

# Efeitos fisiológicos do treino em nadadores de elite: uma revisão sistemática em micro-variáveis

## Autores

Mário Jorge Costa <sup>1,2</sup>

Daniel Almeida Marinho <sup>2,3</sup>

Tiago Manuel Barbosa <sup>2,4</sup>

[mario.costa@ipg.pt](mailto:mario.costa@ipg.pt)

## Resumo

**Objetivo:** O objetivo da presente revisão sistemática centrou-se em descrever o estado da arte sobre os efeitos do treino em micro-variáveis fisiológicas de nadadores e retirar implicações para métodos de treino mais eficazes.

**Métodos:** Foi efetuada uma pesquisa em diversas bases de dados (PubMed, ISI Web of Knowledge, Index Medicus, MEDLINE, Scopus, SPORTDiscus) de acordo com a declaração PRISMA. Os estudos foram avaliados considerando os seguintes critérios de inclusão: (i) apresentarem dois momentos de experimentação; (ii) centrarem-se na micro-fisiologia da natação; (iii) terem uma amostra composta por nadadores de elite; (iv) não serem estudos de caso ou com amostra reduzida. Dois investigadores avaliaram simultaneamente a qualidade metodológica dos estudos.

**Resultados:** Dos 325 estudos encontrados, 22 foram selecionados para posterior análise. Os estudos foram distribuídos em três categorias de acordo com os dados reportados: composição sanguínea (n=7), secreção hormonal (n=11) e atividade enzimática (n=7). O índice de qualidade médio dos estudos foi de  $10,58 \pm 2,19$  pontos demonstrando uma concordância quase perfeita entre avaliadores ( $K = 0,93$ ).

**Conclusões:** A diversidade de evidências encontradas deve-se à heterogeneidade dos desenhos experimentais (p.e. duração das intervenções, componentes de treino, género e nível competitivo). As alterações nas micro-variáveis promovidas pelo processo de treino podem sugerir sintomas de *overtraining* e risco de saúde acrescido para os nadadores. A monitorização regular pelo uso de amostras sanguíneas e/ou salivares poderá ser um passo determinante para os treinadores controlarem e avaliarem melhor o seu processo de treino.

## Palavras-chave

Fisiologia; Nadadores; Longitudinal; Adaptações Anuais; Exercício.

---

<sup>1</sup> Instituto Politécnico da Guarda

<sup>2</sup> Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Portugal

<sup>3</sup> Universidade da Beira Interior

<sup>4</sup> Nanyang Technological University

## INTRODUÇÃO

O conhecimento dos mecanismos de adaptação ao treino anual é uma ferramenta chave para os treinadores induzirem melhorias nos seus atletas (p.e. relação entre dose-resposta). Os programas de treino que são racionalmente planeados com o estímulo fisiológico apropriado têm a capacidade de quebrar a homeostasia e transformar o organismo para melhorias consequentes.

Nas últimas décadas, a busca do resultado desportivo catapultou as equipas de investigação a procurarem entender o efeito de várias metodologias de treino no rendimento desportivo. A única revisão em natação debruçada sobre esse tópico remonta aos anos 80. Lavoie e Montpetit<sup>1</sup> congregaram um conjunto de evidências sobre o efeito de vários métodos de treino na capacidade energética, mecânica respiratória, indicadores cardiovasculares e composição corporal de nadadores.

No entanto, a investigação em natação parece estar a acompanhar a tendência das restantes modalidades desportivas. Se durante os anos 70, 80 e 90 grande parte das intervenções procuraram verificar o efeito do treino nas “macro variáveis” (entenda-se sistemas de produção de energia e indicadores cardiorrespiratórios), atualmente parece assistir-se a uma tentativa de descortinar o comportamento das “micro variáveis” (indicadores celulares ou moleculares).

Com base no nosso conhecimento, parece não existir nenhuma atualização do estado da arte referente às adaptações em micro-variáveis promovidas pelo treino em natação desde então. Os artigos de revisão publicados nos últimos 20 anos tiveram um grande foco nas adaptações fisiológicas e biomecânicas agudas com base em estudos transversais<sup>2,3,4</sup>. As revisões sistemáticas publicadas entretanto centraram-se em tópicos de treino específicos<sup>5,6</sup>, que não aqueles relacionados com as micro-variáveis numa perspetiva fisiológica.

O objetivo da presente revisão sistemática centrou-se em descrever o estado da arte sobre os efeitos do treino nas micro-variáveis de nadadores em idade adulta e retirar implicações para métodos de treino mais eficazes.

## MÉTODO

### Estratégia de pesquisa

Todos os procedimentos metodológicos foram realizados em concordância com as diretrizes da declaração PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*)<sup>7</sup>. Foi efetuada uma pesquisa em diversas bases de dados (PubMed, ISI Web of Knowledge, Index Medicus, MEDLINE, Scopus, SPORTDiscus) assumindo um intervalo temporal entre 1 de Janeiro de 1970 e 31 de Dezembro de 2013. A identificação dos possíveis estudos a incluir na revisão circunscreveu-se ao uso individual ou combinado de diversas palavras-chave: “natação”, “treino”, “adaptações anuais”, “fisiologia”, “composição sanguínea”, “hormonal”, “enzimática”. A procura por parte de dois investigadores experientes resultou em duas listas de publicações que foram posteriormente consolidadas numa única lista.

### Critérios de inclusão

Os estudos foram avaliados tomando como ponto de partida os seguintes critérios de inclusão: (i) apresentarem dois momentos de avaliação com os mesmos sujeitos; (ii) centrarem-se na fisiologia da natação com foco em micro-variáveis; (iii) terem uma amostra composta por nadadores de elite em vez de outros níveis competitivos; (iv) não serem estudos de caso ou com amostra reduzida (p.e. N<5).

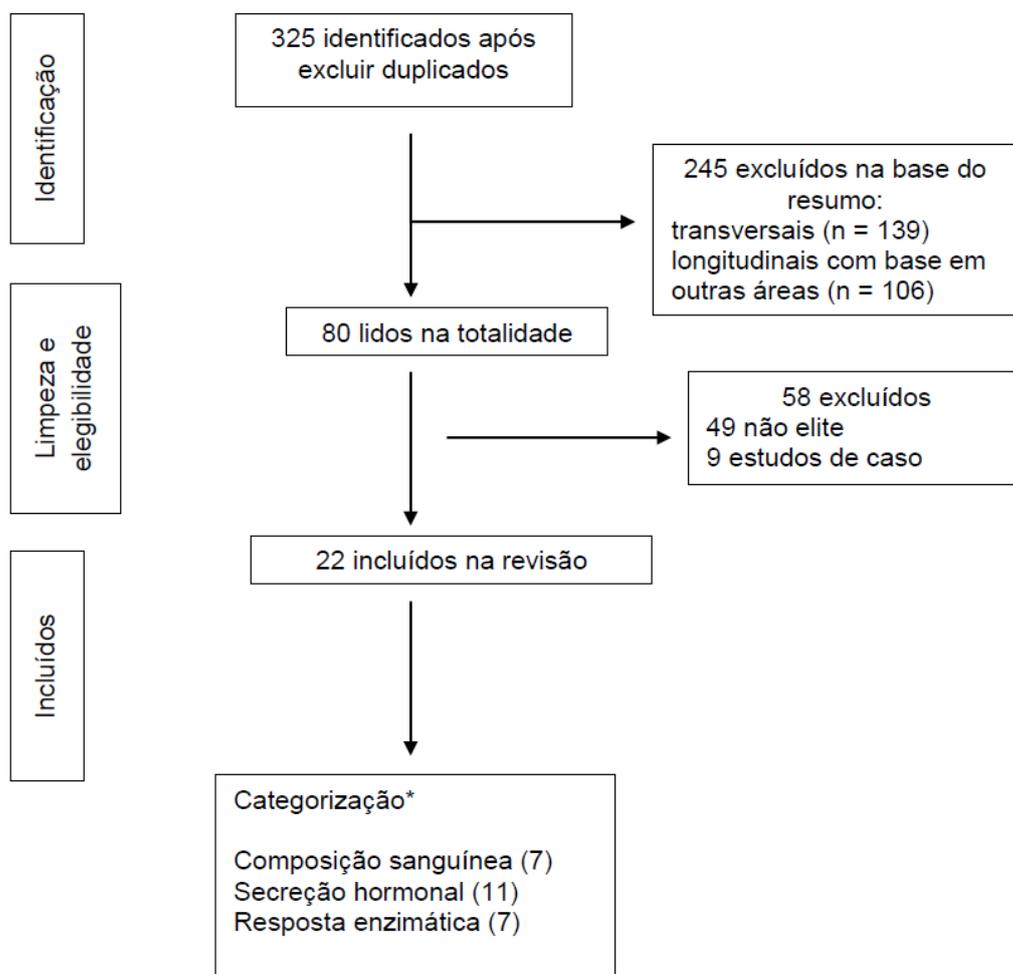
## Qualidade metodológica

Os estudos relevantes seguiram uma avaliação metodológica com base numa ferramenta previamente elaborada para o efeito<sup>8</sup>. O índice máximo possível de obter em cada estudo tendo em conta a quantificação dos vários itens foi de 32 pontos. A concordância no processo de avaliação metodológica foi efetuada com recurso ao índice kappa (K) e o valor interpretado de acordo com a sugestão de Landis e Koch<sup>9</sup>.

## RESULTADOS

A figura 1 traduz a estratégia de pesquisa dissecando as razões de exclusão. Dos 325 estudos encontrados, 303 não satisfizeram os critérios de inclusão. Um total de 22 estudos foram selecionados para posterior análise. Os estudos foram distribuídos em três categorias de acordo com os dados reportados: “composição sanguínea” (n=7), “secreção hormonal” (n=11) e “atividade enzimática” (n=7). Três estudos foram incluídos em várias categorias visto reportarem dados distintos, o que justifica a discrepância entre o número total de artigos e a sua soma parcial.

Figura 1.



As tabelas 1, 2 e 3 dissecam os estudos incluídos na presente revisão. O índice de qualidade médio dos estudos foi de  $10,58 \pm 2,19$  pontos demonstrando uma concordância quase perfeita entre avaliadores ( $K=0,93$ ). O maior valor médio de qualidade foi observado na categoria de “composição sanguínea” ( $12,14 \pm 3,45$  pontos), seguida da “atividade enzimática” ( $10,29 \pm 0,81$  pontos) e finalmente da “secreção hormonal” ( $9,70 \pm 1,03$  pontos).

Tabela 1 – Síntese de estudos longitudinais no âmbito da composição sanguínea.

Autor	Índice de qualidade	Desenho	Amostra	Intervenção	Resultados
Rushal and Busch, 1980	8.5	12 meses	Nadadores de elite	Efeitos do treino árduo seguido de taper	Hb diminuiu com o treino intenso e aumentou com o taper.
Mackinnon et al., 1997	9.5	4 semanas	Nadadores de elite	Comparar grupos expostos a treino intenso	Hb, hematócrito, e glóbulos vermelhos mantiveram-se inalterados.
Mujika et al., 1998	11	16 semanas	Nadadores de elite	Efeitos do treino árduo seguido de taper	Hb aumentou após o taper.
Gleeson et al., 2004	13	5 meses	11 nadadores de elite	Efeitos do treino árduo seguido de taper	A concentração de linfócitos-T manteve-se inalterada.
Santhiago et al., 2009	11	14 semanas	25 nadadores internacionais	Analisar as variações anuais	Hematócrito diminuiu durante a fase de carga e aumentou posteriormente.
Morgado et al., 2012	13	17 semanas	Nadadores de elite	Efeitos do treino a longo prazo	Mudanças significativas no nº de neutrófilos, monócitos e células dendríticas.
Rama et al., 2013	19	12 meses	Nadadores de elite	Monitorizar infeções respiratórias	Maioria das infeções surgiu pelo decréscimo no nº de células de defesa.

Hb – hemoglobina.

Tabela 2 – Síntese de estudos longitudinais no âmbito da secreção hormonal.

Autor	Índice de qualidade	Duração	Amostra	Intervenção	Resultados
Hakkinen et al. 1987	10.5	1 ano	9 nadadores de elite	Efeitos do treino prolongado	Cor e Test mantiveram-se inalterados.
Kirwan et al. 1988	9	2 semanas	12 Universitários de elite	Efeito do aumento da intensidade	Aumento do Cor Epi e Nor.
Costil et al. 1991	10.5	25 semanas	24 Universitários de elite	Efeito do aumento do volume	Aumento do Cor e diminuição da Test.
Hooper et al. 1993	8	6 meses	14 nadadores de elite	Detetar marcadores de overtraining	Manutenção do Cor e Nor e diminuição da Epi.
Flynn et al. 1994	9	18 semanas	5 Universitários	Detetar marcadores de overtraining	Manutenção do Cor e diminuição Test.
Mujika et al. 1996a	11	16 semanas	8 nadadores de elite	Efeitos do treino intenso seguido de taper	Manutenção do Cor, Test, Epi e Nor.
Mujika et al. 1996b	11.5	26 semanas	8 nadadores de elite	Efeito do treino anual e taper	Manutenção do Cor.
Tyndall et al. 1996	10	18 semanas	19 nadadores de elite	Verificar a atividade insulínica por alterações hormonais	As alterações no Cor e Test não tiveram influencia na atividade insulínica após o treino intenso.
Mackinnon et al. 1997	9.5	4 semanas	24 nadadores de elite	Efeito do aumento do volume	Nor foi o marcador que melhor identificou overtraining.
Hooper et al. 1999	10	2 semanas	10 nadadores de elite	Efeito do taper	Elevada capacidade de predição da performance pela mudança na Nor.
Atlaoui et al. 2006	10	12 semanas	14 de nível Internacional/Nacional	Relação entre Epi, Nor e performance	Valores de Nor demonstraram relação com performance.

Cor – cortisol; Test – testosterona; Epi – epinefrina; Nor – norepinefrina.

Tabela 3 – Síntese de estudo longitudinais no âmbito da atividade enzimática.

Autor	Índice de qualidade	Duração	Amostra	Intervenção	Resultados
Houston et al. 1981	10	6,5 semanas	10 Universitários	Efeito de 2 tipos de treino	Aumento da HEX, FFK, FOS no deltoide.
Burke et al. 1982	9.5	1 ano	Nadadores de elite	Efeitos do treino árduo seguido de taper.	Aumento dos níveis de CK até ao inicio do taper com posterior decréscimo.
Millard et al. 1985	11	5 meses	20 Universitários	Efeitos do treino árduo seguido de taper.	Aumento dos níveis de CK até ao inicio do taper com posterior decréscimo.
Costil et al. 1985	11	5 meses	8 Universitários	Efeitos do treino árduo seguido de destreino	Aumento da FFK e FOS no deltoide, sem perdas acentuadas com o destreino.
Kirwan et al. 1988	9	2 semanas	12 Universitários	Efeito do aumento da intensidade	Aumento dos níveis de CK.
Costil et al. 1991	10.5	25 semanas	24 Universitários	Efeito do aumento do volume	Aumento da CS no deltoide e dos níveis de CK.
Mujika et al. 1996	11	16 semanas	8 nadadores de elite	Efeitos do treino árduo seguido de taper	Níveis de CK inalterados.

CK - creatina kinase; HEX – hexokinase; FFK – fosofructokinase; FOS – fosforilase; CS – citrato sintase.

## DISCUSSÃO

O objetivo da presente revisão foi descrever o estado da arte sobre os efeitos do treino anual nas micro-variáveis fisiológicas de nadadores de elite. Os diferentes resultados entre estudos parecem

dever-se à heterogeneidade dos desenhos experimentais. Mesmo assim, é possível identificar uma tendência na resposta ao treino anual nas diversas componentes.

### **Composição sanguínea**

Quatro estudos analisaram os efeitos do treino a longo prazo na modificação de parâmetros hematológicos. Dois desses estudos demonstraram que os valores de hemoglobina tendem a diminuir em períodos de elevada carga de treino, aumentando posteriormente em fases de reduzida carga ou taper<sup>10,11</sup>. Santiago et al.<sup>12</sup> verificaram um decréscimo do hematócrito (homens: 5,8%; mulheres: 11,6%) na fase de elevado volume de treino, seguido de um aumento (homens: 7,2%; mulheres: 7,4%) em fases de alta intensidade. Já para Mackinnon et al.<sup>13</sup> a quantidade de hemoglobina e o número de eritrócitos permaneceu inalterada após 4 semanas de treino intenso.

Aparte deste tipo de análise, a observação sanguínea sobre parâmetros imunológicos tem sido vista como uma adaptação adicional ao treino intenso. Três estudos debruçaram-se nos efeitos do treino anual sobre o sistema imunitário de nadadores. Morgado et al.<sup>14</sup> detetaram modificações no número de monócitos (de 468 para 429 células/ $\mu$ l) e neutrófilos (de 4536 para 3929 células/ $\mu$ l) em nadadores sujeitos a 24 semanas de treino com alta intensidade e volume. Rama et al.<sup>15</sup> determinaram que 67% dos problemas respiratórios emergentes em períodos de treino de alta intensidade, foram acompanhados com um decréscimo nas células de defesa do sistema imunitário (17 a 27% de perda). No entanto, Glesson et al.<sup>16</sup> observaram valores inalterados no número de linfócitos-T após períodos alargados de treino de elevado volume.

Embora sejam escassas as evidências, parece que a execução regular de análises sanguíneas com exposição detalhada de informação hematológica e imunitária, pode ajudar os treinadores a detetar um desajuste na carga de treino, e evitar uma probabilidade aumentada de risco de saúde para os seus atletas.

### **Secreção hormonal**

Nove estudos reportaram evidências sobre a resposta hormonal de nadadores sujeitos a vários modelos de treino. Aumentos nos valores de cortisol (de ~18 para ~24  $\mu$ g/dl) foram detetados após um período de treino com incremento significativo no volume total de nado<sup>17,18</sup>. Os aumentos parecem ser superiores nas mulheres quando comparadas com os homens. Em contrapartida, outros estudos sugerem uma manutenção das concentrações de cortisol, testosterona e norepinefrina após os vários períodos de treino anual<sup>13,20,21,22,23,24</sup>. Apesar de ser consensual que qualquer modificação abrupta na carga de treino poderá despoletar uma resposta hormonal, provavelmente as amostras reduzidas e a disparidade entre as ocasiões de avaliação, poderão ajudar a explicar estas diferenças entre estudos.

Dois outros estudos tentaram relacionar a variação das concentrações hormonais diretamente com o resultado desportivo. Tanto Hooper et al.<sup>25</sup> como Atlaoui et al.<sup>26</sup> observaram que os aumentos nas concentrações de norepinefrina durante o período de taper, tiveram uma elevada capacidade preditiva ( $r^2 = 0,82$  e  $r = 0,60$ , respetivamente) no rendimento final dos nadadores em prova.

Deste modo, as alterações nas concentrações hormonais obtidas quer por amostra sanguínea ou salivar podem ajudar a identificar os estados de forma dos atletas e a redefinir processos de periodização.

### Atividade enzimática

Sete estudos objetivaram entender as alterações na atividade enzimática em resposta ao treino. Aumentos da atividade enzimática foram observados no músculo deltóide após aumentos da carga de treino em volume e intensidade<sup>27,28</sup>. Nestas mesmas condições, os valores da creatina kinase aumentam<sup>18, 29</sup>. Deste modo, as series de treino intenso parecem aumentar os níveis de atividade enzimática nos músculos mais solicitados e impedindo a manifestação do esforço desejado em exercício prolongado. No entanto, a função bioquímica do músculo parece restaurar-se durante os períodos de recuperação e reduzir os valores enzimáticos para níveis normais. De facto, alguns estudos reportam aumentos dos valores de creatina kinase após períodos de treino intenso e a sua redução durante as fases de descanso ou taper

<sup>24, 30</sup>

Embora a avaliação enzimática possa ser feita diretamente por biopsia muscular, a técnica demonstra-se demasiado invasiva para ser utilizada em atletas de elite. O controlo enzimático regular por meio de amostras sanguíneas conjuntamente com outros parâmetros fisiológicos poderá auxiliar na identificação da forma do atleta e precaver estados de *overtraining* em momentos decisivos da época.

### CONCLUSÕES

As alterações nas micro-variáveis promovidas pelo processo de treino podem sugerir sintomas de *overtraining* e risco de saúde acrescido para os nadadores. A monitorização regular pelo uso de amostras sanguíneas e/ou salivares poderá ser um passo determinante para os treinadores controlarem e avaliarem de uma forma mais efetiva o seu processo de treino.

### REFERÊNCIAS

1. Lavoie JM, Montpetit RR. Applied physiology of swimming. Sports Med 1986; 3:165-89.
2. Toussaint HM, Beek PJ. Biomechanics of competitive front crawl swimming. Sports Med 1992; 13(1):8-24.
3. Smith DJ, Norris SR, Hogg JM. Performance evaluation of swimmers: scientific tools. Sports Med 2002; 32(9):539-554.
4. Barbosa TM, Bragada JA, Reis VM et al. Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. J Sci Med Sport 2010; 13:262-269.
5. Costa MJ, Bragada JA, Marinho DA et al. Longitudinal interventions in elite swimming: a systematic review based on energetics, biomechanics, and performance. J Strength Cond Res 2012; 26(7):2006-2016.
6. Aspenes ST, Karlsen T. Exercise-training intervention studies in competitive swimming. Sports Med 2012; 42(6):527-543.
7. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. PLoS Med 2009; 6(6):e1000097.
8. Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and nonrandomized studies of health care interventions. J Epidemiol Community Health 1998; 52: 377–384.
9. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 1977; 33: 159-174
10. Rushall BS, Busch JD. Hematological responses to training in elite swimmers. Can J Appl Sport Sci 1980; 5(3):164-169.

11. Mujika I, Padilla S, Geysant A et al. Hematological responses to training and taper in competitive swimmers: relationships with performance. *Arch Physiol Biochem* 1998; 105(4):379-385.
12. Santhiago V, da Silva AS, Papoti M et al. Responses of hematological parameters and aerobic performance of elite men and women swimmers during a 14-week training program. *J Strength Cond Res* 2009; 23(4):1097-1105.
13. Mackinnon LT, Hooper SL, Jones S et al. Hormonal, immunological, and hematological responses to intensified training in elite swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29(12):1637-1645.
14. Morgado JM, Rama L, Silva I et al. Cytokine production by monocytes, neutrophils, and dendritic cells is hampered by long-term intensive training in elite swimmers. *Eur J Appl Physiol* 2012; 112(2):471-482.
15. Rama L, Teixeira AM, Matos A, et al. Changes in natural killer cell subpopulations over a winter training season in elite swimmers. *Eur J Appl Physiol* 2013; 113(4):859-868.
16. Gleeson M, Pyne DB, McDonald WA et al. In-vivo cell mediated immunity in elite swimmers in response to training. *J Sci Med Sport* 2004; 7(1):38-46.
17. Kirwan JP, Costill DL, Flynn MG et al. Physiological responses to successive days of intense training in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1988; 20(3):255-259.
18. Costill DL, Thomas R, Robergs RA et al. Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Med Sci Sports Exerc* 1991; 23:371-377.
19. Tyndall GL, Kobe RW, Houmard JA. Cortisol, testosterone, and insulin action during intense swimming training in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996; 73(1-2):61-65.
20. Hooper SL, Mackinnon LT, Gordon RD et al. Hormonal responses of elite swimmers to overtraining. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25(6):741-747.
21. Hakkinen K, Keskinen KL, Alén M et al. Serum hormone concentrations during prolonged training in elite endurance-trained and strength trained athletes. *Eur J Appl Physiol* 1989; 59:233-238.
22. Flynn MG, Pizza FX, Boone JB Jr et al. Indices of training stress during competitive running and swimming seasons. *Int J Sports Med* 1994; 15(1):21-26.
23. Mujika I, Chatard JC, Geysant A. Effects of training and taper on blood leucocyte populations in competitive swimmers: relationships with cortisol and performance. *Int J Sports Med* 1996; 17(3):213-217.
24. Mujika I, Chatard JC, Padilla S et al. Hormonal responses to training and its tapering off in competitive swimmers: relationships with performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996; 74(4):361-366.
25. Hooper SL, Mackinnon LT, Howard A. Physiological and psychometric variables for monitoring recovery during tapering for major competition. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31(8):1205-1210.
26. Atlaoui D, Duclos M, Gouarne C et al. 24-hr urinary catecholamine excretion, training and performance in elite swimmers. *Int J Sports Med* 2006; 27:314-321.
27. Houston ME, Wilson DM, Green HJ et al. Physiological and muscle enzyme adaptations to two different intensities of swim training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1981; 46:283-291.
28. Costill DL, Fink WJ, Hargreaves M et al. Metabolic characteristics of skeletal muscle during detraining from competitive swimming. *Med Sci Sports Exerc* 1985; 17(3):339-43.
29. Burke ER, Falsetti HL, Feld RD et al. Creatine kinase levels in competitive swimmers during a season of training. *Scand J Sports Sci* 1982; 4:1-4.
30. Millard M, Zauner C, Cade R et al. Serum CPK levels in male and female world class swimmers during a season of training. *J Swim Res* 1985; 1(2):12-16.