

RESPOSTAS DE LACTATO, ESFORÇO PERCEBIDO, FREQUÊNCIA CARDÍACA, TRIPTOFANO, PROLACTINA E ÁCIDOS GRAXOS À SÉRIE DE NATAÇÃO NA VELOCIDADE CRÍTICA¹

MS. MARCOS FRANKEN

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano,
Escola Superior de Educação Física, Universidade Federal do
Rio Grande do Sul (Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil)
E-mail: marcos_franken@yahoo.com.br

ESP. FABIO CARLOS ALVES LIMA

Treinador de Natação, Grêmio Náutico União
(Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil)
E-mail: fabiolima-81@hotmail.com

MS. PRISCILA NICOLAO MAZZOLA

Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Bioquímica),
Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal do
Rio Grande do Sul (Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil)
E-mail: primazzola@gmail.com

MS. JOCELITO BIJOLDO MARTINS

Faculdade SOGIPA de Educação Física; Faculdades Integradas
São Judas Tadeu; Faculdade da Serra Gaúcha
(Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil)
E-mail: martins.jocelito@gmail.com

MS. BRUNO COSTA TEIXEIRA

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano,
Escola Superior de Educação Física, Universidade Federal do
Rio Grande do Sul (Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil)
E-mail: brunoct100@hotmail.com

1. Este trabalho contou com financiamento do CNPq, como bolsa de mestrado e verba para aquisição de materiais de pesquisa via Edital Universal.

DR. CARLOS SEVERO DUTRA FILHO

Departamento de Bioquímica, Instituto de Ciências Básicas da Saúde,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil)
E-mail: dutra@ufrgs.br

DR. FLÁVIO ANTÔNIO DE SOUZA CASTRO

Departamento de Educação Física, Escola Superior de Educação Física,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil)
E-mail: souza.castro@ufrgs.br

RESUMO

O estudo avaliou, na intensidade de 100% da velocidade crítica (VC), o comportamento de concentração de lactato sanguíneo ([LA]), esforço percebido (EP), frequência cardíaca (FC), concentrações plasmáticas de triptofano [TRP], de prolactina ([PRL]) e de ácidos graxos livres ([AGL]). Catorze nadadores realizaram dois protocolos distintos: 1) repetições de 200 e 400 m, em máxima intensidade (V200 e V400) para a determinação da VC; 2) série VC (repetições de 400 m), com intervalos de 40 s. Os principais resultados foram: (1) [TRP] e [AGL] não apresentaram diferenças entre repouso e exaustão ($p > 0,05$); (2) aumento da [PRL], da [LA], da FC e do EP ($p < 0,05$) ao longo da série VC. Assim o aumento da [PRL] pode indicar manifestação de fadiga central na intensidade correspondente à VC.

PALAVRAS-CHAVES: Nado crawl; treinamento; triptofano; prolactina.

INTRODUÇÃO

Em natação, dentre os métodos empregados para a avaliação da condição fisiológica, destaca-se a velocidade crítica (VC), a partir do conceito de potência crítica (PC) (MONOD; SCHERRER, 1965; FRANKEN; ZACCA; CASTRO, 2011). A VC pode ser definida como a mais alta intensidade sustentada por um período sem alcançar o máximo consumo de oxigênio (VO_{2max}) em carga constante, ou seja, situa-se no limite inferior da zona de intensidade severa de exercício físico (FRANKEN; ZACCA; CASTRO, 2011; DEKERLE *et al.*, 2010). Em resposta ao exercício físico realizado na intensidade da VC, aumentos contínuos na concentração de lactato sanguíneo ([LA]), no consumo de oxigênio (VO_2) e na frequência cardíaca (FC) têm sido observados durante testes realizados em cargas retangulares, e os tempos para exaustão registrados variaram entre 18 e 60 min (DEKERLE *et al.*, 2010; RIBEIRO; LIMA; GOBATTO, 2010).

Na natação, encontrou-se aumento da [LA], da FC e do esforço percebido (EP) em série de treinamento de cinco repetições de 400 m com repouso passivo de 90 s (WAKAYOSHI *et al.*, 1993; RIBEIRO; LIMA; GOBATTO, 2010) sob

intensidade da VC. Contudo, Dekerle *et al.* (2010) encontraram estabilização da [LA] com aumento do EP. Assim, devido à contradição dos achados destes estudos (WAKAYOSHI *et al.*, 1993; DEKERLE *et al.*, 2010; RIBEIRO; LIMA; GOBATTO, 2010), em particular nas respostas da [LA] durante a realização de exercício físico de longa duração em intensidade correspondente a VC, os fatores desencadeantes da fadiga ainda não são completamente entendidos.

Fadiga é um fenômeno multifatorial, que pode ser periférica ou central (ALLEN; LAMB; WESTERBLAD, 2008). Em situações de fadiga central durante o exercício físico, principalmente, ocorrem alterações na atividade de alguns neurotransmissores e nas concentrações plasmáticas de aminoácidos, tais como a diminuição dos níveis plasmáticos de aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA) e aumento da concentração plasmática de triptofano ([TRP]) (GARRET; KIRKENDALL, 2003; BLOMSTRAND, 2006). A prolactina é também considerada indicador de fadiga central, ainda que neurônios seritoninérgicos e dopaminérgicos, no tronco cerebral, estimulam e inibem a secreção de prolactina, respectivamente (WRIGHT *et al.*, 2012). Ainda, a síntese e a liberação de prolactina estão associadas ao aumento da temperatura interna do corpo, fenômeno este associado a exercício físico executado de forma extenuante (STRÜDER; WEICKER, 2001).

Quando o exercício físico aumenta de duração, há aumentos da concentração plasmática de ácidos graxos livres ([AGL]) e de [TRP], já que [AGL] e [TRP] competem pelos mesmos sítios de ligação na albumina sanguínea (BLOMSTRAND, 2006). Barchas e Freedman (1963) verificaram, em ratos, aumento da concentração de serotonina no cérebro, depois de nadarem até a exaustão. Blomstrand *et al.* (1989) e Chaouloff (1997) confirmam estes resultados em estudos também com animais. Por outro lado, não há evidências sobre a síntese e liberação de serotonina cerebral em situações de fadiga e exaustão, assim a relação causa-efeito entre triptofano-serotonina-fadiga é ainda incerta (NYBO *et al.*, 2003).

O aumento das catecolaminas circulantes no sangue está relacionado à maior oxidação de piruvato e mobilização de ácidos graxos livres em exercícios prolongados. Isto deve ocorrer em função da intensidade de exercício, já que uma maior mobilização de ácidos graxos livres e glicerol pode ser observada quando da elevação discreta das catecolaminas, geralmente em intensidades próximas a 70% do $VO_{2\max}$. Durante intensidades constantes iguais ou acima do segundo limiar ventilatório, parece haver um incremento *progressivo nas catecolaminas em cargas com duração entre 24 e 50 minutos* (Poole *et al.*, 1990). Ainda, resultados de Baker *et al.* (2006) indicam que os marcadores seritoninérgicos não são afetados em um exercício físico de alta intensidade e duração de 30 s, e que a fadiga central não é um fator limitante no exercício realizado nesta situação, o que pode não ser o caso

quando o exercício físico de alta intensidade for realizado de forma intermitente com séries múltiplas.

O EP é um importante marcador para o controle da duração e da intensidade do exercício físico. Em relação ao modelo de fadiga central, há lacunas sobre os modelos para avaliar aspectos sensoriais do exercício. Em uma visão alternativa, Marcora, Staiano e Manning (2009) afirmaram que o EP é produzido na forma de impulsos motores, como uma resposta eferente do córtex motor sensitivo e esta resposta pode ser modulada pela atividade mental e estados de humor favoráveis e desfavoráveis sobre as situações (MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009). Estudos neste tema, tem tido grande interesse no papel dos neurotransmissores, como a dopamina, a serotonina e a acetilcolina, como responsáveis pela ocorrência da fadiga central (BLOMSTRAND *et al.*, 1991; DAVIS *et al.*, 1992). Atualmente, marcadores centrais de fadiga foram avaliados em diferentes situações, como em exercícios físicos envolvendo a ingestão de aminoácidos e de carboidratos (BLOMSTRAND, 2006; FERNSTROM, 2005; CHEUVRONT *et al.*, 2004), mas, na natação, com seres humanos, este estudo parece ser o primeiro a avaliar marcadores centrais de fadiga ao longo de uma série de treinamento.

Como a maioria das séries de treinamento intervalado que tem como objetivo a melhora da potência e da capacidade aeróbia, em natação, são realizadas muito próximas à VC (DEKERLE *et al.* 2010), questiona-se se existe alteração no comportamento do EP, da [TRP], bem como da [LA] em série de treinamento realizada a 100% da VC até a ocorrência de exaustão. Deste modo, o objetivo deste estudo foi comparar as respostas de [LA], da FC, do EP, da [TRP], da [PRL] e da [AGL] em série de treinamento intervalado de natação no percentual de 100% da VC no nado crawl até a exaustão. Este estudo difere-se dos anteriormente citados que encontraram diferentes respostas fisiológicas para [LA] e EP na intensidade correspondente a VC em nadadores treinados, em relação à medida dos marcadores [TRP], [PRL] e [AGL], que podem fornecer informações mais precisas sobre o estresse induzido. Hipotetizou-se que [TRP], [PRL] e [AGL] estariam incrementadas ao final da série teste e tais alterações poderiam ser relacionadas à exaustão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Participaram do estudo 14 nadadores meio-fundistas e fundistas (média \pm desvios padrão: idade: $21,1 \pm 7,3$ anos; estatura: $179,6 \pm 6,7$ cm; envergadura: $186,3 \pm 8,1$ cm; massa corporal: $74,2 \pm 7,0$ kg; percentual do recorde mundial nos 400 m nado livre = $77,4 \pm 4,6\%$, em piscina de 25 m), do sexo masculino, participantes de campeonatos de nível nacional e internacional, especialistas em

provas de 400, 800 ou 1500 m nado livre e águas abertas, vinculados à Confederação Brasileira de Desportos Aquáticos. Todos os nadadores apresentavam, no mínimo, quatro anos de experiência competitiva e treinavam, pelo menos, 12 horas semanais na respectiva modalidade, com volume de treino entre 35.000 e 80.000 m por semana. Foi recomendado aos nadadores que reduzissem os níveis de exercício físico por um período mínimo de 24 horas e a abster-se do consumo de qualquer substância contendo álcool e/ou cafeína nas 12 horas anteriores a cada uma das avaliações que foram realizadas.

Todos os testes foram realizados em piscina de 25 m (média \pm desvios padrão: temperatura da água $29,5 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$; temperatura do ar $24,2 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$) e, no mesmo horário do dia, entre as 14 e as 18 horas, a fim de minimizar o efeito da variação circadiana na performance (ATKINSON; REILLY, 1996). Antes das avaliações, os participantes foram informados de todos os procedimentos metodológicos, e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido concordando com a participação no estudo. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição onde foi realizado, sob parecer número 17367.

FAMILIARIZAÇÃO COM A ESCALA DE 15 PONTOS DE BORG

Anteriormente às coletas, os nadadores passaram por três a cinco sessões de familiarização com a escala de 15 pontos de Borg (BORG, 1982), durante seus treinamentos. A escala era apresentada aos participantes ao longo das sessões de treino, em exercícios de diferentes intensidades e distâncias (que variaram entre 100, 200, 400 e 800 m), quando os nadadores atribuíam um valor numérico na escala correspondente ao seu EP no instante solicitado. Como a escala possui atributos verbais ao lado dos números, facilitava a escolha, pois a relação entre os atributos verbais e os valores numéricos aprimora o hábito do indivíduo em usar a escala (ex.: 6 - sem nenhum esforço; 19 - extremamente intenso).

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE CRÍTICA

Para a determinação da VC foram registrados os tempos para a realização de repetições de 200 (t200) e 400 m (t400) (DEKERLE *et al.*, 2002) na máxima intensidade em piscina de 25 m. As repetições t200 e t400 foram realizadas em ordem aleatória e separadas por, no mínimo, 24 horas, com saída de dentro da piscina e posteriormente a aquecimento de 800 m, realizado livremente pelos participantes. Os dados de distância e tempo foram plotados em um modelo de regressão linear, o que resultou numa reta cujo coeficiente angular de sua equação

foi assumido como a VC individual (WAKAYOSHI et al., 1992a). Estudos anteriores já utilizaram duas distâncias na determinação da VC em nadadores (DEKERLE et al., 2002; WAKAYOSHI et al., 1992a).

Os nadadores registraram todas as bebidas e os alimentos consumidos no dia anterior e no dia até o horário da realização da série de treinamento. Paralelo à determinação da VC, foram calculados também os percentuais da velocidade da repetição de 400 m em máxima intensidade (V400).

SÉRIE DE TREINAMENTO INTERVALADO NA INTENSIDADE DA VELOCIDADE CRÍTICA

Após 48 horas de realização da segunda repetição em máxima intensidade para a determinação da VC, os participantes realizaram série de treinamento intervalado até a ocorrência de exaustão em intensidade de VC. Foi solicitado aos participantes que realizassem o maior número possível de repetições de 400 m na velocidade preestabelecida (individualizada), com intervalos de 40 segundos de repouso passivo. Após a primeira e a última repetição de 400 m, os indivíduos reportaram o EP de forma geral por meio da escala de 15 pontos de Borg e foram registradas a FC e a [LA]. Já a [TRP], a [PRL] e a [AGL] foram determinadas em estado de repouso e no estado de exaustão.

A velocidade de nado foi controlada por meio de um pacer visual subaquático (*Technical Instrument for Cycle Observation, Porto Alegre, Brasil*) com flashes luminosos, controlados por software específico (resolução de 0,01 m.s⁻¹; variação possível entre 0,00 e 5,00 m.s⁻¹) e projetados de um tubo de plástico transparente de 24 m de comprimento, que foi fixado por contrapesos ao fundo da piscina contendo cabos e lâmpadas, estas colocadas a cada metro, que acendiam em determinado tempo, conforme a velocidade prescrita. Foi adotado como critério de ocorrência da exaustão, e conseqüente suspensão do teste, quando o nadador não conseguisse mais acompanhar os flashes luminosos. Esse critério foi adotado para que não ocorresse variação na intensidade ao longo da série. Na VC, os tempos médios totais até a ocorrência da exaustão (TTE) foram obtidos pela soma do tempo de esforço conforme o número de repetições realizadas, quando foram excluídos os intervalos de recuperação passiva após cada repetição.

Durante a série VC, para verificar a [LA], amostras de sangue da extremidade distal do dedo indicador da mão esquerda foram analisadas por um lactímetro portátil (*Accusport, Boehringer Mannheim, Alemanha*). A FC foi monitorada (*Polar modelo S810, Polar Electro Oy, Finlândia*) com o nadador na vertical, dentro da piscina, apoiado em um degrau, quando terminava a repetição de 400 m, quando era fixada a cinta

peitoral. Os indivíduos reportaram o EP de forma geral pela escala de 15 pontos de Borg (BORG, 1982). Foram considerados apenas os valores da [LA], da FC e do EP obtidos imediatamente após a primeira e a última repetição da série.

Da região antecubital do braço direito, foram coletados 5 ml de sangue utilizado para verificação de [TRP] e [AGL] no estado de repouso e de exaustão. Primeiramente, o sangue foi colocado em microtubos *Eppendorf* para centrifugação durante 10 minutos à velocidade de 1000 g e temperatura de 20°C para a separação do plasma. Após, o plasma foi utilizado para mensuração da [TRP] pelo método de high-performance *liquid chromatography* (HPLC), de acordo com o método de Joseph e Marsden (1986). A análise foi realizada com coluna de fase-reversa de 18C (Restek) e detector de fluorescência utilizando orto-fataldeído e fluorocromo (*HPLC Shimadzu e detector de fluorescência Shimadzu RF-535*). Para a determinação da [AGL], foi utilizado o método enzimático colorimétrico de absorbância, com filtro verde (490 - 530 nm) (VELOSO; VEECH, 1975). Já a [PRL], em ng/ml, foi determinada pela técnica de imunoenensaio de quimiluminescência, pelo método de Ashby (1987). Foram distribuídos 25 μ l de amostra numa curvete, 100 μ l de reagente Lite e incubação durante 300 s na temperatura de 37°C e 450 μ l de fase sólida e incubação durante 150 s na temperatura de 37°C. Após separação, aspiração e lavagem dos curvetes com água reagente, foram distribuídos 300 μ l de reagente ácido e de reagente de base para iniciar a reação quimioluminescente. A [PRL] foi quantificada pelas unidades relativas de luz (RLUs), que são dois desvios padrão superiores à média de RLUs de 20 determinações de réplicas do padrão zero de prolactina.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após analisada a normalidade dos dados com a aplicação do teste de *Shapiro-Wilk*, foram calculadas as médias e desvios padrão. A comparação entre os valores de [LA], EP e FC obtidos após as repetições inicial e final e de [TRP], da [PRL] e de [AGL] obtidos no repouso e na exaustão, na série VC foi realizada pelo teste t de Student para dados pareados. Para a análise temporal de correlação das medidas, foi utilizado o teste de correlação intraclasses (ICC) entre os momentos (inicial e exaustão ou repouso e exaustão). Ao passo que EP produziu muitos resultados similares e sua distribuição não foi paramétrica, para testar a correlação entre o EP e a [TRP], a [PRL] e a [LA], foi utilizado o teste tau de Kendall. Os cálculos foram realizados no programa SPSS v. 17.0, com o nível de significância adotado de 5%.

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os valores médios \pm DP da velocidade de nado da repetição de 200 m em máxima intensidade (V200), do percentual do recorde mundial dos 200 m nado livre (% recorde mundial 200 m), da velocidade de nado da repetição de 400 m em máxima intensidade (V400), do percentual do recorde mundial dos 400 m nado livre (% recorde mundial 400 m), da velocidade crítica (VC) e do percentual da V400 correspondentes a 100% da VC (%V400). O TTE foi de $16,60 \pm 9,06$ min (mínimo de 7,02 e máximo de 22,09 minutos) na série VC.

Tabela 1 - Valores médios e desvios padrão (DP) das velocidades de 200 m (V200) e 400 m (V400), dos percentuais dos recordes mundiais dos 200 e 400 m, da velocidade crítica (VC) e do percentual da V400 correspondente à VC (%V400) dos indivíduos; n = 14.

	V200 (m.s ⁻¹)	% recorde mundial 200 m	V400 (m.s ⁻¹)	% recorde mundial 400 m	VC (m.s ⁻¹)	%V400 (%)
Média	1,54	76,7	1,45	77,4	1,37	94,5
DP	0,07	3,6	0,08	4,6	0,10	1,5

A Figura 1 apresenta os valores de EP, [LA] e FC obtidos imediatamente após as repetições inicial (primeira repetição) e final (última repetição, na qual identificou-se a exaustão), e das [PRL] que foram obtidas em estado de repouso e após a última repetição de 400 m.

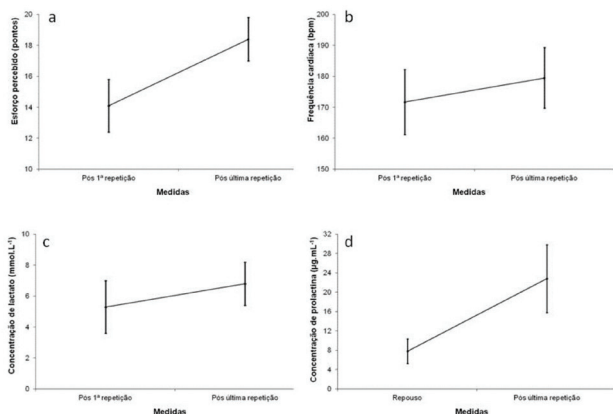


Figura 1 – Comparações entre as medidas obtidas pós primeira e última repetição dos valores de esforço percebido (a), frequência cardíaca (b) e concentração de lactato sanguíneo (c) e, entre o repouso e pós última repetição da concentração plasmática de prolactina (d); n = 14; diferenças foram observadas entre os dois momentos das quatro variáveis ($p < 0,05$).

Para o EP, a FC, a [PRL] e a [LA], entre as repetições inicial e final, identificaram-se aumentos significativos ($p < 0,05$) e associações significativas (EP: ICC = 0.663] -0.049; 0.892 [, F (13) = 2.969, $p = 0.030$; FC: ICC = 0.757] 0.242; 0.922 [, F (13) = 4.107, $p = 0.008$; [PRL]: ICC= 0,290]-0,263; 0,700[; F (13) = 1,818; $p = 0,147$ e [LA]: ICC = 0.625]-0.167; 0.880 [, F (13) = 2.669, $p = 0.044$). Para os valores médios da [TRP] ($15,0 \pm 3,6$; $14,0 \pm 3,5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) e da [AGL] ($136,0 \pm 59,7$; $140,1 \pm 75,7 \mu\text{M}$) não foram identificadas diferenças e associações entre o estado de repouso e após a ocorrência da exaustão, respectivamente. Ainda, na análise de correlação entre os valores do EP e a [TRP], a [PRL] e a [LA] nas repetições (inicial e final) na série VC, foi encontrada correlação significativa apenas entre o EP e a [LA] ($\text{tau} = 0,544$; $p = 0,013$).

DISCUSSÃO

Entre os principais achados do presente estudo, situam-se os aumentos significativos do EP, da [PRL], da [LA] e da FC na série de treinamento intervalado na intensidade correspondente à VC. No entanto, a [TRP] e a [AGL] não apresentaram diferença ao longo da série. Além disso, as respostas fisiológicas apresentadas na série de treinamento intervalado na intensidade correspondente à VC em um grupo de nadadores bem treinados (desempenho médio de $77,4 \pm 4,6\%$ do recorde mundial nos 400 m nado livre), caracterizam a VC no limite inferior do domínio de intensidade severa de exercício (DEKERLE *et al.*, 2010).

Em relação ao desempenho nos 200 e nos 400 m, o nível de performance das amostras do presente estudo foram superiores em comparação aos participantes do estudo de Dekerle *et al.* (2010), cujos objetivos eram similares. Estes apresentaram desempenho nos 200 e 400 m de $136,1 \pm 5,7$ s e $294,5 \pm 13,4$ s, respectivamente, em piscina de 25 m e percentual do recorde mundial dos 400 m nado livre de $73,1 \pm 3,4\%$, valores inferiores aos do presente estudo (Tabela 1).

Na série realizada na intensidade de VC, os indivíduos realizaram entre duas e cinco repetições até a ocorrência da exaustão, no qual o TTE médio foi de $16,60 \pm 9,06$ minutos. Estudo de Ribeiro *et al.* (2010) verificou, em série de treinamento realizada na intensidade de VC no nado crawl, valores de TTE médio de $21,0 \pm 3,1$ minutos para três indivíduos que não conseguiram realizar a série de cinco repetições de 400 m no percentual de 100% da VC, e um TTE médio de $32,0 \pm 1,3$ minutos para nove indivíduos restantes que alcançaram as cinco repetições de 400 m. Em outro estudo, Dekerle *et al.* (2010) encontraram o TTE médio de $48,9 \pm 14,1$; $24,3 \pm 7,7$; $8,6 \pm 3,1$ minutos nas séries a 95, 100 e 105% da VC, respectivamente, e de $53,9 \pm 2,7$ minutos na série de treinamento a 100% da VC.

Na presente pesquisa, os nadadores apresentaram TTE inferiores aos de outros estudos (DEKERLE *et al.*, 2010; RIBEIRO; LIMA; GOBATTO, 2010) que foram realizados com metodologias semelhantes. Este fato parece indicar que os participantes do presente estudo apresentaram menor tolerância ao esforço. Por outro lado, os participantes deste estudo possuíam maiores valores percentuais da V400 correspondentes à VC ($94,5 \pm 1,5\%$), quando comparado aos percentuais reportados por Dekerle *et al.* (2010) ($92,0 \pm 1,0\%$). Esta diferença se refletiu no valor médio da VC de $1,37 \pm 0,10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, maior que os reportados por Dekerle *et al.* (2005^a), Ribeiro, Lima e Gobatto (2010), Dekerle *et al.* (2010) e Pelarigo, Denadai e Greco (2011) de $1,31 \pm 0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1,27 \pm 0,07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1,25 \pm 0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1,30 \pm 0,08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente. Além disso, o método para definição da VC por duas distâncias (200 e 400 m) pode resultar em valor superestimado, o que leva os nadadores a nadar em percentuais mais elevados de esforço, mesmo que na VC (FRANKEN; ZACCA; CASTRO, 2011), diferentemente de Dekerle *et al.* (2010), que utilizaram 100, 200, 400 e 800 m. Assim a inclusão dos 800 m poderia levar a um mais baixo e mais tolerável valor de VC.

O EP, a [LA] e a FC apresentaram aumento entre as repetições inicial e final na série VC (Tabela 2), resultados semelhantes aos reportados por Ribeiro, Lima e Gobatto (2010), que encontraram incremento nos valores da [LA], da FC e do EP ao longo de cinco repetições de 400 m, com intervalos de repouso passivo de 90 s, na intensidade correspondente à VC ($1,27 \pm 0,07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) de nove nadadores competitivos. Por outro lado, o comportamento de EP, [LA] e FC não foram similares aos reportado por Dekerle *et al.* (2010), que encontraram incremento apenas do EP e estabilização da [LA] em uma série de 10 repetições de 400 m. Porém, apenas sete indivíduos conseguiram completar a série proposta por Dekerle *et al.* (2010), ou seja, a análise estatística foi realizada com $n = 7$, o que compromete a análise realizada. O incremento identificado da [LA] indica que não houve, na série, estado de equilíbrio entre a produção e a remoção de energia metabólica.

Não foram encontrados estudos que investigaram as respostas da [TRP], da [PRL] e da [AGL] em séries de treinamento intervalado na natação, portanto, a discussão dos resultados dos marcadores serotoninérgicos e metabólicos está baseada em estudos que foram realizados com humanos, porém, em exercícios de outras modalidades e em diferentes intensidades, o que pode limitar a análise. Estudos anteriores que investigaram as respostas da [TRP], da [PRL], da [AGL] e de outros marcadores sanguíneos em exercícios de alta intensidade apresentaram, após a realização em bicicleta ergométrica em máxima intensidade com duração de 30 s, valores similares da [PRL], diminuição da [TRP] e da [AGL], porém incrementos na [LA] e nas concentrações de adrenalina e de noradrenalina (BAKER *et al.*, 2006)

e, após duração de 60 minutos de forma intervalada, incrementos nos valores da [PRL] (HACKNEY; PREMO; McMURRAY, 1995).

Os valores similares encontrados da [TRP] entre o início e o final da série em VC podem estar relacionados aos valores similares da [AGL], e o comportamento de incremento dos valores da [PRL] podem ser explicados pela duração do exercício que levou à maior demanda de contribuição de energia aeróbia e foram suficientes para alterar os valores da [PRL]. De acordo com os achados de Blomstrand (2006) e Baker *et al.* (2006), a manutenção das respostas da [TRP] na VC no presente estudo pode ser explicada pelo comportamento do aminoácido triptofano na sua forma livre não ter levado vantagem na barreira hematoencefálica em relação aos outros aminoácidos de cadeia ramificada (BCAAs), o que não aumentou o seu influxo no cérebro. Isso pode explicar porque foram identificadas alterações na [PRL], refletindo uma atividade cerebral inalterada em resposta ao comportamento do triptofano e dos BCAAs em exercícios de alta intensidade.

Assim, como a [PRL] foi a única variável serotonérgica que apresentou incremento significativo ao longo da série VC, pode ser considerada um marcador de fadiga central na realização de série de treinamento intervalado na intensidade correspondente à VC na natação. Em exercícios de longa duração, a serotonina estimula a liberação de prolactina pela glândula hipófise e a [PRL] é considerada como um marcador de atividade serotonérgica central (MEEUSEN *et al.*, 2001; PITSILADIS *et al.*, 2002). Ainda, no exercício de longa duração realizado com hipertermia, está associado a ocorrência de hiperprolactinemia, o que indica que os neurônios serotonérgicos são ativados sob tais condições (MEEUSEN *et al.*, 2001; PITSILADIS *et al.*, 2002). Uma limitação dos estudos com seres humanos, devido às questões éticas, é a incerteza em relação à captação de triptofano cerebral, o que torna impossível de avaliar se alterações nos níveis da [TRP] tem o efeito esperado no equilíbrio do triptofano no cérebro (NYBO; SECHER, 2004). São necessários mais estudos que verifiquem e consigam investigar respostas definitivas sobre a relação entre o equilíbrio do triptofano cerebral e a instalação do processo de fadiga. Ainda, como a [TRP], a [PRL] e a [AGL] são alteradas pela duração e intensidade do exercício, a forma do exercício realizado no presente estudo na série VC não foi suficiente para provocar alterações significativas da [TRP] e da [AGL].

O aumento do EP seria uma resposta ao aumento da atividade neuromotora eferente concomitante à sinalização da resposta dos distúrbios periféricos associados à depleção de fosfagênios e da acidose metabólica (CAFARELLI, 1982). Nakamura *et al.* (2005), observaram em treze indivíduos de ambos os sexos ($23,0 \pm 2,5$ anos), em percentuais superiores à VC, que o EP aumentava em função do tempo a uma taxa proporcional à intensidade na corrida aquática. O menor valor de correlação

($\tau = 0,544$) encontrado no presente estudo entre o EP e a [LA] pode ser explicado pelo papel do EP no controle da tolerância às demandas da intensidade do exercício: parece que nem sempre o EP pode aumentar em função do incremento da [LA] (acidose metabólica) em uma série de treinamento intervalado (ALBERTUS *et al.*, 2005; CREWE; TUCKER; NOAKES, 2008). Ou seja, a integração entre as informações provenientes dos diversos mecanismos fisiológicos e a experiência na modalidade esportiva, em relação à duração e à intensidade do exercício, refletem-se no comportamento do EP (ULMER, 1996; CREWE; TUCKER; NOAKES, 2008). Esses ajustes fisiológicos e estratégias de tolerância ao esforço produzem sinais sensoriais aferentes, que são capazes de alterar o EP. De acordo com Marcora, Staiano e Manning (2009), o incremento do EP pode ser modulado pela atividade mental e por níveis de estados psicológicos favoráveis ou adversos às situações dos indivíduos.

Nas demais análises, não foram encontradas correlações entre o EP e a [TRP] e a [PRL]. Estes resultados indicam que as respostas metabólicas da [TRP] e da [PRL] podem variar entre indivíduos conforme o estado de alimentação, psicológico e período de treinamento (DAVIS *et al.*, 1999; CREWE; TUCKER; NOAKES, 2008), o que pode justificar a ausência de níveis de correlações significativas entre o EP para com estas variáveis. Os baixos valores de ICC encontrados entre os valores de [TRP] indicam grande variabilidade deste parâmetro. Ou seja, seu comportamento foi diferenciado entre os indivíduos, ao passo que alguns aumentaram os valores, outros diminuíram, ocasionando o baixo valor de ICC. Por outro lado, as correlações significativas (EP, [LA] e FC), indicadas pela análise do ICC, indicam que houve comportamento mais homogêneo nessas variáveis ao longo da série: aqueles indivíduos que, após a primeira repetição, apresentavam um maior valor de [LA], em comparação aos outros participantes, mantinha esta posição ao final da série, em exaustão, por exemplo. Tal análise permite indicar que há um comportamento consistente nessas variáveis, ao longo do tempo, em nado na intensidade da VC, ao contrário da [TRP], da [PRL] e da [AGL].

CONCLUSÃO

A hipótese formulada para este estudo (incremento de [TRP], [PRL] e [AGL] em resposta à série na VC até a exaustão) foi parcialmente confirmada, já que apenas prolactina se mostrou aumentada ao final do exercício. Os resultados do presente estudo indicam que, em uma série de treinamento intervalado de natação em intensidade correspondente à velocidade crítica, há manutenção da [TRP] e da [AGL] e aumentos na [PRL], no EP, na [LA] e na FC, o que pode ser explicado pela intensidade e duração do exercício. A duração do exercício na intensidade

correspondente à VC foi suficiente para promover o aumento da [PRL], o que pode indicar manifestação de fadiga central nesta intensidade e duração. A intensidade avaliada, quando realizada em séries de treinamento de natação, não permite estado metabólico de equilíbrio. A análise do percentual da velocidade de 400 m correspondente a VC é extremamente importante quando se trata das respostas relacionadas à carga interna das sessões de treinamento intervalado na natação.

Responses of Lactate, Perceived Exertion, Heart Rate, Tryptophan, Prolactin and Fatty Acid in Swimming Series Held in Critical Speed

ABSTRACT: The study assessed, at the intensity of 100% of the critical speed (CS), the behavior of blood lactate concentration ([La]), rating of perceived exertion (RPE), heart rate (HR), plasma concentrations of tryptophan [TRP] of prolactin ([PRL]) and free fatty acids ([FFA]). Fourteen swimmers performed two protocols: 1) trials of 200 and 400 m at maximum intensity (V200 and V400) for the CS, 2) CS series (trials of 400 m), and rest intervals of 40 s. The main results were: (1) [TRP] and [FFA] did not differ between rest and exhaustion ($p > 0.05$), (2) increased [PRL], the [La], HR and RPE ($p < 0.05$) throughout the series CS. Thus the increase in [PRL] may indicate manifestation of central fatigue in intensity corresponding to the CS.

KEYWORDS: Front Crawl Stroke; Training; Tryptophan; Prolactin.

Respuestas de lactato, esfuerzo percibido, frecuencia cardíaca, triptófano, prolactina y ácidos grasos en serie de natación en la velocidad crítica

RESUMEN: Este estudio evaluó, en la intensidad del 100% de la velocidad crítica (CV), el comportamiento de la concentración de lactato en la sangre ([LA]), esfuerzo percibido (PE), frecuencia cardíaca (FC), concentración plasmática de triptófano [TRP], prolactina ([PRL]) y de ácidos grasos libres ([AGL]). Catorce nadadores realizaron dos protocolos: 1) repeticiones de 200 y 400 m en máxima intensidad (V200 y V400) para la determinación de la CV, 2) serie VC (repeticiones de 400 m), con intervalos de 40 s. Los principales resultados fueron: (1) [TRP] y [FFA] no fueran diferentes entre el descanso y el agotamiento ($p > 0,05$), (2) mayores [PRL], [LA], FC y EP ($p < 0,05$) a lo largo de la serie VC. Por lo tanto, el aumento de [PRL] puede indicar manifestación de fatiga central en la intensidad correspondiente a la VC.

PALABRAS CLAVE: Crol; entrenamiento; triptófano; prolactina.

REFERÊNCIAS

ALBERTUS, Y., et al. Effect of distance feedback on pacing strategy and perceived exertion during cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 37, p. 461–8, 2005.

ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms. *Physiological Review*, v. 88, p. 287–332, 2008.

ATKINSON, G.; REILLY, T. Circadian variation in sports performance. *Sports Medicine*, v. 21, n. 4, p. 292–312, 1996.

BAKER, J. S., et al. Changes in blood markers of serotonergic activity following high intensity cycle ergometer exercise. *Research Sports Medicine*, v. 14, p. 191-203, 2006.

BARCHAS, J. D.; FREEDMAN D. X. Brain amines: Response to physiological stress. *Biochemical Pharmacology*, v. 12, p. 1232-1235, 1963.

BLOMSTRAND, E., et al. Effect of sustained exercise on plasma amino acid concentrations and on 5- hydroxytryptamine metabolism in six different brain regions in the rat. *Acta Physiologica Scandinavica*, v. 136, p. 473–481, 1989.

BLOMSTRAND, E., et al. Administration of branched-chain amino acids during sustained exercise—effects on performance and on plasma concentration of some amino acids. *European Journal of Applied Physiology*, v. 63, p. 83–88, 1991.

BLOMSTRAND, E. A Role for Branched-Chain Amino Acids in Reducing Central Fatigue. *Journal of Nutrition*, v. 136, p.544-547, 2006.

BORG, G. A. V. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 14, p. 377-81, 1982.

CAFARELLI, E. Peripheral contributions to the perception of effort. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 14, p. 382-9, 1982.

CHAOULOFF, F. Effects of acute physical exercise on central serotonergic systems. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 29, p. 58–62, 1997.

CHEUVRONT, S. N. Branched-chain amino acid supplementation and human performance when hypohydrated in the heat. *Journal of Applied Physiology*, v. 97, p. 1275–1282, 2004.

CREWE, H.; TUCKER, R.; NOAKES, T. D. The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. *European Journal of Applied Physiology*, v. 103, p. 569–577, 2008.

DAVIS, J. M., et al. Effects of carbohydrate feedings on plasma free-tryptophan and branched-chain amino acids during prolonged cycling. *European Journal of Applied Physiology*, v. 65, p. 513–519, 1992.

DAVIS, J. M., et al. Effects of branched-chain amino acids and carbohydrate on fatigue during intermittent, high-intensity running. *International Journal of Sports Medicine*, v. 20, p. 309-14, 1999.

DEKERLE, J., et al. Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. *International Journal of Sports Medicine*, v. 23, p. 93-8, 2002.

DEKERLE, J., et al. Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine*, v. 26, p. 524-530, 2005a.

DEKERLE, J., et al. Characterising the slope of the distance–time relationship in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, v. 3, p. 365-370, 2010.

FERNSTROM, J. D. Branched-chain amino acids and brain function. *Journal of Nutrition*, v. 135, p. 1539–1546, 2005.

FRANKEN, M.; ZACCA, R.; CASTRO, F. A. S. Velocidade crítica em natação: fundamentos e aplicação. *Motriz*, v. 17, n. 1, p. 209-222, 2011.

GARRET, W. E.; KIRKENDALL, D. T. A Ciência do Exercício e dos esportes. Porto Alegre: Artmed; 2003.

HACKNEY, A. C.; PREMO, M. C.; McMURRAY, R. G. Influence of aerobic versus anaerobic exercise on the relationship between reproductive hormones in men. *Journal of Sports Science*, v. 4, p. 305–311, 1995.

HEATHER, E., et al. Peripheral markers of central fatigue in trained and untrained during uncompensable heat stress. *European Journal of Applied Physiology*, v. 112, p. 1047–1057, 2012.

JOSEPH, M. H.; MARSDEN, C. A. *Aminoacids and small peptides*. In: Lim CK, editor. HPLC of small peptides. Oxford: IRL Press; p. 13–27, 1986.

MARCORA, S. M.; STAIANO, W.; MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, v. 106, n. 3, p. 857-864, 2009.

MEEUSEN, R., et al. Exercise performance is not influenced by a 5-HT reuptake inhibitor. *International Journal of Sports Medicine*, v. 22, p. 329–336, 2001.

MONOD, H.; SCHERRER, J. The work capacity of synergic muscle groups. *Ergonomics*, v. 8, p. 329-338, 1965.

NAKAMURA, F. Y., et al. Utilização do esforço percebido na determinação da velocidade crítica em corrida aquática. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 11, p. 1-5, 2005.

NYBO, L., et al. Association between fatigue and failure to preserve cerebral energy turnover during prolonged exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, v. 179, p. 67–74, 2003.

NYBO, L.; SECHER, N. H. Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. *Progress Neurobiology*, v. 72, p. 223–261, 2004.

PITSILADIS, Y. P., et al. Hyperprolactinaemia during prolonged exercise in the heat: evidence for a centrally mediated component of fatigue in trained cyclists. *Experimental Physiology*, v. 87, p. 215–226, 2002.

POOLE, D. C.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology*, v. 59, p. 421-429, 1990.

RIBEIRO, L. F. P. R.; LIMA, M. C. S.; GOBATTO, C. A. Changes in physiological and stroking parameters during interval swims at the slope of the d-t relationship. *Journal of Science and Medicine in Sport*, v. 13, n. 1, p. 141-145, 2010.

STRÜDER, H. K.; WEICKER, H. Physiology and pathophysiology of the serotonergic system and its implications on mental and physical performance. Part I. *International Journal of Sports Medicine*, v. 22, p. 467-81, 2001.

ULMER, H. V. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. *Experientia*, v. 52, p. 416-420, 1996.

VELOSO, D.; VEECH, R. L. Enzymatic determination of long-chain fatty acyl-CoA. *Methods Enzymology*, v. 35, p. 273-278, 1975.

WAKAYOSHI, K., et al. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *European Journal of Applied Physiology*, v. 64, p. 153-7, 1992a.

Recebido em: 21 jan. 2013

Aprovado em: 25 out. 2013

Endereço para correspondência:

Marcos Franken

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Rua Felizardo 750 – Jardim Botânico – Porto Alegre / RS 90690-200