

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ATIVIDADE FÍSICA, DESEMPENHO
MOTOR E SAÚDE**

**TREINAMENTO HIPÓXICO INTERMITENTE
MODIFICA VARIÁVEIS HEMATOLÓGICAS
E DESEMPENHO FÍSICO EM ALTITUDE
SIMULADA**

**Aluno: Marcelo Marques Duarte
Orientador: Luiz Osório Cruz Portela**

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

TREINAMENTO HIPÓXICO INTERMITENTE MODIFICA VARIÁVEIS HEMATOLÓGICAS E DESEMPENHO FÍSICO EM ALTITUDE SIMULADA

Marcelo Marques Duarte*

Luiz Osório Cruz Portela**

Resumo

O objetivo deste estudo foi verificar o efeito do Treinamento Hipóxico Intermitente (THI) sobre as variáveis hematológicas (série branca, vermelha e plaquetas) e o desempenho físico em altitude simulada. O grupo avaliado foi composto por 22 atletas profissionais de futebol, com idade média de $26,78 \pm 4,08$ anos, que deveriam disputar jogo na altitude 3.600 metros pela Taça Libertadores da América. Os grupo foi submetido a sessões de uma hora de THI, na frequência de cinco vezes por semana, pelo período de quatro semanas. A concentração de oxigênio variou de 14%, no início, a 12% ao final do período de exposição. Antes e depois do THI foi realizado um hemograma e teste de corrida em hipoxia. Através do teste “t” de Student, foi verificado aumento significativo ($p < 0,05$) da concentração de hemoglobina corpuscular média (1,85%), plaquetas (24,25) e linfócitos (15,40). Também foi observada redução significativa de monócitos (54,21%), neutrófilos segmentados (22,47%), neutrófilos totais (23,79) e reticulócitos (9,33). A distância média percorrida anteriormente ao THI foi de $759,85 \pm 228,72$ m, passando para $1037,12 \pm 279,07$ m no teste realizado após o treinamento. A presente investigação apresentou aumento da capacidade de corrida sem alterações no número de hemoglobina, o que pode ser atribuído a alterações ocorridas a nível celular. O aumento de linfócitos deve ser melhor investigado, pois pode sugerir a utilização do THI nas populações com quadro de imunossupressão.

Palavras-chave: Treinamento. Hipoxia. Corrida.

* Especialista em Atividade Física , Desempenho Motor e Saúde pela Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

** Professor Doutor do Departamento de Esportes Coletivos da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

INTRODUÇÃO

Atletas de modalidades com predominância aeróbia buscam, através do aumento da capacidade de transporte e de armazenamento de oxigênio (O₂) pelo sangue, a elevação da performance (LEVINE et al., 2002; TRUIJENS et al., 2003; NEYA et al., 2007). No meio esportivo, a relação difundida entre o aumento da concentração de hemoglobina, ou número de eritrócitos, e a melhora da performance é responsável pelo uso abusivo de substâncias proibidas. Um exemplo é o uso da eritropoietina exógena, encontrada entre os praticantes destas modalidades.

O treinamento em altitude é um método muito praticado com a finalidade aumentar o número de eritrócitos. Por este motivo é comum aos atletas de endurance destinarem um período de permanência em altitude moderada durante suas temporadas de treinamento (NEYA et al., 2007; ROELS et al., 2007). Com a demanda houve o desenvolvimento de novas concepções, métodos de treinamento em altitude, como por exemplo, o "living high-training low" (LEVINE E STRAY-GUNDERSEN, 1997).

Mais recentemente surgiram simuladores de altitude, capazes de gerar ar hipóxico e propiciar, ao nível do mar, a realização do método denominado de Treinamento Hipóxico Intermitente (THI). Esse método utiliza reduzido tempo de exposição, comparado com o treinamento de altitude convencional, e atenua as situações inconvenientes de mal estar, comuns à exposição hipóxica (JULIAN et al., 2004). Apesar de um número considerável de pesquisas sobre o treinamento em hipoxia, ainda persistem opiniões divergentes a respeito da eficácia desse método, suas aplicações e consequências (TRUIJENS et al., 2003; JULIAN et al., 2004; DOUFUR et al., 2006; BÄRTSCH et al., 2008). Tal fato suscita a investigação científica.

Menos investigado encontra-se o efeito do THI sobre a parte branca do sangue. Em trabalho com animais de laboratório, Simões et al. (2011) relatam alteração nestas variáveis. A alteração em leucócitos implica impacto direto nas relações de processo de infecções e desordens imunológicas (WANG E HUANG, 2005).

Equipes de futebol profissional frequentemente competem em altitude pela Taça Libertadores da América. Nesse esporte, a resistência aeróbia é amplamente requisitada devido à duração média de 90 minutos de cada partida (DA SILVA, 2011). Essa capacidade se torna ainda mais relevante se considerarmos que há perda de desempenho em altitude, quando os atletas não estão aclimatados (JULIAN et al., 2004; GELLER, 2005), reduzindo-se chances de vitória.

Dessa forma, o presente estudo tem por objetivo avaliar o efeito da hipoxia (normobárica) intermitente sobre as variáveis do hemograma (plaquetas, série vermelha e branca) e o desempenho de corrida.

MATERIAIS E MÉTODOS

Grupo de estudo

O grupo foi formado por vinte e dois (22) atletas profissionais de futebol, com idade média de $26,78 \pm 4,08$ anos, que disputariam jogos pela Copa Libertadores da América na altitude de 3600m. Todos os atletas foram avaliados e liberados pelo departamento médico do time para participação nesta pesquisa, assinando também o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. A metodologia utilizada na presente pesquisa foi aprovada previamente pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de Santa Maria (protocolo 0260.0.243.000-09).

Procedimentos Experimentais

Os atletas foram submetidos a um teste de esteira e a um hemograma completo para diagnóstico do estado inicial e final. O THI foi realizado após os treinos específicos para futebol, que visavam campeonato brasileiro, regional e taça libertadores.

Treinamento Hipóxico Intermitente (THI)

Foram totalizadas vinte (20) sessões de hipoxia, nas dependências do clube, realizadas cinco (05) vezes por semana, cada uma com duração diária de uma (01) hora. A concentração inicial foi de 14% (equivalente a 3200m de altitude) de oxigênio (O_2), até as últimas sessões que foram realizadas à concentração de 12% (equivalente a 4500m de altitude) de O_2 . Para o monitoramento dos atletas durante as sessões, foi utilizada a oximetria de pulso, mensurada pelo equipamento de exposição à hipoxia. A saturação periférica foi mantida entre 89% até 83%, desde a primeira até a última sessão. Todas as exposições foram realizadas em repouso, com os atletas sentados. Para a exposição dos atletas à hipoxia, utilizou-se do equipamento GO_2 -Altitude[®], capaz de gerar hipoxia normobárica, criando-se um sistema respiratório fechado para inspiração, com o uso de máscaras, traquéias e sacos de douglas. Válvulas respiratórias permitiam a exalação do ar expirado para o meio ambiente.

Análise e Coleta Sanguínea

As análises sanguíneas foram realizadas, em um laboratório de análises clínicas, por profissionais especializados. As coletas ocorreram um dia antes do início e um após o THI. As amostras sanguíneas foram analisadas pelo método automatizado. Na série vermelha foram analisados: eritrócitos, hematócrito (Hct), hemoglobina (Hb), volume corpuscular médio (VCM), hemoglobina corpuscular média (HCM), concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM) e reticulócitos totais. Na série branca foram analisados: leucócitos, neutrófilos segmentados, neutrófilos totais, eosinófilos, linfócitos e monócitos. Também foi realizada contagem de plaquetas.

Teste de Esteira em Hipoxia

O teste de corrida também foi realizado nos mesmos períodos (antes e após THI) que a coleta sanguínea. O teste consistia em um aquecimento inicial de 05 (cinco) minutos com velocidade a $9,0 \text{ km.h}^{-1}$, já em ambiente hipóxico (13 % de O_2). Imediatamente após o aquecimento, a velocidade era aumentada para $14,0 \text{ km.h}^{-1}$ e mantida até o final do teste, permanecendo com a mesma concentração de O_2 . O tempo de corrida na velocidade de 14,0 foi anotado.

Para a realização do teste, foi utilizada uma esteira ergométrica da marca Inbramed (modelo ATL 10200). Como se trata de um teste de resistência, a distância final do teste foi registrada no momento da exaustão do atleta, pelo monitor da esteira.

Tratamento Estatístico

Na análise dos dados, foi utilizada a estatística descritiva (para exibição dos dados em média \pm desvio padrão). Posteriormente os dados foram tratados pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Após confirmada a normalidade, os dados foram submetidos ao teste “t” de Student para amostras pareadas, adotando-se um nível de significância de 5%. Para a realização dos testes foi utilizado o programa SPSS, versão 16.0 para Windows.

RESULTADOS

Foi observado aumento, de aproximadamente 36%, no desempenho de corrida em hipoxia, quando comparado o pré-teste ao pós-teste. A distância média percorrida

anteriormente ao THI foi de $759,85 \pm 228,72$ m, passando para $1037,12 \pm 279,07$ m, no teste realizado após o treinamento, podendo ser visualizada na figura 1.

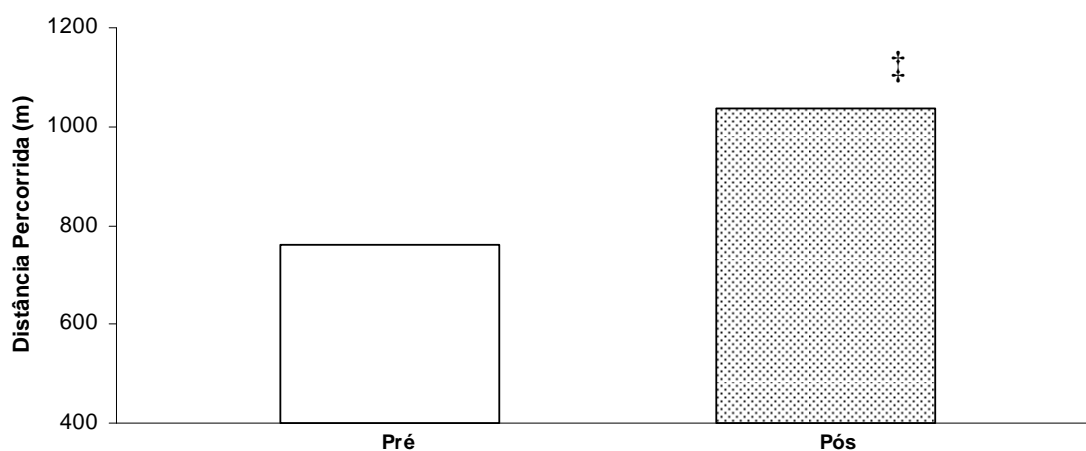


Figura 1 Tempo de corrida médio do grupo antes (Pré) e após (Pós) THI; ‡ $P < 0,001$.

A tabela 1 apresenta os valores medidos na série vermelha e contagem de plaquetas, sendo possível notificar diferença estatisticamente significativa para CHCM, plaquetas e reticulócitos. Essas duas variáveis aumentaram sua contagem após o THI, aproximadamente, 1,85% para o CHCM e 24,25% para o número de plaquetas. Diferentemente, os reticulócitos tiveram redução de aproximadamente 9,33%. As outras variáveis da série vermelha não apresentaram diferença estatisticamente significativa.

Tabela 1 - Análise Sanguínea da Série Vermelha e Plaquetas.

	Pré-teste	Pós-teste
Eritrócitos ($10^6/\text{mm}^3$)	$4,98 \pm 0,42$	$4,85 \pm 0,28$
Hct %	$44,65 \pm 3,32$	$43,55 \pm 2,82$
Hb (g/dL)	$14,74 \pm 1,06$	$14,67 \pm 1,29$
VCM (fl)	$89,88 \pm 4,46$	$89,81 \pm 3,68$
HCM (pg)	$29,70 \pm 1,95$	$30,23 \pm 1,68$
CHCM (g/dL)	$33,03 \pm 0,93$	$33,65 \pm 1,03^*$
Reticulócitos ($10^3/\text{mm}^3$)	$68,45 \pm 18,05$	$62,82 \pm 12,79^*$
Plaquetas ($10^3/\text{mm}^3$)	$204,59 \pm 31,03$	$270,09 \pm 59,61^\ddagger$

Dados em média \pm desvio padrão. Hct, hematócrito; Hb, hemoglobina; VCM, volume corpuscular média; HCM, hemoglobina corpuscular média; CHCM, concentração de hemoglobina corpuscular média; * $P < 0,05$; ‡ $P < 0,001$.

Na análise sanguínea da série branca não houve diferença estatisticamente significativa para a concentração de leucócitos, porém foi observada diferença em algumas células integrantes dessa série do tecido sanguíneo. Houve queda na contagem de neutrófilos totais (23,79%), neutrófilos segmentados (22,47%) e monócitos (54,21%). Diferentemente, para a contagem de linfócitos foi observado aumento de 15,40%.

Tabela 2 - Análise Sanguínea da Série Branca.

	Pré-teste	Pós-teste
Leucócitos	6372,73 ± 1307,19	5977,27 ± 936,52
Neutrófilos Totais	3626,95 ± 1187,84	2929,82 ± 688,33†
Neutrófilos Segmentados	3548,95 ± 1180,63	2897,73 ± 663,11†
Eosinófilos	171,68 ± 88,93	166,77 ± 112,19
Linfócitos	2176,77 ± 278,96	2573,05 ± 470,62‡
Monócitos	397,32 ± 113,52	257,64 ± 85,06‡

Dados em média ± desvio padrão. Valores correspondem à média do número de células por mm³ (milímetro cúbico) de sangue; † $P < 0,01$; ‡ $P < 0,001$.

DISCUSSÃO

Os resultados da presente investigação mostraram que foi possível obter aumento do desempenho de corrida em hipoxia em consequência às 20 horas de exposição ao THI. Foram encontrados estudos que utilizam hipoxia normobárica em repouso, com a utilização de 13 até 72 horas (KATAYAMA et al., 2003; JULIAN et al., 2004; KATAYAMA et al., 2004; HINCKSON et al., 2006; WOOD et al., 2006; HAMLIN E HELLEMANS, 2007; HINCKSON et al., 2007; TADIBI et al., 2007). Dentre esses, apenas Wood et al. (2006) apresentou melhora para o desempenho físico, utilizando apenas 15 horas de THI, assim como a presente pesquisa.

Uma possível explicação ao aumento da distância de corrida em hipoxia após THI, sem que houvesse aumento no número de células vermelhas, poderia ser atribuído a ocorrência de adaptações a nível mitocondrial. Haseler et al. (1999) reportam, ao analisar a recuperação após exercícios submáximos em normoxia e hipoxia aguda, aumento de aproximadamente 28,5% no tempo de reposição dos estoques de fosfocreatina na situação de hipoxia. No entanto, essa situação se altera para melhor

com o uso de hipoxia crônica, sendo que Ponsot et al. (2006) observaram maior controle respiratório pela creatina e estreitamento da sensibilidade celular aos níveis de ADP/ATP como fatores responsáveis pelas melhoras obtidas em hipoxia. Em consequência disso, houve aumento de desempenho de corrida no ambiente hipóxico. Wood et al. (2006) comprovaram aumento da velocidade máxima média desempenhada em “sprints” repetidos desempenhados em hipoxia, após THI.

Levine (2005) diz ser necessário o incremento no volume de eritrócitos para que haja melhora do desempenho de endurance, em situação de hipoxia. Para Bärstch et al. (2008b) o THI não é recomendado para jogadores de futebol, pois não aumenta a performance em nenhum nível de altitude. Diferentemente desses autores, a presente investigação e outros estudos encontrados (PONSOT et al., 2006; WOOD et al., 2006) obtiveram aumento de performance de corrida (endurance de curta duração) sem que houvesse diferença estatística para as variáveis da série sanguínea vermelha, com exceção da CHCM.

Em nosso meio os mesmos resultados positivos do THI sobre a performance em hipoxia foram relatados por Geller (2005), o qual utilizou protocolo com maior duração (cerca de 30 minutos). O referido autor, assim como no presente estudo, encontrou aumento apenas para CHCM, enquanto o número de eritrócitos, e demais variáveis da parte vermelha não sofreram alteração após sessões de THI em repouso. Uma possível explicação para o aumento do número de CHCM, seria o aumento de HCM associado com a redução dos valores de VCM, uma vez que essas variáveis contribuem para o cálculo de CHCM.

Nos estudos que utilizaram THI em repouso não foi possível encontrar diferença para concentração de Hb (JULIAN et al., 2004; NEYA et al., 2007). Tal resultado para Hb e Hct também foi corroborado por Truijens et al. (2003) e Doufur et al. (2006), utilizando o THI durante a execução de atividades físicas.

Na presente pesquisa não foi constatada redução do número de reticulócitos, o que contraria resultados de estudos que utilizaram THI (KATAYAMA et al., 2004; JULIAN et al., 2004; GELLER, 2005; HAMLIN e HELLEMANS, 2007). Nesses estudos, não houve alteração significativa, permanecendo as concentrações encontradas anteriormente à exposição.

Outra variável que apresentou diferença entre o pré e pós-teste, foi concentração de plaquetas. Para essa variável existem poucos estudos e as reações trombo-inflamatórias

ainda permanecem desconhecidas, quando realizada exposição hipóxica intermitente crônica (WANG et al., 2007)

Com relação à série sanguínea branca, a linfocitose juntamente com neutropenia, já foi observada em estudo (SIMÕES et al., 2011) com modelo animal, após a exposição hipóxica 60 horas de ratos na condição de repouso. Porém, Wang et al. (2007) não encontrou diferença para neutrófilos, linfócitos e monócitos, após 40 horas de exposição em câmara hipóxica normobárica. A linfocitose observada no presente estudo, poderia implicar em melhora da resistência linfática, o que possuiria impacto direto para redução do risco de infecções e desordens imunológicas (WANG E HUANG, 2005). Caso isso venha a se confirmar em outras investigações e poderia se ter uma aplicação do THI como terapia alternativa para desordens imunossupressoras (SIMÕES et al., 2011).

É constatado aumento de espécies reativas de oxigênio (EROS) em ambientes hipóxicos (KEHRER e LUND, 1994; JULIAN et al., 2004; DOSEK et al., 2007). Juntamente a isso, é observado aumento na capacidade anti-oxidante de linfócitos, quando expostos a esse meio cronicamente (WANG e HUANG, 2005). Dessa forma, os linfócitos poderiam auxiliar em processo anti-oxidantes, uma vez que as adaptações são de similar magnitude ao estresse (JULIAN et al., 2004).

CONCLUSÃO

Foi possível observar que após um THI realizado cinco vezes por semana, durante quatro semanas, com duração diária de 1 hora, houve melhora de corrida em protocolo de curta duração. Para esse aumento de desempenho, foram atribuídas alterações a nível celular. O positivo aumento de linfócitos é de grande valia, podendo ser utilizado em pesquisas experimentais com populações que apresentem quadro de imunossupressão. São aconselhados novos estudos que utilizem mais variáveis a respeito dos processos de adaptação envolvidos no THI.

REFERÊNCIAS

BÄRTSCH, P.; DEHNERT, C.; FRIEDMANN-DETTE, B.; TAIDIBI, V. Intermittent hypoxia at rest for improvement of athletic performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, Copenhagen, v. 18, no. 1, p. 50-56, 2008a.

BÄRTSCH, P.; STALIN, B; DVIRAK, J. Consensus statement on playing at different altitude. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, Copenhagen, v. 18, no. 1, p. 96-99, 2008b.

DA SILVA, J. F.; DITTRICH, N.; GUGLIELMO, L., G. A. Avaliação Aeróbica no Futebol. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, Florianópolis, v. 13, no. 5, p. 384-391, 2011.

DA SILVA, J. F.; MACEDO, D. V. Exercício físico, processo inflamatório e adaptação: uma visão geral. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, Florianópolis, v. 13, no. 4, p. 320-328, 2011

DOSEK, A. et al. High Altitude and oxidative stress. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, Amsterdam, v. 158, p. 128-131, 2007.

DUFOUR, S. P. et al. Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners: I. Improvement in aerobic performance capacity. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 100, p. 1238-1248, 2006.

GELLER, C.A. **Efeitos do treinamento hipóxico intermitente sobre variáveis hematológicas e capacidade de performance**. 2005. 132f. Tese (Doutorado em Ciência do Movimento Humano)-Centro de Educação Física e Desportos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

HAMLIN, M. J.; HELLEMANS, J. Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes. **Journal of Sports Sciences**, London, v. 25, no. 4, p. 431-441, 2007.

HASELER, L. J.; HOGAN, M. C.; RICHARDSON, R. S. Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 86, p. 2013-2018, 1999.

HINCKSON, E. A.; HAMLIN, M. J.; WOOD, M. R.; HOPKINS, W.G. Game performance and intermittent hypoxic training. **Brazilian Journal of Sports Medicine**, São Paulo, v. 41, p. 537-539, 2007.

HINCKSON, E. A.; HOPKINS, W. G.; DOWNEY, B. M., SMITH, T. B. R. J. The effect of intermittent hypoxic training via a hypoxic inhaler on physiological and performance measures in rowers: a pilot study. **Journal of Science and Medicine in Sport**, Pennant Hills, v. 9, p. 177-180, 2006.

JULIAN, C. G. et al. Intermittent normobaric hypoxia does not alter performance or erythropoietic markers in highly trained distance runners. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 96, p. 1800-1807, 2004.

KATAYAMA, K.; MATSUO, H.; ISHIDA, K.; MORI, S.; MIAYUMURA, M. Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency. **High Altitude Medicine and Biology**, New York, v. 4, p. 291-304, 2003.

KATAYAMA, K.; SATO, K.; MATSUO, H. Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.92, p. 75-83, 2004.

LEVINE, B. D. Intermittent Hypoxic Training: Fact and Fancy. **High Altitude Medicine and Biology**, New York, v. 3, no. 2, p. 177-193, 2002.

LEVINE, B. D.; STRAY-GUNDERSEN, J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 83, p. 102-112, 1997.

LEVINE, B. D.; STRAY-GUNDERSEN, J. Point: Positive effects of intermittent hypoxia (live high:train low) on exercise performance are mediated primarily by augmented red cell volume. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 99, p. 2053-2055, 2005.

NEYA, M.; ENOKI, T.; KUMAI, Y.; SUGOH, T.; KAWAHARA, T. The effects of nightly normobaric hypoxia and high intensity training under intermittent normobaric hypoxia on running economy and hemoglobin mass. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 103, p. 828-834, 2007.

PONSOT, E. et al. Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II. Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 100, p. 1249-1257, 2005.

ROELS, B. et al. Effects of intermittent hypoxic training on amino and fatty acid oxidative combustion in human permeabilized muscle fibres. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 102, no. , p. 79-86, 2007.

SIMÕES, R. R. et al. Intermittent hypoxic training affects the hematological parameters in Wistar rats. In: XXVI Reunião Anual da Federação de Sociedades de Biologia Experimental- FESBE, 2011, Rio de Janeiro. XXVI Reunião Anual da Federação de Sociedades de Biologia Experimental- FESBE, 2011.

TADIBI, V.; DEHNERT, C.; MENOLD, E.; BÄRTSCH, P. Unchanged anaerobic and aerobic performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 39, p. 858-864, 2007.

TRUIJENS, M. J.; TOUSSAINT, H. M.; DOW, J.; LEVINE, B. D. Effect of high intensity hypoxic training on sea-level swimming performance. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 94, p. 733-743, 2003.

WANG, J-S; HUANG, Y-H. Effects of exercise intensity on lymphocyte apoptosis induced by oxidative stress in men. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.95, p. 290-297, 2005.

WANG, J-S.; LIN, H-Y.; CHENG, M-L.; WONG, M-K. Chronic intermittent hypoxia modulates eosinophil- and neutrophil-platelet aggregation and inflammatory cytokine secretion caused by strenuous exercise in men. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 103, p. 305-314, 2007.

WOOD, M. R.; DOWSON, M. N.; HOPKINS, W. G. Reunrunning performance after adaptation to acutely intermittent hypoxia. **European Journal of Sport Science**, London, v. 6, p. 163-172, 2006.