



Comportamento de variáveis fisiológicas em atletas de nado sincronizado durante uma sessão de treinamento na fase de preparação para as Olimpíadas de Atenas 2004

Marina Guimarães Antunes Pazikas^{1,2}, Andréa Curi¹ e Marcelo Saldanha Aoki^{2,3}

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar o comportamento de variáveis fisiológicas durante uma sessão de treino de nado sincronizado realizada na fase de preparação para as Olimpíadas de Atenas 2004. **Materiais e métodos:** A amostra utilizada foi constituída pelo dueto (24 ± 0 anos) representante do Brasil em Atenas 2004. A coleta de dados foi realizada durante uma sessão de treinamento com duração de 198 minutos. O treino se iniciou com a parte física, seguida da parte técnica. Para a determinação da glicemia e da concentração de β-hidroxibutirato foi utilizado o monitor *Optium*[®] com suas respectivas tiras. As concentrações de cortisol e das enzimas lactato desidrogenase (LDH) e creatina quinase (CK) foram determinadas por radioimunoensaio (DPC[®]) e kits comerciais (CELM[®]), respectivamente. O acompanhamento da frequência cardíaca (FC) foi realizado com o freqüencímetro *Advantage Polar*[®]. **Resultados:** Foi observada redução (~2%) do peso corporal. A glicemia também apresentou queda (~30%) em comparação ao valor obtido no início do treino. Em contrapartida, foi observada elevação na concentração de cortisol (salivar 22% e plasmática 29%) e de β-hidroxibutirato (~340%). Não foi observada alteração significativa na concentração plasmática de CK e de LDH. O acompanhamento da FC demonstrou que dos 198 minutos que constituíram a sessão de treino, 36,5 ± 0,7 minutos foram realizados em intensidade leve; 103,5 ± 0,7 minutos em intensidade moderada, 54,0 ± 2,1 minutos em intensidade alta e 4,0 ± 0,0 minutos em intensidade muito alta. **Conclusões:** A perda de peso indica que a reposição hídrica não foi adequada. A redução na glicemia e o aumento na concentração de corpos cetônicos e de cortisol reforçam a importância da suplementação de carboidrato durante o treino de longa duração. O comportamento da FC demonstra que a sessão de treinamento foi realizada em uma intensidade moderada, porém com breves momentos de intensidade alta, nos quais foram realizadas as rotinas.

ABSTRACT

Behavior of physiological variables in synchronized swimming athletes during a training session preparing for the Athens 2004 Olympic Games

The purpose of this study was to evaluate the behavior of physiological variables during a synchronized swimming training session performed in athletes preparing for the Athens 2004 Olympic Games.

Materials and methods: *The sampling used was constituted by the duet (24 ± 0 years) who was representing Brazil in the Athens 2004 Olympic Games. Data collection was performed during a 198*

1. Clube Paineiras do Morumbi, SP, Brasil.
2. Laboratório de Fisiologia do Exercício, Faculdade de Educação Física, UniFMU-SP, Brasil.
3. Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, SP, Brasil.

Recebido em 17/5/05. Versão final recebida em 9/8/05. Aceito em 5/9/05.

Endereço para correspondência: Prof. Dr. Marcelo Saldanha Aoki, Prédio 20 – Faculdade de Educação Física – UniFMU, Laboratório de Fisiologia do Exercício, Rua Galvão Bueno, 707, Liberdade – 01506-000 – São Paulo, SP. E-mail: saldanha@fmu.br

Palavras-chave: Glicemia. Cortisol. Corpos cetônicos. CK. LDH. Frequência cardíaca. Nado sincronizado.

Keywords: *Glycemia. Cortisol. Ketonic bodies. KC. LDH. Heart rate. Synchronized swimming.*

Palabras-clave: *Glicemia. Cortisol. Cuerpos cetonicos. CK. LDH. Frecuencia cardiaca. Nado sincronizado.*

*minute training session. The training started with the physical portion, followed by the technical portion. In order to determine the glycemia and the β-hydroxybutyrate, it was used an Optium[®] monitor with its respective stripes. The cortisol and the dehydrogenase lactate enzymes (LDH), concentrations, as well as the kinase creatine (KC) concentration were determined through the radioimmunoassay (RIA[®]) and through commercially available kits (CELM[®]), respectively. The follow-up of the heart rate (HR) was performed using an Advantage Polar[®] heart rate monitor. **Results:** It was noted a reduction (~2%) in the body weight. The glycemia also presented a fall (~30%) compared to the value attained in the beginning of the training session. Otherwise, it was observed an elevation in the cortisol concentration (salivary, 22%, and plasmatic, 29%) and in the β-hydroxybutyrate (~340%). No significant changes in the plasmatic concentration of the KC and LDH were observed. The follow-up of the HR showed that from all 198 minutes of the training session, 36.5 ± 0.7 minutes were performed at a light intensity; 103.5 ± 0.7 minutes at a moderate intensity, 54.0 ± 2.1 minutes at a high intensity, and 4.0 ± 0.0 minutes at a very high intensity. **Conclusions:** The weight loss indicates that the hydric reposition was not adequate. The reduction in the glycemia and the increase in the ketonic bodies and cortisol concentrations reinforce the importance of a carbohydrate supplement during the long endurance training. The HR behavior shows that the training session was performed at a moderate intensity, but having fast moments of high intensity, in which routines were performed.*

RESUMEN

Comportamiento de variables fisiológicas en atletas de nado sincronizado durante una sesión de entrenamiento en la fase de preparación para las Olimpíadas de Atenas 2004

*El objetivo del presente estudio fue el de evaluar la conducta de algunas variables fisiológicas durante una sesión de entrenamiento de nado sincronizado cumplido en la fase de la preparación para los Juegos Olímpicos de Atenas 2004. **Materiales y métodos:** La muestra usada se constituyó por el dueto (24 ± 0 años) representante de Brasil en Atenas 2004. La colección de datos fue cumplida durante una sesión de entrenamiento con una duración de 198 minutos. Los entrenamientos empezaron con la parte física, mientras era seguida por la parte técnica. Para la determinación de la glicemia y de la concentración de β-hidroxibutirato el experimentador usó Optium[®] con las cintas respectivas. Las concentraciones del cortisol y de las enzimas lactico deshidrogenasa (LDH) y creatinquinase (CK) fueron medidas por el radio-immuno-ensayo (DPC[®]) con equipos comerciales (CELM[®]), respectivamente. La asistencia de la frecuencia del corazón (FC) fue cumplida con el*

frecuencímetro Polar®. **Resultados:** La reducción fue observada (~2%) en el peso corporal. La glicemia también presentó una caída (~30%) comparada con el valor obtenido al principio del entrenamiento. En contra de la salida, se observó una elevación en la concentración del cortisol (en saliva 22% y plasmático 29%) y del β -hidroxibutirato (~340%). No se observó una alteración significativa en la concentración plasmática de CK y de LDH. El control de la de FC demostró a los 198 minutos de la sesión de entrenamiento, que $36,5 \pm 0,7$ minutos eran cumplidos en una intensidad ligera; $103,5 \pm 0,7$ minutos en una intensidad moderada, $54,0 \pm 2,1$ minutos en la intensidad alta y $4,0 \pm 0,0$ minutos en una intensidad muy alta. **Conclusiones:** La pérdida de peso indica que el remplazo hidrico no se adaptó. La reducción en el glicemia y el aumento en la concentración de los cuerpos cetónicos y de cortisol ellos refuerzan la importancia del suplementación de hidratos de carbono durante el entrenamiento de larga duración. La conducta de FC demuestra que la sesión de entrenamiento fué cumplida en una intensidad moderada, sin embargo en los momentos breves de intensidad alta, mientras, las rutinas eran cumplidas.

INTRODUÇÃO

A Natação Sincronizada apresentou-se nos Jogos Pan-americanos em 1951, sendo admitida como esporte integrante em 1955. Nos Jogos Olímpicos, a modalidade foi exibida diversas vezes desde 1952. Porém, somente em 1984, a natação sincronizada passou oficialmente a integrar a programação dos Jogos Olímpicos⁽¹⁾. Inicialmente, a competição era composta pela realização de figuras obrigatórias e rotinas livres. Com a evolução do esporte, a competição passou a ser dividida em duas etapas: rotinas técnicas e rotinas livres. A rotina técnica é composta de elementos obrigatórios determinados pela Federação Internacional de Natação (FINA)⁽¹⁾. Já a rotina livre, como o próprio nome sugere, baseia-se na criatividade de cada equipe⁽¹⁾.

As rotinas, também chamadas de coreografias, realizam-se dentro de um tempo determinado pela FINA, para cada tipo de apresentação; solo, dueto ou equipe; podendo as mesmas variar do tempo mínimo de dois minutos ao máximo de cinco minutos, dependendo do tipo de coreografia e da faixa etária da atleta⁽¹⁾.

Gemma e Wells⁽²⁾ descrevem a natação sincronizada como uma mistura de ginástica, balé e dança, com elementos de patinação artística. Figura *et al.*⁽³⁾ definem o nado sincronizado como uma combinação de natação e ginástica rítmica na água, associada à música.

Sob a perspectiva fisiológica, este esporte apresenta desafios únicos. A maioria dos movimentos é realizada com a face submersa e em apnéia^(2,3). Além disso, Gemma e Wells⁽²⁾ destacam que a natação sincronizada exige a execução de técnicas que demandam força e resistência, no entanto, com graça e estilo. Para tanto, segundo os mesmos, as atletas devem ter um domínio total da natação, do controle respiratório, da precisão de tempo, da coordenação motora e da força muscular^(2,4).

No nado sincronizado, as atletas também precisam lidar com forças opostas, como a gravidade e a resistência dinâmica (*drag force*) exercida pela água. Durante as rotinas, existem momentos de flutuação de costas ou de frente que são simétricos e estáveis. Conforme a atleta se movimenta, a resistência dinâmica (*drag force*) é amplificada por movimentos assimétricos, exigidos em cada parte específica da rotina⁽³⁾. Todos estes desafios demonstram a complexidade e dificuldade deste esporte.

Alguns estudos disponíveis na literatura avaliaram o comportamento de variáveis fisiológicas no nado sincronizado. Gemma e Wells⁽²⁾, assim como Figura *et al.*⁽³⁾, acompanharam respostas fisiológicas durante a execução de figuras obrigatórias. Mais recentemente, Yamamura *et al.*⁽⁵⁾ relataram o comportamento do lactato sanguíneo durante a execução de rotinas livres e técnicas.

No presente relato, foram avaliados parâmetros fisiológicos durante uma sessão completa de treinamento de nado sincronizado. O acompanhamento destes parâmetros durante o treino fornecerá informações valiosas aos técnicos, preparadores físicos, nutricionistas e fisiologistas, que poderão utilizá-las, com intuito de aprimorar estratégias específicas, visando o aumento da *performance*.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o comportamento de variáveis fisiológicas (peso, glicemia, concentração de corpos cetônicos, concentração de cortisol na saliva e no plasma, concentração plasmática de creatina quinase, concentração plasmática de lactato desidrogenase e perfil da frequência cardíaca) durante uma sessão de treino realizada na fase de preparação para os Jogos Olímpicos de Atenas 2004.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostra

A amostra utilizada foi constituída pelo dueto (duas mulheres, com idade de 24 anos, 179cm, $63,3 \pm 0,8$ kg), representante do Brasil nos Jogos Olímpicos de Atenas 2004. Seguindo a resolução específica do Conselho Nacional de Saúde (nº 196/96), as participantes foram informadas detalhadamente sobre os procedimentos utilizados e concordaram em participar de maneira voluntária do estudo, assinando um termo de consentimento informado e proteção da privacidade. As participantes foram instruídas a seguir um cardápio padrão⁽⁶⁾, com horários estabelecidos, 24 horas antes das coletas de sangue.

Descrição da sessão de treino

Durante a fase de preparação para as Olimpíadas de Atenas, mais exatamente a três meses da competição, foi realizada a coleta de dados de uma sessão completa de treinamento. Esta sessão teve duração controlada de 198 minutos. A temperatura da água foi mantida constante entre 27-28°C. O treino se iniciou com a parte física seguida da parte técnica, ambas detalhadas abaixo.

– Parte física:

Foi realizado um breve alongamento (15 minutos), seguido de 45 minutos de exercícios com peso na água (realização de segmentos da coreografia e posições básicas)

– Parte técnica:

A parte técnica foi subdividida, inicialmente em 45 minutos de execução elementos obrigatórios (1. em vertical, meio-giro seguido por um *twirl* na direção oposta, finalizado por um parafuso descendente; 2. alçada de tronco com dois braços fora da água; 3. *egg beater* contendo uma seqüência de movimentos com os dois braços fora da água; 4. combinação de *can-can*; 5. barracuda com *twirl*; 6. ariana; 7. partindo da posição de garça seguido por um parafuso descendente, atingindo a posição vertical; e parafuso ascendente, voltando para posição inicial; 8. alça de abertura seguida por parafuso 360 graus), posições básicas (vertical, guindaste, garça, *can-can* e abertura) e palmateios (suporte e giro). Posteriormente, foi realizado o treinamento de rotinas, com duração de aproximadamente 90 minutos. Neste momento foi dada ênfase à limpeza da coreografia, à execução segmentada da coreografia para acerto da sincronia e dos ângulos de execução dos movimentos e, finalmente, a execução da rotina completa.

Determinação da concentração plasmática de glicose

Para a determinação da glicemia foi utilizado o monitor *Optium*® com suas respectivas tiras, seguindo as instruções de uso. A concentração de glicose plasmática (mmol.L⁻¹) foi determinada a partir do princípio de bioamperometria, no qual a glicose é transformada pela glicose desidrogenase em glicolactona. A glicemia foi acessada antes e após o treino.

Determinação da concentração plasmática de creatina quinase e lactato desidrogenase

As amostras de plasma foram coletadas antes e depois do treino. Para as determinações enzimáticas foram utilizados kits comerciais (CELM®) para lactato desidrogenase (LDH) e creatina quinase (CK) (U.L⁻¹).

Determinação da concentração plasmática de β-hidroxi-butarato

Também foi utilizado o monitor *Optium*® com suas respectivas tiras, para a determinação da concentração β-hidroxi-butarato (mmol.L⁻¹).

Determinação da concentração de cortisol no plasma e na saliva

Após uma hora de jejum, o sangue e a saliva foram coletados antes da sessão de treinamento às 8:15 da manhã. A fim de caracterizar uma situação de repouso, as atletas permaneceram sentadas durante 15min antes da coleta inicial. Logo após o término da sessão de treinamento o procedimento de coleta foi repetido. Para a coleta de saliva, a cavidade oral é previamente limpa com água filtrada. As amostras de saliva foram centrifugadas a 2000rpm por cinco minutos e o sobrenadante separado e estocado a -20°C, para posterior dosagem do cortisol. O sangue coletado foi acondicionado em tubos heparinizados e posteriormente centrifugado. Feito isto, o plasma foi estocado a -20°C, para posterior determinação da concentração de cortisol no plasma.

Para avaliar a concentração de cortisol foram utilizados os kits por radioimunoensaio COAT-A-COUNT®, DPC. As dosagens hormonais foram conduzidas no Instituto de Ciências Biomédicas da USP.

Descrição do comportamento da frequência cardíaca

O acompanhamento da frequência cardíaca foi realizado com a utilização do *Polar Accurex Plus (Interface Polar Plus®/software versão 1.02®)* em intervalos de gravação de cinco segundos. As atletas foram monitoradas durante uma sessão de treino, com duração de 198 minutos.

O critério de classificação da FC utilizado no presente estudo foi proposto pelo ACSM⁽⁷⁾. Esta classificação é baseada em seis categorias:

Intensidade	% da FC _{max}
Muito leve	leve abaixo de 35%
Leve	entre 35 a 54%
Moderada	entre 55 a 69%
Alta	entre 70 a 89%
Muito alta	igual ou acima de 90%
Máxima	100%

A FC_{max} prevista para a idade é de 196 batimentos por minuto. Para a avaliação do comportamento de frequência cardíaca foram desconsiderados os registros nulos no monitor. Também foram excluídos os registros inferiores à frequência cardíaca basal dos avaliados, bem como séries de valores de frequência cardíaca que continuamente se repetiam nos registros e que pareciam indicar algum tipo de falha do aparelho de registro, ou ainda seqüências de valores demonstrando intervalos decrescentes muito distantes para o intervalo de gravação adotado (cinco segundos).

Procedimento experimental

No dia anterior ao dia do experimento, as atletas mantiveram sua rotina normal de treino e alimentação. No dia do experimento, as atletas ingeriram ~60 gramas de carboidrato de baixo-moderado índice glicêmico, 60 minutos antes da coleta inicial de dados. Durante o treino, a ingestão de água foi *ad libitum*. O consumo médio de água foi de 430 ± 40mL. A coleta inicial foi realizada às

8:15 pela manhã. O treino teve início, imediatamente após esta coleta, tendo como duração 198 minutos. Durante o treino foram realizadas as rotinas (técnica e livre) apresentadas nas Olimpíadas de Atenas 2004. Terminado o treino, foi realizada a coleta final.

RESULTADOS

Através do acompanhamento da FC foi possível constatar que, dos 198 minutos da sessão de treino, 36,5 ± 0,7 minutos foram realizados em intensidade leve (35-54% da FC_{max}); 103,5 ± 0,7 minutos em intensidade moderada (entre 55-69% da FC_{max}) e 54,0 ± 2,1 minutos em intensidade alta (70-89% da FC_{max}) e 4,0 ± 0,0 minutos em intensidade muito alta (≥ 90% da FC_{max}) (tabela 1). Também foi avaliado o comportamento da frequência cardíaca durante as rotinas (livre e técnica) apresentadas nas Olimpíadas de Atenas 2004. A intensidade na qual foram realizadas as rotinas foi classificada como alta (70-89% da FC_{max}) (tabelas 2 e 3).

TABELA 1
Distribuição do tempo de treino em diferentes intensidades em relação à frequência cardíaca máxima

Intensidade	Tempo de treino (min)
Leve (35-54%FC _{max})	36,5 ± 0,7
Moderada (55-69%FC _{max})	103,5 ± 0,7
Alta (70-89%FC _{max})	54,0 ± 2,1
Muito alta (≥ 90%FC _{max})	4,0 ± 0,0

Resultados expressos em média e desvio-padrão.

TABELA 2
Comportamento da frequência cardíaca durante a rotina técnica apresentada nas Olimpíadas de Atenas 2004

Intensidade	Tempo (min)	FC (bpm)
Leve	0:00	90,0 ± 1,4
Alta	0:15	161,5 ± 0,7
Alta	0:30	161,5 ± 0,7
Alta	0:45	165,5 ± 6,4
Alta	1:00	166,5 ± 0,7
Alta	1:15	158,0 ± 7,1
Alta	1:30	160,0 ± 5,7
Alta	1:45	169,0 ± 5,7
Muito alta	2:00	177,5 ± 3,5
Muito alta	2:15	178,0 ± 4,2
Alta	2:30	169,0 ± 8,5

Resultados expressos em média e desvio-padrão.

TABELA 3
Comportamento da frequência cardíaca durante a rotina livre apresentada nas Olimpíadas de Atenas 2004

Intensidade	Tempo (min)	FC (bpm)
Moderada	0:00	120,0 ± 5,7
Alta	0:15	156,5 ± 0,7
Alta	0:30	159,5 ± 4,9
Alta	0:45	158,0 ± 2,8
Alta	1:00	170,5 ± 3,5
Alta	1:15	160,0 ± 8,5
Muito alta	1:30	179,5 ± 4,9
Alta	1:45	166,0 ± 0,0
Alta	2:00	166,5 ± 9,2
Muito alta	2:15	178,0 ± 5,7
Alta	2:30	164,0 ± 7,1
Alta	2:45	165,0 ± 2,8
Alta	3:00	162,5 ± 4,9
Alta	3:15	162,0 ± 2,8
Alta	3:30	149,5 ± 0,7

Resultados expressos em média e desvio-padrão.

Foi observada redução (~2%) do peso corporal ($1,3 \pm 0,2\text{kg}$). A glicemia também apresentou queda (30%) em comparação com o valor obtido no início do treino ($4,8 \pm 0,3$ vs. $3,4 \pm 0,4\text{mmol.L}^{-1}$). Em paralelo à queda da glicemia, foi observado aumento na concentração de β -hidroxibutirato ao final do treino (~340%). Com relação ao cortisol, foi observado aumento nas concentrações salivar e plasmática da ordem de 22% e 29%, respectivamente. As enzimas creatina quinase e lactato desidrogenase não apresentaram alteração no seu valor ao final do treino; em relação ao valor de repouso (tabela 4).

TABELA 4
Avaliação do peso corporal, glicemia, concentração de β -hidroxibutirato, concentração de cortisol, concentração de CK e de LDH no início e no final da sessão de treino

Parâmetros avaliados	Início	Final
Peso corporal (kg)	$63,3 \pm 0,8$	$62,0 \pm 0,6$
Glicemia (mmol.L^{-1})	$4,8 \pm 0,3$	$3,4 \pm 0,4$
β -hidroxibutirato (mmol.L^{-1})	$0,14 \pm 0,05$	$0,48 \pm 0,1$
Cortisol salivar (nmol.L^{-1})	$15,2 \pm 3,8$	$18,6 \pm 4,5$
Cortisol plasmático (nmol.L^{-1})	$381,2 \pm 57,7$	$491,6 \pm 72,3$
CK (U.L^{-1})	$179,5 \pm 40,4$	$185,3 \pm 47,2$
LDH (U.L^{-1})	$210 \pm 38,4$	$205 \pm 29,6$

Resultados expressos em média e desvio-padrão.

DISCUSSÃO

A frequência cardíaca (FC) é parâmetro utilizado para a determinação da intensidade do exercício⁽⁸⁾. Entretanto, a utilização da FC como indicativo de intensidade em esportes aquáticos apresenta algumas limitações. A imersão do corpo até o pescoço aumenta a pressão sobre a sua parte inferior, facilitando o retorno venoso. Esta otimização do retorno venoso reduz a sobrecarga sobre o sistema cardiovascular.

Além disso, a imersão da face na água promove uma resposta de bradicardia associada ao maior tônus vagal^(9,10). Para Takamoto e Mutoh⁽¹¹⁾, esta resposta fisiológica dificulta a utilização da FC como parâmetro preciso de intensidade para o nado sincronizado. Al-Ani *et al.*⁽¹²⁾ observaram que a imersão da face promoveu significativa redução da FC ($-21 \pm 2\text{bpm}$ em mulheres e $-19 \pm 2\text{bpm}$ em homens). No entanto, quando a imersão era associada ao esforço físico, foi observada discreta elevação da FC ($+9 \pm 3\text{bpm}$ em mulheres e $+11 \pm 3\text{bpm}$ em homens)⁽¹²⁾. Portanto, a bradicardia induzida pela imersão parece ser atenuada pelo esforço físico⁽¹²⁾.

De qualquer forma, ao analisar os resultados referentes ao monitoramento da FC, é importante considerar a possibilidade de que intensidade da atividade pode estar sendo subestimada. Segundo Yamamura *et al.*⁽⁵⁾, outra possível abordagem, para a determinação da intensidade das rotinas, seria traçar o comportamento do lactato sanguíneo.

Apesar destas limitações, a avaliação do comportamento da FC das rotinas (livre e técnica) sugere que a intensidade, na qual as mesmas são realizadas, pode ser considerada alta. Já ao observar o comportamento da FC durante o treino completo, é possível afirmar que em grande parte do treino a FC permaneceu em um intervalo de intensidade moderada. Durante o treino são realizados muitos intervalos, nos quais as atletas ficam na beira da piscina para receber instruções e correções técnicas. Isso caracteriza esta sessão de treino como uma atividade intermitente, na qual são realizados momentos de alta intensidade, como as rotinas, porém, com muitos momentos de pausas para instrução.

Pesquisas têm demonstrado que exercício de alta intensidade, especialmente as atividades que envolvem contrações excêntricas, são frequentemente associadas à lesão muscular^(13,14). A fim de averiguar o estresse imposto pelo treino sobre o músculo es-

quelético, foi determinada a concentração plasmática das enzimas CK e LDH. Não foi detectada diferença na concentração destas enzimas após o treino. Entretanto, é importante ressaltar a existência de uma adaptação que parece minimizar a elevação destes marcadores de lesão muscular em indivíduos altamente treinados. Já foi reportado que, em atletas, a elevação da enzima CK no plasma é menor do que em indivíduos sedentários submetidos à mesma atividade^(15,16).

Além disso, a concentração destas enzimas (CK e LDH) nem sempre reflete o grau de lesão da musculatura⁽¹⁴⁾. Portanto, a ausência de alteração na concentração destes marcadores de lesão não garante que o músculo não tenha sido estressado pelo treino.

Entre os principais fatores limitantes do exercício prolongado destacam-se: a redução da glicemia, o comprometimento dos estoques endógenos de carboidrato e a desidratação⁽¹⁷⁾. Apesar de o treino ser realizado no meio aquático, no qual a perda de calor por convecção é muito eficiente, foi observada considerável perda hídrica (~2% do peso corporal) por parte das atletas.

Durante o exercício prolongado, o glicogênio muscular e a glicose sanguínea são importantes substratos energéticos. O exercício é um potente estímulo para o transporte de glicose, drenando-a do sangue para o músculo⁽¹⁸⁾. A consequência disso, no exercício de longa duração, será a redução da glicemia. No presente estudo, após de 198 minutos de treino, foi observado marcante decréscimo (~30%) na concentração de glicose.

A glicose sanguínea é o principal substrato energético para o sistema nervoso. Dessa forma, a manutenção da glicemia durante o exercício é um importante desafio para a homeostase. Conseqüentemente, quando a homeostase glicêmica é alterada, diversos mecanismos fisiológicos são desencadeados, tais como, a liberação de hormônios contra-reguladores (glucagon, catecolaminas, GH e cortisol).

Os efeitos da concentração de glicocorticóides no exercício vêm sendo objeto de estudo por mais de 40 anos⁽¹⁹⁾. Através desses estudos, sabe-se que a secreção do cortisol é dependente da intensidade e duração do exercício^(20,21). Também está bem estabelecido que a elevação de concentração de cortisol induzida pelo exercício está associada à imunossupressão^(22,23).

Entretanto, pouco se sabe sobre o papel fisiológico do cortisol durante o exercício em humanos⁽²⁴⁾. No repouso, o cortisol exerce diversas funções importantes para manutenção da homeostase energética, tais como: aumento na produção de glicose; aumento na síntese de enzimas envolvidas na gliconeogênese hepática; proteólise (a fim de realizar anaplerose do ciclo de Krebs e gliconeogênese); lipólise; cetogênese e redução da captação de glicose mediada por insulina, garantido a oferta de glicose para o sistema nervoso⁽²⁵⁻³¹⁾.

Portanto, seria plausível que, durante o exercício de longa duração, este hormônio também exerça papel relevante, principalmente com relação à disponibilidade de substratos. De fato, isso pode ser observado no presente estudo. A elevação significativa na concentração de cortisol (salivar e plasmático), em contrapartida à queda da glicemia, reforça a sua importância na modulação do metabolismo energético durante o exercício prolongado.

Vale lembrar que o treino foi iniciado por volta de 8:00 da manhã, duas horas após o despertar das atletas. Uma vez que o pico de cortisol está relacionado ao despertar, isto explicaria a elevada concentração de cortisol antes do início do treino. Em condições de repouso, a concentração de cortisol apresenta tendência de redução após o seu pico. No entanto, ainda assim, após 198 minutos de treino foi observado aumento na concentração desse hormônio, tanto na saliva como no plasma.

Esse aumento do cortisol foi associado também ao aumento na concentração de β -hidroxibutirato. Em situações nas quais a oferta de glicose é reduzida, a degradação parcial dos ácidos graxos livres leva à formação de corpos cetônicos (acetacetato, β -hidroxibutirato e acetona)⁽³²⁾. Estes compostos reduzem a utilização de

glicose, atenuam a proteólise e também servem como um substrato alternativo para sistema nervoso⁽³²⁾. Assim como outras pesquisas^(26,31), os resultados do presente estudo sugerem uma relação positiva entre a concentração de cortisol e de β -hidroxibutirato.

Conforme demonstrado previamente, a cetose suprime a geração de espécies reativas de oxigênio em neutrófilos humanos, provavelmente, através da inibição da NADPH-oxidase⁽³³⁾. Estes resultados indicam que a inibição da função antimicrobiana exercida pelos neutrófilos pode estar relacionada a maior suscetibilidade a infecções por parte de atletas, uma vez que tanto o cortisol como os corpos cetônicos têm suas respectivas concentrações elevadas após o exercício extenuante. Confirmando essa hipótese, Fukatsu *et al.* (1996) observaram que o exercício de *endurance* (corrida de 50 milhas) prejudica a função de neutrófilos⁽³⁴⁾. Segundo estes autores essa inibição é decorrente do aumento do cortisol e dos corpos cetônicos⁽³⁴⁾.

Outros estudos reforçam a idéia de que a imunossupressão observada em atletas submetidos a treinos extenuantes está relacionada à elevação na concentração de cortisol^(35,36). Também já existem fortes evidências de que o consumo de carboidrato durante o exercício pode atenuar a elevação do cortisol, e a consequente imunossupressão^(6,35-37). Estas evidências científicas demonstram a importância da modulação neuroendócrina sobre o sistema imunológico durante o exercício extenuante.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento da FC demonstra que o treino foi realizado em uma intensidade moderada (predominância aeróbia), porém com alguns breves momentos de alta intensidade. Vale ressaltar que durante a realização das rotinas (livre e técnica), a frequência cardíaca permaneceu em um intervalo classificado como intensidade alta, indicando maior participação do sistema glicolítico. A perda de peso observada durante o treino indica a necessidade de uma estratégia de reposição hídrica durante o treino, uma vez que a perda hídrica referente a 2% do peso corporal já compromete o desempenho. A redução na glicemia reforça a importância da su-

plementação de carboidrato durante o exercício de longa duração. Baseado nestes dados, sugere-se a ingestão de uma solução de carboidrato durante o treino, com o intuito de manter a glicemia e o balanço hídrico.

Portanto, através destes dados conclui-se que a sessão de treino de nado sincronizado, embora apresente intensidade moderada, altera variáveis fisiológicas que são importantes para a manutenção da homeostase, como a glicemia e o balanço hídrico, provavelmente pela sua longa duração. Essas alterações afetam parâmetros endócrinos, por exemplo, a concentração de hormônios contra-reguladores, como o cortisol. Este último, por sua vez, é importante indicativo do nível de estresse imposto pelo exercício, também sendo capaz de modular a atividade do sistema imunológico.

As informações levantadas no presente estudo sobre as alterações fisiológicas induzidas por sessão completa de treinamento de nado sincronizado são extremamente valiosas para o melhor entendimento deste esporte. Essas informações podem auxiliar os técnicos, preparadores físicos, nutricionistas e fisiologistas na elaboração de estratégias a fim de atenuar os fatores limitantes da atividade e promover um melhor desempenho. Entretanto, ainda são necessários estudos adicionais, a fim de caracterizar o perfil fisiológico deste fascinante esporte, principalmente em diferentes momentos da periodização do treinamento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio do Prof. Flávio Delmanto, diretor do Núcleo da Saúde e Ciências Biológicas do UniFMU, e do Prof. Hamilton Luiz de Souza, preparador físico da equipe de nado sincronizado do Clube Paineiras do Morumby. Também gostaríamos de agradecer ao Prof. Dr. Anselmo Sigari Moriscot, coordenador do Laboratório de Plasticidade Muscular do ICBUSP, por ter disponibilizado seu laboratório para as dosagens hormonais e enzimáticas.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Wales RE, editor. FINA Handbook. Constitution and rules Swimming, Diving, Water Polo, Synchronized Swimming and Water Swimming. Lausanne: FINA, 1992.
2. Gemma KE, Wells CL. Heart rates of elite synchronized swimmers. *Phys Sports Med* 1987;10:99-107.
3. Figura F, Cama G, Guidetti L. Heart rate, alveolar gases and blood lactate during synchronized swimming. *J Sports Sci* 1993;11:103-7.
4. Poole GW, Crepin BJ, Sevigny M. Physiological characteristics of elite synchronized swimmers. *Can J Appl Sports Sci* 1980;5:156-60.
5. Yamamura C, Matsui N, Kitagawa K. Physiological loads in the team technical and free routines of synchronized swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1999;32: 1171-4.
6. Bacurau RF, Bassit RA, Sawada L, Navarro F, Martins E Jr, Costa Rosa LF. Carbohydrate supplementation during intense exercise and the immune response of cyclists. *Clin Nutr* 2002;21:423-9.
7. ACSM Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:975-91.
8. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med* 2003;33:517-38.
9. Irving L. Bradycardia in human divers. *J Appl Physiol* 1963;18:489-91.
10. Hayashi N, Ishihara M, Tanaka A, Osumi T, Yoshida T. Face immersion increases vagal activity as assessed by heart rate variability. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;76:394-9.
11. Takamoto M, Mutoh Y. Physiological characteristics and injuries of synchronized swimmers. *Jpn J Sports Sci* 1983;2:500-8.
12. Al-Ani M, Powell L, West J, Townend J, Cooté JH. Exercise and diving, two conflicting stimuli influencing cardiac vagal tone in man. *J Physiol* 1995;489: 603-12.
13. Appell HJ, Soares JAR, Duarte JMC. Exercise, muscle damage, and fatigue. *Sports Med* 1992;13:108-15.
14. Kuipers H. Exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 1994;15:132-5.
15. Clarkson PM, Tremblay L. Rapid adaptation to exercise induced muscle damage. *J Appl Physiol* 1988;65:1-6.
16. Ebbeling CB, Clarkson PM. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med* 1989;7:207-34.
17. ACSM Position Stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:1-7.
18. Holloszy, John O. A forty-year memoir of research on the regulation of glucose transport into muscle. *Am J Physiol* 2003;284:E453-67.
19. Staehelin D, Labhart A, Froesch R, Kagi H R. The effect of muscular exercise and hypoglycemia on the plasma level of 17-hydroxysteroids in normal adults and in patients with adrenogenital syndrome. *Acta Endocrinol (Copenh)* 1955;18:521-9.
20. Davies CTM, Few JD. Effects of exercise on adrenocortical function. *J Appl Physiol* 1973;35:887-91.
21. Block KP, Buse MG. Glucocorticoid regulation of muscle branched-chain amino acid metabolism. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:316-24.
22. Wick G, Hu Y, Schwarz S, Kroemer G. Immunoendocrine communication via the hypothalamo-pituitary-adrenal axis in autoimmune diseases. *Endocr Rev* 1993; 14:539-63.
23. Pedersen BK, Hoffman-Goetz L. Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation. *Physiol Rev* 2000;80:1055-81.
24. Del Corral P, Howley ET, Hartsell M, Ashraf M, Younger MS. Metabolic effects of low cortisol during exercise in humans. *J Appl Physiol* 1998;84:939-47.
25. Boyle PJ, Cryer PE. Growth hormone, cortisol, or both are involved in defense against but are not critical to recovery from hypoglycemia. *Am J Physiol* 1991; 260:E395-02.
26. Divertie GD, Jensen MD, Miles JM. Stimulation of lipolysis in humans by physiological hypercortisolism. *Diabetes* 1991;40:1228-32.

27. De Feo P, Perriello G, Torlone E, Ventura MM, Fanelli C, Santeusano F, et al. Contribution of cortisol to glucose counterregulation in humans. *Am J Physiol* 1989;257:E35-42.
28. Dinneen S, Alzaid A, Miles J, Rizza R. Metabolic effect of the nocturnal rise in cortisol on carbohydrate metabolism in normal humans. *J Clin Invest* 1993;92: 2283-90.
29. Friedman JE. Role of glucocorticoids in activation of hepatic PEPCK gene transcription during exercise. *Am J Physiol* 1994;266:E560-6.
30. Garrel DR, Moussali R, Oliveira A, Lesiege D, Lariviere F. RU486 prevents the acute effects of cortisol on glucose and leucine metabolism. *J Clin Endocrinol* 1995;80:379-85.
31. Schade D, Eaton R, Standerfer J. Modulation of basal ketone body concentration by cortisol in diabetic man. *J Clin Endocrinol Metab* 1978;47:519-28.
32. Laffel L. Ketones bodies: a review of physiology, pathophysiology and application of monitoring to diabetes. *Diabetes Metab Res Rev* 1999;15:412-26.
33. Sato N, Shimizu H, Shimomura Y, Suwa K, Mori M, Kobayashi I. Mechanism of inhibitory action of ketone bodies on the production of reactive oxygen intermediates (ROIS) by polymorphonuclear leukocytes. *Life Sci* 1992;51:113-8.
34. Fukatsu A, Sato N, Shimizu H. 50-mile walking race suppresses neutrophil bactericidal function by inducing increases in cortisol and ketone bodies. *Life Sci* 1996;58:2337-43.
35. Nieman DC. Exercise immunology: nutritional countermeasures. *Can J Appl Physiol* 2001;26:S45-55.
36. Gleeson M, Nieman DC, Pedersen BK. Exercise, nutrition and immune function. *J Sports Sci* 2004;22:115-25.
37. Gleeson M, Bishop NC. Modification of immune responses to exercise by carbohydrate, glutamine and anti-oxidant supplements. *Immun Cell Biol* 2000;78: 554-61.