Para recolha de imagens foram utilizadas seis câmaras vídeo (Sony[®] HDR CX160E, Tóquio, Japão), operando numa frequência de 50 Hz, com uma velocidade de obturador eletrónico de 1/250. Quatro câmaras subaquáticas, protegidas por caixas à prova de água (Sony[®] SPK-CXB waterproof box, Tokyo, Japan), foram mantidas a 0.95 m abaixo da superfície da água e posicionadas a 5.00 e 0.60 m de distância das paredes frontais e laterais. As duas câmaras aéreas foram mantidas num suporte a uma altura de 2.50 m e posicionadas a 2.10 e 1.10 m frontal e lateral da piscina (de Jesus et al., 2016).

As imagens das seis câmaras foram registradas independentemente e os nadadores monitorados ao passar através do espaço anteriormente calibrado, utilizando um calibrador com 6.0 m de comprimento, 2.0 m de largura e 2.5 m de altura (de Jesus et al., 2016). A sincronização das imagens foi realizada utilizando um par de LEDs, visíveis por todas as câmaras, fixado ao volume de calibração sob e sobre a superfície da água. Para análise cinemática foram capturados vídeos de dois ciclos do nado *crawl* aos 175 m dos patamares do protocolo incremental selecionados (os correspondentes aos domínios de intensidade moderado e severo). Posteriormente, os vídeos foram tratados através do software *Ariel Performance Analysis System* (APAS - Ariel Dynamics,

San Diego, USA) utilizando uma frequência de 50 Hz. A reconstrução 3D da ação dos membros superiores foi feita através do procedimento *Direct Linear Transformation*.

PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS

Inicialmente foi utilizada estatística descritiva (médias e desvios padrão). A comparação entre o limiar anaeróbio e o consumo máximo de oxigênio (indicadores por excelência dos domínios moderado e severo) para os determinantes de desempenho no nado crawl (velocidade, lactato sanguíneo, consumo de oxigênio, frequência cardíaca, ventilação pulmonar, produção de dióxido de carbono, coeficiente respiratório, frequência gestual, distância de ciclo e variação intracíclica da velocidade) foi obtida utilizando as diferenças de médias estandarizadas. Adicionalmente, o tamanho do efeito foi analisado seguindo a seguinte escala: 0-0.2 (*trivial*), > 0.2 (*small*), > 0.6 (*moderate*), > 1.2 (*large*), e > 2.0 *very large* (Cohen, 1988). A possibilidade de se encontrarem diferenças entre as variáveis analisadas foram avaliadas qualitativamente pela seguinte escala: < 1%, *almost certainly not*; 1-5%, *very unlikely*; 5-25%, *unlikely*; 25-75%, *possible*; 75-95%, *likely*; 95-99%, *very likely*; >99%, *almost certain*. Quando os resultados de ambas as categorias (*better e poorer*) foram > 5%, a possibilidade real de haver diferenças foi classificada como *nuclear* (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009).

RESULTADOS

O quadro 1 apresenta os valores médios e respetivos desvios padrão das variáveis fisiológicas e cinemáticas avaliadas para dos domínios de intensidade de nado moderado e severo (obtidas nos patamares correspondentes ao limiar anaeróbio e ao consumo máximo de oxigênio).

QUADRO 1. Valores médios \pm desvios padrão das variáveis fisiológicas e biomecânicas obtidos para as intensidades de nado moderada e severa.

| VARIÁVEIS | LIMIAR ANAERÓBIO | CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO |
|---|------------------|----------------------------|
| Velocidade (m.s ⁻¹) | 1.04 0.17 | 1.15 0.18 |
| Lactato sanguíneo (mmol.l ⁻¹) | 2.52 1.13 | 6.08 1.57 |
| Consumo de oxigênio (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) | 38.19 7.25 | 47.81 8.04 |
| Frequência cardíaca (b.min ⁻¹) | 166.66 15.77 | 181.32 13.36 |
| Ventilação pulmonar (L.min ⁻¹) | 61.39 7.41 | 86.77 15.59 |
| Produção de dióxido de carbono (L.min ⁻¹) | 2192.79 378.92 | 2758.61 476.04 |
| Coeficiente respiratório | 0.91 0.09 | 1.11 0.20 |
| Frequência gestual (Hz) | 0.59 0.07 | 0.69 0.10 |
| Distância de ciclo (m) | 1.74 0.34 | 1.62 0.29 |
| Variação intracíclica da velocidade | 0.28 0.35 | 0.15 0.07 |

A Figura 2 apresenta as diferenças de médias estandarizadas, intervalos de confiança

(95%), tamanho do efeito e probabilidades das comparações para as variáveis fisiológicas e cinemáticas deste estudo. Os resultados apresentaram valores substancialmente mais elevados (tamanho do efeito *moderate-very large*) para as concentrações de lactato sanguíneo, consumo de oxigênio, frequência cardíaca, ventilação pulmonar, produção de dióxido de carbono, coeficiente respiratório e frequência gestual no domínio de intensidade

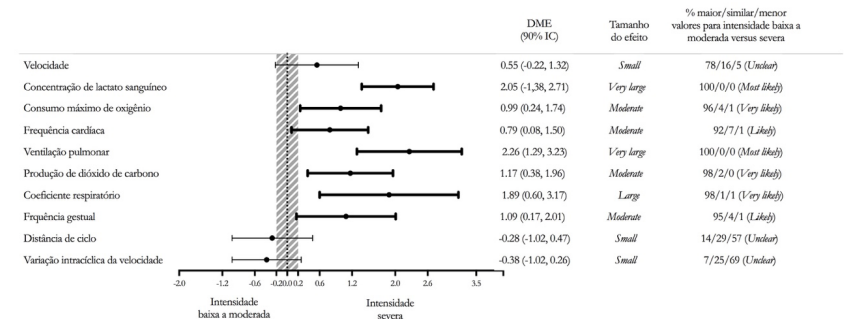


FIGURA 2. Diferenças de médias estandarizadas (DME), intervalo de confiança (IC 90%), tamanho do efeito e probabilidades das comparações entre as intensidades de nado moderada e severa.

DISCUSSÃO

O desempenho competitivo de nadadores paralímpicos tem sido alvo de algumas pesquisas que avaliaram variáveis biomecânicas (Dingley, Pyne, & Burkett, 2014; Marques-Aleixo, Querido, Figueiredo, Vilas-Boas, & Correia, 2013; Osborough et al., 2009) e fisiológicas (Garatachea et al., 2006). Entretanto, estudos que abordam conjuntamente estas variáveis (biomecânicas e fisiológicas) são raros. De facto, no âmbito da natação para sujeitos com deficiência motora só conhecemos um trabalho realizado na área de confluência da fisiologia e biomecânica, o qual avaliou apenas uma nadadora (Figueiredo et al., 2014). No presente estudo, os fatores bioenergéticos e biomecânicos foram avaliados para identificar sua influência nas intensidades de nado moderada e severa (utilizando os indicadores limiar aeróbio e consumo máximo de oxigênio) em nadadores com deficiência motora.

Os nadadores da presente amostra, embora fossem deficientes motores, pertencem a diferentes classes funcionais de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional. A avaliação dos indicadores limiar aeróbio e consumo máximo de oxigênio foi realizada em situação real de nado - em piscina - usando o teste incremental de 6 x 200 m. Este é um teste adaptado do anteriormente descrito para nadadores sem deficiência, sendo considerado válido para a obtenção de dados metabólicos e ventilatórios, e respetiva prescrição do treino (Fernandes et al., 2011).

Apesar de se verificarem velocidades de nado mais elevadas no domínio severo compa-

rativamente ao moderado, os valores obtidos são substancialmente menores, como o esperado, aos reportados na literatura para nadadores sem deficiência (Sousa et al., 2014). Este facto é justificado quer pelas limitações físicas (ausência de um ou mais segmentos corporais) que impõem restrições nas capacidades propulsoras, assim como desvantagens no equilíbrio corporal, padrão respiratório e alinhamento corporal (Dingley et al., 2014; Prins & Murata, 2008; Schega, Kunze, & Daly, 2006), quer pelo menor histórico de treino comparativamente aos nadadores sem deficiência. Os presentes valores foram superiores ao estudo de Figueiredo et al. (2014) realizado numa nadadora jovem, cuja idade (13 anos) e menor número de anos de prática são motivos suficientes para justificar as diferenças observadas.

Como o observado em estudos anteriores realizados em nadadores sem deficiência de vários escalões etários e níveis competitivos (e.g., de Jesus et al., 2014; Fernandes et al., 2010, 2011) e no estudo realizado com uma nadadora amputada de um membro superior (Figueiredo et al., 2014), os valores das variáveis metabólicas e ventilatórias aumentaram com o incremento da intensidade do nado, existindo valores inferiores de concentrações de lactato sanguíneo, consumo de oxigénio, frequência cardíaca, ventilação pulmonar, produção de dióxido de carbono e coeficiente respiratório no domínio moderado, comparativamente aos observados no domínio severo.

Estes factos parecem indicar que o protocolo progressivo 6 x 200 m foi usado adequadamente, sendo valido para se usar em sessões de avaliação de nadadores com deficiência motora e respetivo controlo do treino. De igual forma, sabendo-se que nadar a uma velocidade específica requer energia proveniente tanto do sistema aeróbio como anaeróbio (Figueiredo et al., 2013; Pendergast et al., 2003), a não contabilização de ambas as fontes de processamento de energia pode impactar na compreensão fisiológica do desempenho dos nadadores com (e sem) deficiência, pelo que a mensuração das concentrações de lactato sanguíneo e do consumo de oxigénio parece ser o procedimento ideal para a melhor compreensão de perfil fisiológico do nadador (cf. Figueiredo et al., 2013).

Assim, verificou-se que à medida que a intensidade de nado aumentava, sobretudo acima do limiar anaeróbio (onde a homeostasia celular não pode mais ser mantida), os valores da ventilação, produção de dióxido de carbono e quociente respiratório tinham um acréscimo significativo (cf. Harvey, 2011). No domínio de intensidade severo, há um acúmulo significativo de lactato no sangue e uma quantidade adicional de dióxido de carbono liberada, estimulando os quimiorreceptores periféricos e, por sua vez, a condução ventilatória (Bhambhani, 2002). Intimamente relacionada com o comportamento dos parâmetros metabólicos e ventilatórios avaliados está o aumento da frequência cardíaca com a elevação da velocidade de nado, atingindo valores superiores na intensidade severa, corroborando a literatura da especialidade mesmo a conduzida com nadadores sem deficiência (Fernandes & Vilas-Boas, 2012).

A medição das concentrações de lactato sanguíneo é um procedimento comum usado na natação para avaliar o nível de treinamento dos nadadores. A intensidade de exercício para uma concentração de 4 mmol.L⁻¹, proposta por Mader et al. (1978), foi considerada

durante várias décadas como sendo o momento a partir do qual os valores da lactatemia começam a aumentar exponencialmente. No entanto, no presente estudo, os valores das concentrações de lactato sanguíneo correspondentes ao domínio moderado (coincidentes com o limiar anaeróbio) são inferiores, corroborando estudos (Fernandes et al., 2011; Fernandes et al., 2010; Pyne et al., 2001) realizados com protocolos incrementais que não se limitem a duas distâncias de teste como o *two speed test* de Mader et al. (1978).

Entretanto, os valores da lactatemia correspondentes à intensidade severa de nado (i.e, obtidas no patamar onde aconteceu o consumo máximo de oxigénio), são inferiores aos encontrados para nadadores sem deficiência (de Jesus et al., 2014; Figueiredo et al., 2013; Reis, Alves, Bruno, Vleck, & Millet, 2012). Sabendo-se que estes valores estão intimamente relacionados com o tipo de treinamento (Burgomaster et al., 2008), estes achados podem justificar-se pelo facto dos nadadores da atual amostra, por ainda estarem num período de treino de base, serem treinados sobretudo em intensidades baixas a moderadas, utilizando uma progressão da carga mais focada no aumento do volume do que da intensidade.

Complementarmente, considerando que na natação adaptada cada nadador apresenta deficiências com diferentes graus de severidade e conseqüente afetação das capacidades funcionais, e sabendo que a lactatemia está relacionada com a musculatura ativa no exercício (Ohkuma & Itoh, 1992), pode-se suspeitar que a morfologia dos nadadores das classes inferiores (mais comprometidas funcionalmente) pode comprometer a ativação neuromuscular comparativamente às classes superiores (De Aymerich et al., 2010). Por outro lado, a menor capacidade de aplicação de força, associada a atrofia muscular, perda de massa óssea e muscular, tipo de lesão e nível de amputação (comprimento residual do membro), leva os nadadores com deficiência motora a ter dificuldade em manter o esforço.

Relativamente aos parâmetros biomecânicos gerais, os nadadores da presente amostra demonstraram menor frequência gestual à intensidade moderada, incrementando-a ao longo do protocolo, sendo mais evidente esse aumento no domínio de intensidade severo. De facto, para atingirem velocidades mais elevadas, os nadadores com deficiência motora se socorrem do aumento da frequência gestual para incrementar o seu ritmo de nado e, desse modo, compensarem a ausência ou debilidade dos seus segmentos propulsivos (Osborough et al., 2009; Prins & Murata, 2008). Em oposição, foram observados valores inferiores da distância de ciclo no domínio severo, onde parece ser evidente que, comparativamente a intensidades baixas a moderadas, a capacidade dos nadadores para produzirem e aplicarem força para superar a resistência hidrodinâmica aumentada está diminuída (Dingley et al., 2014).

Também é de salientar que, em nadadores com deficiência motora, há uma diminuição da área propulsiva e a existência de assimetrias corporais (causadas pelo comprometimento parcial ou total dos segmentos propulsivos), obrigando-os a aumentar o esforço para manutenção do equilíbrio horizontal e o alinhamento corporal. Esse facto poderá comprometer a amplitude horizontal alcançada por ciclo de membros superiores. As características inerentes à deficiência motora já descritas, assim como o nível desportivo (e histórico de

treino) menor dos nadadores da presente amostra parecem também explicar os valores menores quer de frequência gestual quer de distância de ciclo comparativamente a nadadores sem deficiência de nível desportivo elevado.

Por último, sabendo-se que a avaliação da variação intracíclica da velocidade tem sido utilizada para melhor compreender os fatores limitantes do desempenho na natação pura desportiva (Vilas-Boas, Fernandes, & Barbosa, 2010), procurou-se analisar os nadadores do presente estudo também no que se refere às oscilações que a velocidade apresenta em cada ciclo de nado, isto é, desde que um ciclo de membros superior se inicia até ao seu final (ou seja, entre entradas consecutivas da mesma mão). Assim, ao longo do protocolo incremental, observaram-se valores superiores desta variável à intensidade moderada comparativamente com o domínio severo de nado.

De facto, para conseguirem obter maiores velocidades de nado, os nadadores reorganizam a sua técnica de nado de crawl procurando minimizar os momentos mais resistivos, tornando-a aparentemente mais eficiente (Alberty et al., 2008). Quando comparados com outras populações, observaram-se: (a) valores semelhantes aos encontrados para nadadores com síndrome de Down a intensidades de nado moderadas (Marques-Aleixo et al., 2013); (b) valores semelhantes aos encontrados para nadadores recreativos, com evidente menor proficiência técnica que aqueles de maior nível desportivo (Schnitzler, Seifert, Alberty, & Chollet, 2010) no domínio severo; e (c) maiores oscilações ao longo do protocolo incremental comparativamente a nadadores de bom nível desportivo, os quais conseguem manter valores de variação intracíclica da velocidade mais constantes mesmo a intensidades de nado dispare (Schnitzler et al., 2010).

CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo indicam haver uma interdependência entre os parâmetros fisiológicos e biomecânicos analisados, os quais são relevantes e influenciam diretamente o desempenho de nadadores com deficiência motora durante o nado *crawl*. Os dados obtidos podem ser úteis e contribuir para que os intervenientes da área da natação adaptada, nomeadamente ao nível da natação paralímpica, possam melhor avaliar e controlar o processo de treino, visando a melhoria da performance esportiva. Como as intensidades de nado moderada e severa são das zonas mais privilegiadas e importantes em situação de treino e competição (respetivamente), o desenvolvimento mais objetivo e criterioso do limiar anaeróbio e consumo máximo de oxigénio dos nadadores paraolímpicos possuidores de deficiência motora permitir-lhes-á aceder a futuros níveis superiores de desempenho.

AGRADECIMENTOS

Esta investigação foi financiada pelo programa de bolsas de doutorado pleno no exterior (CAPES-MEC, Brasil) processo (11926/13-9).

- Alberty, M., Potdevin, F., Dekerle, J., Pelayo, P., Gorge, P., & Sidney, M. (2008). Changes in swimming technique during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rates. *Journal of Sport Sciences*, 26(11), 1191-1200.
- Bhambhani, Y. (2002). Physiology of wheelchair racing in athletes with spinal cord injury. *Sports Medicine*, 32(1), 23-51.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *Journal of Physiology*, 586(1), 151-160.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum: Hillsdale.
- De Aymerich, J., Benavent, J., Tella, V., Colado, J. C., González, L., Garcia-Massó, X., & Madera, J. (2010, June). *Analysis of aerobic/anaerobic performance in functionally disabled swimming: Low classes vs. high classes*. Paper presented at the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine, Oslo, Norway.
- de Jesus, K., Guidetti, L., de Jesus, K., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. J. (2014). Which ate the best VO₂ sampling intervals to characterize low to severe swimming intensities? *International Journal of Sports Medicine*, 35(12), 1030-1036. doi:10.1055/s-0034-1368784
- de Jesus, K., Sanders, R., Jesus, K., Ribeiro, J., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. (2016). The effect of intensity on three-dimensional kinematics and coordination in front crawl swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(6), 768-775.
- Dingley, A. A., Pyne, D., & Burkett, B. (2014). Dryland bilateral hand-force production and swimming performance in paralympic swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 35(11), 949-953. doi:10.1055/s-0033-1364023
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts. *Sports Medicine*, 39(6), 469-490.
- Fernandes, R., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 32(12), 940-946. doi:10.1055/s-0031-1283189
- Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. P. (2012). Time to exhaustion at the VO₂max velocity in swimming: A review. *Journal of Human Kinetics*, 32, 121-134.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Pinheiro, A., Vilar, S., Colaço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Assessment of individual anaerobic threshold and stroking parameters in swimmers aged 10-11 years. *European Journal of Sport Sciences*, 10(5), 311-317.
- Figueiredo, P., Toussaint, H., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Relation between efficiency and energy cost with coordination in aquatic locomotion. *European Journal of Applied Physiology*, 113(3), 651-659. doi:10.1007/s00421-012-2468-8
- Figueiredo, P., Willig, R., Alves, F., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2014). Biophysical characterization of a swimmer with a unilateral arm amputation: A case study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1050-1053. doi:10.1123/ijsp.2013-0438
- Garatachea, N., Abadía, O., García-ísla, F., González-Gallego, J., & Paz, J. (2006). Determination and validity of critical swimming velocity in elite physically disabled swimmers. *Disability and Rehabilitation*, 28(24), 1551-1556.
- Harvey, J. (2011). A review: Analyzing how VO₂ kinetics limit exercise performance. *Journal of Exercise Physiology*, 14(3), 68-73.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-12.
- Howley, E., Bassett, D., & Welch, H. (1995). Criteria for maximal oxygen consumption uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(9), 1292-1301.
- Keskinen, K., & Komi, P. V. (1993). Strokin characteristics of front crawl swimming during exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 219-226.
- Lecrivain, G., Payton, C., Slaouti, A., & Kennedy, I. (2010). Effect of body roll amplitude and arm rotation speed on propulsion of arm amputee swimmers. *Journal of Biomechanics*, 43(6), 1111-1117. doi:10.1016/j.jbiomech.2009.12.014
- Mader, A., Heck, H., & Hollman, W. (1978). Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of post exercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle-distance runners and swimmers. In F. Landry & W. Orban (Eds.), *Exercise Physiology* (pp. 187-200). Miami, FL: Symposia Specialists.
- Marques-Aleixo, I., Querido, A., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Corredeira, R. (2013). Intracyclic velocity variation and arm coordination assessment in swimmers with down syndrome. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 30(70-84).
- Martin, L., & Whyte, G. (2000). Comparison of critical swimming velocity and velocity lactate threshold in elite triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 366-368.
- Ohkuma, T., & Itoh, H. (1992). Bood lactate, glycerol and catecholamine in arms strokes, leg kicks and whole crawl strokes. *Journal of Sport Medicine and Physical Finesst*, 32, 32-38.
- Osborough, C., Payton, C., & Daly, D. (2009). Relationships between the front crawl stroke parameters of competitive unilateral arm amputee swimmers, with selected anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25, 304-312.
- Pendergast, D. R., Zamparo, P., Di Prampero, P. E., Capelli, C., Cerretelli, P., & Termin, A. (2003). Energy balance of human locomotion in water. *European Journal of Applied Physiology*, 90, 377-386.
- Prins, J., & Murata, N. (2008). Stroke mechanics of swimmers with permanent physical *Palaestra*, 24(1), 19-25.
- Pyne, D., Lee, H., & Swanwick, K. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(2), 291-297.
- Reis, J., Alves, F., Bruno, P., Vleck, V., & Millet, G. P. (2012). Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1689-1697.
- Schega, L., Kunze, K., & Daly, D. (2006). *Simulation of functional restrictions in swimmers with disabilities*. Paper presented at the First International Symposium Sciences and Practices in Swimming, France.
- Schnitzler, C., Seifert, L., Alberty, M., & Chollet, D. (2010). Hip velocity and arm coordination in front crawl swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 31(12), 875-881.
- Seifert, L., Chollet, D., & Bardy, B. G. (2004). Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl. A dynamic analysis. *Journal of Sport Sciences*, 22(7), 651-660.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Pendergast, D., Kjendlie, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. (2014). Critical evaluation of oxygen uptake assessment in swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 190-202.
- Toussaint, H., & Beek, P. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13(1), 8-24.
- Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R., & Barbosa, T. (2010). Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance and training in swimming. In L. Seifert, D. Chollet, & I. Mujika (Eds.), *World book of swimming: From science to performance* (Series Sports and Athletics Preparation, Performance, and Psychology). Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.
- Winter, E. M., & Maughan, R. J. (2009). Requirements for ethics approvals. *Journal of Sports Sciences*, 27(10), 985.
- Zatsiorsky, V. M., Seluyanov, V. N., & Chugunova, L. G. (1990). Methods of determining mass-inertial characteristics of human body segments. In G. Chemy & S. Regier (Eds.), *Contemporary problems of biomechanics* (pp. 272-291). Moscow, Russia: Mir Publishers; Boca Raton, FL: CRC Press.