

Artigo Original

Efeito do treinamento físico moderado e intenso sobre os mecanismos de defesa de ratos adultos

Glívia Maria Barros Delmondes^{1,2}
Danielly Cantarelli de Oliveira³
Patrícia Clara Pereira dos Santos⁴
Marcelo Tavares Viana^{1,5}
Maria do Socorro Brasileiro Santos⁶
Célia Maria Machado Barbosa de Castro^{1,7}
Maria Amparo Andrade⁴

¹ Laboratório de Imunopatologia "Keizo-Asami", Setor de Microbiologia Clínica "Ageu Magalhães", Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

² Departamento de Pós-Graduação em Patologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

³ Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

⁴ Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

⁵ Departamento de Pós-Graduação em Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

⁶ Departamento de Educação Física, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil

⁷ Departamento de Medicina Tropical, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

Resumo: Objetivo: Analisou-se o impacto do treinamento físico moderado (TFM) e intenso (TFI) sobre o perfil leucocitário e a atividade microbicida de macrófagos alveolares, em 29 ratos machos *Wistar*. Métodos: Foram formados três grupos: controle-sedentário (CS), treino-moderado (TM) e treino-intenso (TI). Os TFM e TFI foram efetuados através da natação, com aumento progressivo de carga conforme o peso corporal, até um máximo de 3% para o TFM, e 5% para o TFI. As coletas de sangue para contagem total e diferencial dos leucócitos foram automatizadas através do analisador hematológico Sysmex XT-1800i (Roche®) antes e após o treino. E ao final realizou-se o lavado broncoalveolar para determinar a taxa de fagocitose e a produção de óxido nítrico (ON) de macrófagos. Resultados: O grupo TM apresentou valores maiores para o número de leucócitos ($12,77 \pm 2,0 \times 17,25 \pm 2,4 \text{ } 10^3/\text{mm}^3$), linfócitos ($8,87 \pm 1,0 \times 12,5 \pm 2,1 \text{ } 10^3/\text{mm}^3$) e neutrófilos ($0,99 \pm 0,5 \times 3,18 \pm 1,0 \text{ } 10^3/\text{mm}^3$), $p < 0,05$. Apresentou também uma maior produção de ON ($15,77 \pm 4,9 \mu\text{mols/mL}$) e da taxa de fagocitose ($38,6\% \pm 8,65$) em relação ao CS ($6,58 \pm 1,9 \mu\text{mols/mL}$ e $24,4\% \pm 7,40$, respectivamente). Enquanto que, o grupo TI apresentou menor taxa de fagocitose ($13,1\% \pm 1,52 \times 24,4\% \pm 7,40$), maior produção de ON ($38,40 \pm 2,1 \times 6,58 \pm 1,9 \mu\text{mols/mL}$) e aumento apenas, no valor dos neutrófilos ($2,6 \pm 1,4 \times 0,99 \pm 0,5 \text{ } 10^3/\text{mm}^3$) quando comparado ao CS, $p < 0,001$. Conclusões: O TFM proporcionou melhora nos mecanismos de defesa dos animais adultos. Enquanto que o TFI reduziu a taxa de fagocitose o que poderá implicar em prejuízo da atividade microbicida dos animais.

Palavras-chave: Exercício físico. Leucócitos. Fagocitose. Óxido nítrico.

Effect of moderate and intense physical training on the mechanisms of defense in adult rats

Abstract: Objective: To assess the impact of moderate (MPT) and intense physical training (IPT) on the white blood cell profile and the microbicide activity of alveolar macrophages in 29 Wistar male rats. Methods: The sample was separated into three groups: control group (sedentary), moderate training (MT), and intense training groups (IT). Swimming was the tool used to classify both moderate and intense training groups with a progressive increase of exercise load regarding body weight (up to 3% for the moderate physical training and 5% for the intense training group). The blood samples used to count total and differential leucocytes were automated by a hematological analyzer Sysmex XT-1800i (Roche®) before and after training sessions. At the end of the process, a bronchoalveolar lavage was carried out so to determine the amount of phagocytosis and the production of nitric oxide (NO) of the macrophages. Results: The MT showed an increase in the number of leucocytes ($12,77 \pm 2,0 \times 17,25 \pm 2,4 \text{ } 10^3/\text{mm}^3$), lymphocytes ($8,87 \pm 1,0 \times 12,5 \pm 2,1 \text{ } 10^3/\text{mm}^3$) and neutrophils ($0,99 \pm 0,5 \times 3,18 \pm 1,0 \text{ } 10^3/\text{mm}^3$), $p < 0,05$. There was also a higher production of NO ($15,77 \pm 4,9 \mu\text{mols/mL}$) as well as a higher phagocytosis rate of ($38,6\% \pm 8,65$) as to the control group ($6,58 \pm 1,9 \mu\text{mols/mL}$ and $24,4\% \pm 7,40$, respectively). Whereas the IT showed a smaller phagocytosis rate ($13,1\% \pm 1,52 \times 24,4\% \pm 7,40$), a greater production of NO ($38,40 \pm 2,1 \times 6,58 \pm 1,9 \mu\text{mols/mL}$) and an increase only in the number of neutrophils ($2,6 \pm 1,4 \times 0,99 \pm 0,5 \text{ } 10^3/\text{mm}^3$) compared to the control group, $p < 0,001$. Conclusions: The MPT induced a significant improvement in the defense mechanisms of the adult rats. On the other hand, the IPT induced a reduction in phagocytosis rate which could lead to the microbicide activity of the rats being damaged.

Keywords: Physical exercise. Leukocytes. Phagocytes. Nitric oxide.

Introdução

O exercício físico pode gerar desvio na homeostase de um organismo levando à reorganização das respostas em diversos sistemas orgânicos, entre eles, o sistema imunológico ([VULCZAK](#); MONTEIRO, 2008). Diferentes tipos e cargas de exercício físico podem provocar alterações distintas nos parâmetros imunes ([LEANDRO](#) et al., 2007). Enquanto o exercício moderado regular está comumente associado à diminuição da susceptibilidade às infecções, o exercício exaustivo e de longa duração está associado a sintomas de imunossupressão transitória aumentando o risco de infecção ([KRINSKI](#), et al., 2008; [NUNES](#); FERNANDES, 2009).

As respostas imunológicas na atividade física regular, principalmente, de caráter aeróbio de leve a moderada intensidade podem refletir alterações em subpopulações dos leucócitos sanguíneos e da atividade macrófaga ([FERREIRA](#) et al., 2007), indicando fortalecimento da resposta imune pela ação do treinamento ([LEANDRO](#) et al., 2007). Tais adaptações podem ser observadas pelo aumento no número de alguns tipos de leucócitos, entre eles, os linfócitos ([DIAS](#) et al., 2007) ou pelo aumento da taxa de fagocitose e da produção de óxido nítrico pelos macrófagos alveolares ([NASCIMENTO](#) et al., 2004). Desta forma, o treinamento físico de intensidade moderada parece promover adaptações fisiológicas e imunológicas que repercutem de forma positiva no organismo. Entretanto, em indivíduos submetidos à atividade física extenuante, de longa duração, a capacidade fagocitária de macrófagos e o combate aos micro-organismos e as células tumorais podem ficar seriamente afetadas nestas situações ([KRINSKI](#), et al., 2008).

Estudos têm demonstrado que em atletas de elite, há grande incidência de infecções durante os períodos de treinamento físico intenso e prolongado ([ROGERO](#) et al., 2005; [VIEIRA](#), 2007). Desgaste das funções do organismo com consequente alteração da resposta imunológica pela exagerada produção de radicais livres e incremento do estresse oxidativo nos tecidos, pode ocorrer neste caso ([CRUZAT](#) et al., 2007). Os danos associados ao estresse oxidativo induzido pelo exercício intenso estão relacionados à diminuição do desempenho físico, à fadiga muscular, aos danos musculares e até a

síndrome de sobretreinamento ([SCHNEIDER](#) et al., 2009) podendo assim, promover alterações desfavoráveis no sistema imunológico ([QUINDRY](#) et al., 2003).

Diante do exposto torna-se relevante estudar se o treinamento físico crônico moderado ou intenso pode interferir em parâmetros da resposta imune, contagem total e diferencial dos leucócitos além da atividade microbicida de macrófagos alveolares em ratos adultos. Esses resultados poderão indicar que tipo de exercício interferiria mais adequadamente na otimização das respostas protetoras do organismo.

Materiais e métodos

Foram utilizados 29 ratos machos da linhagem *Wistar*, com 60 dias de idade, da colônia do Departamento de Nutrição/UFPE. Todos foram mantidos em biotério, em gaiolas coletivas (com 4 animais por gaiola), a uma temperatura de $23\pm 1^{\circ}\text{C}$, com ciclo claro/escuro de 12h e livre acesso à água-ração (Labina-Purina®, São Paulo, Brasil). O peso corporal dos animais foi monitorado semanalmente durante o período do experimento. Este estudo foi aprovado pela comissão de ética em experimentação animal/UFPE, nº 004907/2007-44, seguindo as normas do Comitê Brasileiro de Experimentação animal (COBEA).

Treinamento físico: Os animais foram submetidos ou não a um programa de treinamento físico moderado ou intenso com natação e foram divididos nos seguintes grupos: controle- sedentário (CS, n=9), treinado - moderado (TM, n=10), treinado - intenso (TI, n=10).

Para o TM utilizou-se o protocolo experimental de [Nascimento](#) et al. (2004), constituído de 45 minutos por dia, 5 dias por semana, durante 6 semanas e para TI utilizou-se o protocolo experimental de [Leitão](#) (2006), constituído de 90 minutos por dia, 5 dias por semana, durante 6 semanas.

Os animais treinados foram adaptados ao exercício. Essa adaptação incluiu aumento progressivo do tempo do exercício físico na água (1º dia=10min, 2º dia=20min, 3º dia=30min, 4º dia=40min e 5º dia=40min) para TM e (1º dia=30min, 2º dia=45min, 3º dia=60min, 4º dia=75min e 5º dia=90min) para TI. Após o término da adaptação, os animais foram submetidos ao treinamento no período entre 11 e

15h, conforme o protocolo do grupo ao qual o animal pertenceu, 5 dias por semana, durante 6 semanas, com incremento da intensidade do esforço (sobrecarga progressiva segundo o peso corporal- 2ª semana = 1%; 3ª e 4ª semanas = 2%; 5ª e 6ª semanas = 3%) para TM e (sobrecarga progressiva segundo o peso corporal- 2ª semana = 2%; 3ª e 4ª semanas = 4%; 5ª e 6ª semanas = 5%) para TI. A sobrecarga era fixada a cauda do animal através de uma liga de borracha.

Para a natação utilizou-se um tanque coletivo (com 6 animais por vez) com 123 cm de comprimento, 91cm de largura e 75cm de altura, contendo água numa profundidade de 40cm, para evitar que os ratos apoiassem a cauda no fundo do recipiente. O tanque possuía um sistema de aquecimento dotado de termostato com objetivo de manter a temperatura da água entre 30° e 32°C. Para controle, no mesmo período, os animais não treinados foram mantidos em gaiolas de propileno, contendo água suficiente para manter as patas imersas, durante o mesmo período do grupo treinado. Todos os animais após saírem da água, permaneciam por 5min em câmara de aquecimento.

Obtenção das células do sangue periférico: Foram coletadas, antes do início do treino e 24h após a última sessão do treino, alíquota de sangue (3 mL) da cauda dos animais devidamente anestesiados com uretana a 10,5% e cloralose a 0,5%, para contagem total e diferencial de leucócitos. O sangue foi depositado em tubo de 5 mL acrescido 20 µL de ácido etileno diamino tetra acético a 3%, em seguida, os dados foram automatizados e contados através do analisador hematológico Sysmex XT- 1800i (Roche®). No final do período de treinamento (24 h após a última sessão de exercício) todos os animais foram sacrificados para coleta de macrófagos alveolares.

Macrófagos alveolares: Sob anestesia, os animais foram submetidos à cirurgia para exposição da traqueia para coleta de macrófagos alveolares através da obtenção do lavado broncoalveolar (LBA). O LBA foi adquirido por injeção de soro fisiológico (SF) à temperatura ambiente, através de cânula plástica inserida na traqueia. Alíquotas de 3mL de SF foram injetadas e imediatamente aspiradas até completar um volume final de 30mL para cada animal ([DE CASTRO](#) et al., 2000).

Taxa de fagocitose: Foram utilizados fungos (*Saccharomyces sp.*) para avaliar a taxa de

fagocitose de acordo com a técnica de [Malagueño](#) et al. (1998). Os fungos foram lavados 2 vezes com solução tamponada de fosfato (PBS), em seguida foram contados em hemocitômetro e ajustadas para 10^8 células e misturados em uma suspensão de macrófagos alveolares obtidos a partir do lavado broncoalveolar (1×10^6 /mL em meio de cultura completo - RPMI 1640). As células (macrófagos e fungos) foram distribuídas em lâminas de microscopia óptica e incubados a 37°C, em atmosfera úmida por 1h. Após esse período, as lâminas foram lavadas, coradas com kit panótico rápido e lidas ao microscópio óptico, com objetiva de 100x sob imersão. A taxa de fagocitose foi obtida como percentual de macrófagos que englobaram o fungo em uma contagem total de 100 células.

Produção de Óxido Nítrico (ON): A liberação de ON foi medida indirectamente usando um ensaio, quantitativo colorimétrico baseado na reação Griess ([DING](#) et al., 1988). Foram utilizadas alíquotas de 100µl por triplicado do sobrenadante da cultura e incubadas com 50 µl do reagente de Griess preparada na hora (1% sulfanilamida, dicloridrato de diamide 0,1% naphthylethylene, e 2,5% de ácido ortofosfórico em meio completo) em temperatura ambiente por 15 min. A absorbância foi medida em um espectofotometro com um filtro de 550nm (Easy leitor EAR 400ft). A concentração de nitritos foi determinada utilizando nitrito de sódio como padrão. Todas as amostras foram testadas contra um branco que corespondia a meio completo incubados por 18 h nas placas, esse mesmo meio foi utilizado nas amostras, na ausência de células. Nenhum dos estímulos ou inibidores utilizados interferiu com o ensaio NO^{2-} em sua faixa linear (0,5-100 mM). Todos os reagentes foram adquiridos da *Sigma Chemical*, St. Louis, MO. Os resultados foram expressos em µM de nitrito por 10^6 macrófago.

Análise estatística

Para a análise da distribuição normal e homogeneidade de variâncias dos dados, utilizou-se os testes ShapiroWillks e Bartlet, respectivamente. Uma vez verificado a distribuição normal dos dados, foi utilizado para a realização das inferências estatísticas, a Análise de Variância, ANOVA *one way*, com post-hoc de Turkey. A significância estatística foi considerada ao nível de $p < 0,05$. Os resultados foram expressos como média e desvio padrão (média ± DP). As análises foram realizadas através do programa estatístico SigmaStat 2.0/ 2000.

Resultados

Analisando a contagem total e diferencial de leucócitos do sangue periférico de ratos adultos intra e entre os grupos CS, TM e TI, no início e final dos treinos moderado e intenso, observou-se

aumento nos valores de leucócitos totais, de linfócitos e de neutrófilos do grupo TM em comparação ao CS; enquanto que no grupo TI, esse aumento ocorreu apenas nos neutrófilos após o TFI em comparação ao CS e aos valores do início do treino (tabela 1).

Tabela 1. Análise da contagem total e diferencial de leucócitos do sangue periférico de ratos adultos intra e entre os grupos antes e após o treino de 6 semanas.

Var ($10^3/\text{mm}^3$)	Gp	Pré - treino	Pós - treino
Leucócitos	CS	12,9±1,9	12,77±2,0 ^b
	TM	12,62±2,3 ^a	17,25±2,4 ^{a, b}
	TI	13,8±2,1	15,15±1,8
Linfócitos	CS	8,72±1,3	8,87±1,0 ^b
	TM	8,96±1,5 ^a	12,5±2,1 ^{a, b}
	TI	10,3±1,7	10,6±1,4
Neutrófilos	CS	0,98±0,3	0,99±0,5 ^{b, d}
	TM	0,91±0,2 ^a	3,18±1,0 ^{a, b}
	TI	1,1±0,4 ^c	2,6±1,4 ^{c, d}
Monócitos	CS	0,12±0,08	0,13±0,06
	TM	0,14±0,09	0,21±0,08
	TI	0,15±0,1	0,16±0,05

Em que: **Var** - Variáveis; **Gp** - Grupos; **CS**- controle sedentário; **TM**- treinado moderado; **TI**- treinado intenso. Dados em média e desvio padrão. ANOVA, post-hoc Turkey ($p < 0,05$). **a** - diferença intragrupo TM antes e após o treino; **b** - diferença entre os grupos CS e TM após o treino; **c** - diferença intragrupo TI antes e após o treino; **d** - diferença entre os grupos CS e TI após o treino.

A produção de óxido nítrico por macrófagos alveolares de ratos adultos entre os grupos CS, TM e TI está representada na figura 1. Após o treinamento, o grupo TI ($38,40 \pm 12,1 \mu\text{mols/mL}$) apresentou maior produção de NO do que o TM

($15,77 \pm 4,9 \mu\text{mols/mL}$) e do controle ($6,58 \pm 1,9 \mu\text{mols/mL}$) $p < 0,001$. Os animais submetidos ao TFM também mostraram maiores valores que o grupo CS ($p < 0,001$).

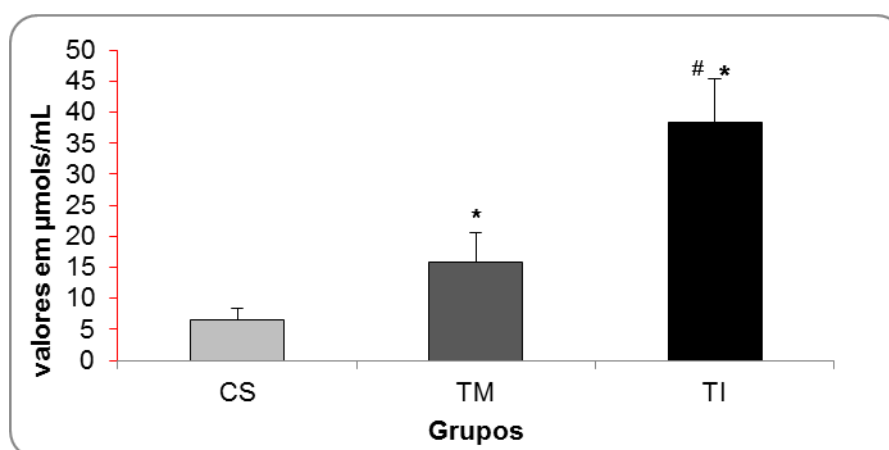


Figura 1. Produção de Óxido Nítrico por macrófagos alveolares após o TF. Dados em média e desvio padrão. ANOVA, post-hoc Turkey ($p < 0,001$). * - Diferença entre grupos treinos e controle; # - Diferença entre grupos TM e TI.

A figura 2 representa a taxa de fagocitose realizada por macrófagos alveolares entre os grupos CS, TM e TI após o treinamento com duração de 6 semanas. Houve aumento significativo da fagocitose no grupo TM (38,6% ±

8,65) em relação ao CS (24,4% ± 7,40) $p < 0,001$; enquanto que os animais do grupo TI (13,1% ± 1,52) apresentaram uma redução na taxa de fagocitose em comparação aos grupos TM e CS, $p < 0,001$.

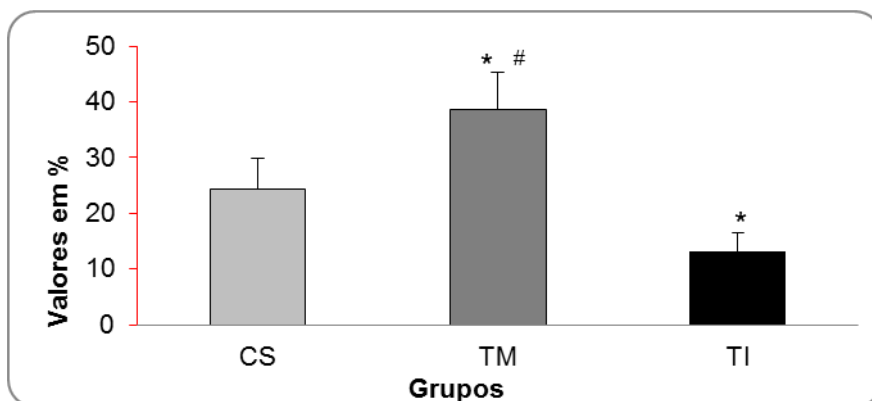


Figura 2. Taxa de fagocitose liberada por macrófagos alveolares em ratos adultos, após a realização do programa de TF. Dados em média e desvio padrão. ANOVA, post-hoc Turkey ($p < 0,001$). * - Diferença entre grupos treinos e controle; # - Diferença entre os grupos TM e TI.

Discussão

A intensidade, duração e a frequência do exercício exercem papel chave na determinação das respostas imunes ao esforço, podendo aumentar ou reduzir a função imune (LEANDRO et al., 2007). O presente estudo avaliou os efeitos dos treinamentos físico moderado e/ou intenso com duração de seis semanas sobre o perfil leucocitário e a atividade de macrófagos alveolares em ratos adultos.

Após o TM, o grupo treino apresentou valores de leucócitos, linfócitos e neutrófilos maiores que o controle. Alguns estudos mostram que a atividade física moderada pode favorecer modificações na concentração e na proporção dos leucócitos polimorfonucleares, nas células matadoras naturais (natural killer) e nos linfócitos (PRESTES et al., 2008). Segundo Vulczak e Monteiro (2008), a leucocitose encontrada logo após o exercício é desencadeada pelas catecolaminas e os glicocorticoides que provocam alterações tanto na redistribuição, quanto na diminuição da adesão das células leucocitárias nos tecidos, aumentando assim, a liberação destas células para a corrente sanguínea. Esses mecanismos parecem estar associados às adaptações importantes na defesa do organismo treinado decorrentes do exercício físico regular (LEANDRO et al., 2007).

Essas adaptações ao exercício não só estão relacionadas ao aumento do número de células componentes do sistema imune, como também à

alteração de suas funções (LEANDRO et al., 2002). Segundo Krinski et al. (2008), o exercício físico moderado é um importante modulador da resposta e função imune, como melhoria das funções dos macrófagos, imunoglobulinas, neutrófilos e células NK.

Entretanto, existe evidência consistente de que o treinamento intenso altera várias das funções das células efectoras imunes, embora o número dessas possa permanecer constante. Segundo Garrett e Kirkendall (2003), o exercício induz a leucocitose, mas, a extensão desta depende da intensidade e da duração desse exercício. Prestes et al (2007) demonstraram supressão da função dos linfócitos após o exercício extenuante. Este mesmo achado foi também demonstrado por Nieman (2000), que relatou que a quantidade de linfócitos só se normalizou 21 horas após a maratona. Porém, no presente estudo, não houve alteração do número de linfócitos e monócitos após o treino intenso, contudo, todos estes dados foram analisados durante o exercício crônico de seis semanas, enquanto que aqueles autores avaliaram os seus efeitos em situações agudas, ou seja, imediatamente após a execução do exercício.

Outro fator importante que pode está relacionado a não alteração desses parâmetros imunes, deve-se a não realização da dosagem de lactato sanguíneo, durante a aplicação do protocolo de TI, para quantificar o limiar de anaerobiose e classificar a intensidade do

exercício ([VOLTARELLI](#) et al., 2004), considerando como uma limitação deste estudo. Contudo, o estudo de [Figueira](#) et al. (2007) também não realizou a dosagem direta do lactato e considerou o exercício como intenso quando utilizou uma sobrecarga da 5% do peso corporal, durante 4 semanas, tomando como referência o trabalho de [Gobatto](#) et al. (2001), e classificando o termo intenso como aeróbico intenso, ou seja correspondente a máxima fase estável de lactato sanguíneo que representa o limite superior de domínio pesado de exercício.

O aumento da contagem de células imunológicas pode ser causado por uma combinação de efeitos de glicocorticóides e catecolaminas ou apenas um fenômeno de redistribuição ([LEANDRO](#) et al., 2002). Um aumento na concentração de catecolaminas depende da intensidade do exercício, da duração e adaptação ([VULCZAK](#); [MONTEIRO](#), 2008). Além disso, as catecolaminas promovem efeitos do exercício agudo em neutrófilos, enquanto o cortisol pode ser responsável pela manutenção de neutrocitose, após o exercício de longa duração ([PEAKE](#), 2002). Neste estudo, houve aumento na contagem de neutrófilos após o TFI para o grupo treino, indo de acordo com os achados de [Leitão](#) (2006) em que os animais demonstraram aumento do número de neutrófilos circulantes imediatamente após o término do exercício exaustivo. Segundo [Ferreira](#) et al. (2010), é possível que a magnitude do destes efeitos esteja diretamente relacionada à adaptação ao treinamento, provocando a redistribuição dos neutrófilos durante o exercício.

Uma das principais células responsáveis pela primeira linha de defesa do sistema imunológico é o macrófago ([ABBAS](#); [LICHTMAN](#), 2007). Com respeito à influência do exercício físico sobre a função dos macrófagos, vários pesquisadores têm relatado que o exercício pode induzir aumento da quimiotaxia, da aderência e da fagocitose destas células após um único exercício ([BOMBARDA](#) et al., 2009). Neste estudo, o TFM induziu um aumento na taxa de fagocitose nos grupos treino em relação ao controle. Corroborando com o estudo de [Nascimento](#) et al. (2004) que observou em ratos treinados (6 semanas de natação), um aumento na taxa de fagocitose de macrófagos. O trabalho de [Ferreira](#) et al. (2007) demonstrou uma resposta similar ao estudar macrófagos peritoneais de ratos treinados com intensidades leve e moderada.

No entanto, após o TFI, observou-se uma redução da taxa de fagocitose no grupo TI em comparação ao TM e ao controle. Esse resultado está de acordo com estudos anteriores feitos em indivíduos que foram submetidos à atividade física extenuante, particularmente de longa duração, em que verificaram que a capacidade fagocitária e de combate aos micro-organismos e as células tumorais estavam seriamente afetadas ([PEDERSEN](#) et al., 2001; [D'ÁVILA](#) et al., 2008).

O exercício físico está associado à estimulação da produção de ON ([DUSSE](#) et al., 2003). Esse achado também foi observado no presente estudo, em que após ambos os tipos de treino, a produção de ON foi maior que no grupo controle. Entretanto, o ON desempenha um papel chave na atividade microbicida de macrófagos contra patógenos ([SINGH](#) et al., 2011), podendo desempenhar ação benéfica ou maléfica, a depender da concentração ou da depuração tecidual ([RUAN](#); [PETER](#), 2004). No caso de doenças autoimunes e situações de sobrecarga exageradas do organismo, o NO encontra-se em concentrações elevadas, sendo tóxicas para as células do organismo ([BRUUNSGAARD](#), 2005).

Neste estudo, o grupo TI apresentou aumento da produção de ON para níveis mais elevados que o grupo TM. Esse aumento excessivo pode estar associado ao aumento do metabolismo e do consumo de oxigênio resultantes de exercícios de alta intensidade e extenuantes ([NUNES](#); [FERNANDES](#), 2009). Períodos de exercício intenso podem aumentar o estresse oxidativo devido à hipóxia e reoxigenação temporárias, que ocorrem no músculo exercitado, em função das contrações e relaxamentos estabelecidos ciclicamente ([SCHNEIDER](#) et al., 2009). Os danos associados ao estresse oxidativo induzido pelo exercício intenso estão relacionados com a diminuição do desempenho físico, fadiga muscular, danos musculares e até a síndrome de sobre-treinamento ([CRUZAT](#) et al., 2007), promovendo alteração no sistema imune com aumento da liberação de radicais livres, da produção de citocinas, especificamente as interleucinas e o fator de necrose tumoral, semelhante à resposta inflamatória a algum tipo de trauma ou infecção ([BRUUNSGAARD](#), 2005).

Apesar dos resultados apresentados, no presente estudo, demonstrarem que o treinamento físico utilizado influencia elementos importantes da resposta imune. Essas respostas

podem ser diferentes no ser humano uma vez que foi utilizado um protocolo experimental com animais. Assim, o treinamento físico moderado utilizado neste estudo, repercutiu de forma positiva nas respostas da dinâmica celular e da atividade macrófaga de células efectoras imunes, proporcionando uma melhora nos mecanismos de defesa nos animais adultos. Entretanto, no treino intenso, observaram-se redução da taxa de fagocitose e uma produção exagerada de NO, podendo estar associada ao aumento do estresse oxidativo, fatos que implicam em prejuízo no desempenho físico, associado ao quadro de imunossupressão.

Referências

- ABBAS, A.K.; LICHTMAN, A. H. **Imunologia Básica: Funções e Distúrbios do Sistema Imunológico**. Tradução da 2^o edição. Rio de Janeiro: Elsevier Ltda, 2007.
- BOMBARDA, J.; MELO, J. C.; SOUZA, E. R.; NÓBREGA, O. T.; CÓRDOVA, C. Exercício abaixo do limiar anaeróbio aumenta as atividades fagocítica e microbicida de neutrófilos em ratos *Wistar*. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, Rio de Janeiro, v.45, n.1, p. 9-15, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/jbpm/v45n1/04.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2010.
- BRUUNSGAARD, H. Physical activity and modulation of systemic low-level inflammation. **Journal Leukocyte Biology**, Winston-Salem, v.78, p. 819–835, 2005.
- CRUZAT, V. F.; ROGERO, M. M.; BORGES, M. C.; TIRAPGUI, J. Aspectos atuais sobre estresse oxidativo, exercícios físicos e suplementação. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v.13, n.5, p. 304-310, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbme/v13n5/11.pdf>. Acesso em: 9 out. 2009.
- D'ÁVILA, V. G. F. C.; SOUSA JÚNIOR, N. B.; SOUSA, F. B.; GUILLO, L. A. Avaliação da produção de óxido nítrico em ratos, submetidos aos exercícios aeróbio e anaeróbio. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, Goiás, v. 44, n.4, p. 755-761, out./dez., 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcf/v44n4/v44n4a23.pdf>. Acesso em: 23 set. 2009.
- DE CASTRO, C. B.; MANHÃES-DE-CASTRO, R.; MEDEIROS, A. F.; QUEIRÓS, A.; FERREIRA, W. T.; LIMA FILHO, J. L. Effect of stress on the production of O₂ in alveolar macrophages. **Journal of Neuroimmunology**, Amsterdam, v.108, n.1, p. 68-72, 2000.
- DIAS, R.; FROLLINI, A. B.; PRESTES, J.; FERREIRA, C. K. O.; DONATTO, F. F.; VERLENGIA, R.; PALANCH, A. C.; CAVAGLIERI, C. R. Efeito do exercício agudo de curta duração em leucócitos circulantes e linfócitos teciduais de ratos. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v.21, n.3, p. 229-243, 2007. Disponível em: <http://www.revistasusp.sibi.usp.br/pdf/rbefe/v21n3/v21n3a7.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2009.
- DING, A. H.; NATHAN, C.F.; STUEHR, D. J. Release of reactive nitrogen intermediates and reactive oxygen intermediates from mouse peritoneal macrophages. Comparison of activating cytokines and evidence for independent production. **Journal of Immunology**, Baltimore, v.141, p. 2407-2412, 1988.
- DUSSE, L. M. S.; VIEIRA, L. M.; CARVALHO, M. G. Revisão sobre óxido nítrico. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, Rio de Janeiro, v.39, n.4, p.342-350, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/jbpm/v39n4/18548.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2009.
- FERREIRA, C. K. O.; PRESTES, J.; DONATTO, F. F.; VIEIRA, W. H. B.; PALANCH, A. C.; CAVAGLIERI, C. R. Efeitos agudos do exercício de curta duração sobre a capacidade fagocitária de macrófagos peritoneais em ratos sedentários. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v.11, n.3, p. 191-197, maio/jun. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbfis/v11n3/a04v11n3.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2009.
- FERREIRA, C. K. O.; PRESTES, J.; DONATTO, F.F.; VERLENGIA, R.; NAVALTA, J. W.; CAVAGLIERI, C. R. Phagocytic responses of peritoneal macrophages and neutrophils are different in rats following prolonged exercise. **Clinics**, São Paulo, v.65, n.11, p.1167-1173, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/clin/v65n11/20.pdf>. Acesso em: 22 maio 2011.
- FIGUEIRA, T. R.; LIMA, M. C. S.; GURJÃO, A. L. D. RUAS, V. D. A.; LEME, J. A. C. A.; LUCIANO, E. Efeito do treinamento aeróbio sobre o conteúdo muscular de triglicérides e glicogênio em ratos. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, Brasília, v.15, n. 2, p.55-61, 2007 Disponível em: <http://portalrevistas.ucb.br/index.php/RBCM/article/viewFile/749/752>. Acesso em: 20 out. 2011.
- GARRETT, W. E.; KIRKENDALL, D. T. **A Ciência do Exercício e dos Esportes**. Porto Alegre: Artmed Editora S.A., 2003. p. 120-127.

- GOBATTO, C.; MELLO, M.; SIBUYA, C.; AZEVEDO, J.; SANTOS, L.; KOKUBUN, E. Maximal lactate steady state in rats submitted to swimming exercise. **Comparative biochemistry and physiology**, New York, v.130, p. 21-27, 2001
- KRINSKI, K.; ELSANGEDY, H. M.; COLOMBO, H.; BUZZACHERA, C. F.; SOARES, I. A.; CAMPOS, W.; SILVA, S. G. Efeitos do exercício físico no sistema imunológico. **Revista Brasileira de Medicina**, São Paulo, v.67, n.7, 2010. Disponível em: http://www.moreirajr.com.br/revistas.asp?fase=r003&id_materia=4326. Acesso em: 22 maio 2011.
- LEANDRO, C. G.; NASCIMENTO, E.; MANHÃES-DE-CASTRO, R.; DUARTE, J. A.; DE CASTRO, C. M. M. B. Exercício físico e sistema imunológico: mecanismos e integrações. **Revista Portuguesa de Ciência do Desporto**, Porto, v.2, n.5, p.80-90; 2002. Disponível em: http://www.fade.up.pt/rpcd/arquivo/artigos_soltos/vol.2_nr.2/08.pdf. Acesso em: 12 jan. 2009.
- LEANDRO, C. G.; MANHÃES-DE-CASTRO, R.; NASCIMENTO, E.; PITHON-CURI, T. C.; CURI, R. Mecanismos adaptativos do sistema imunológico em resposta ao treinamento físico. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v.13, n.5, p. 343-348, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbme/v13n5/12.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2009.
- LEITÃO, N. K. **Resposta imunitária em ratos submetidos à atividade física de longa duração. Efeito da suplementação com óleo de peixe, rico em ácido graxo poliinsaturado n-3**. 2006. 67 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Departamento de Educação Física. Universidade Federal do Paraná; Curitiba, 2006. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/6300/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Mestrado%20Norton%20Koppe%20Leit%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 28 out. 2008.
- MALAGUEÑO, E.; ALBUQUERQUE, C.; DE-CASTRO, C. M. M. B.; GADELHA, M.; IRMÃO, J.I.; SANTANA, J.V. Effect of Biomphalaria straminea Plasma in the Phagocytosis of Biomphalaria glabrata Hemolymph Cells. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 93, suppl. 1, p. 301-302, 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/mioc/v93s1/72.pdf>. Acesso em: 28 out. 2008.
- NASCIMENTO, E.; CAVALCANTE, T.; PEREIRA, S.; PALMEIRA, A.; ROCHA, M. C.; VIANA, M. T.; MANHÃES- DE- CASTRO, R.; DE-CASTRO, C. M. M. B.; et al. O exercício físico crônico altera o perfil leucocitário e a taxa de fagocitose de ratos estressados. **Revista Portuguesa de Ciência do Desporto**, Porto, v.4, n.3, p.26-33, 2004. Disponível em: http://www.fade.up.pt/rpcd/arquivo/artigos_soltos/vol.4nr.3/1.03elizabethnascimento.pdf. Acesso em: 28 out. 2008.
- NIEMAN, D. C. Is infection risk linked to exercise workload? **Medicine & Science in Sports & Exercise**, Madison, v.32, p.406-411, 2000.
- NUNES, E. A.; FERNANDES, L. C. Exercício agudo versus imunossupressão: talvez apenas outro mecanismo homeostático. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, São Paulo, v.3, n.15, p.312-324, 2009. Disponível em: <http://rbpfex.com.br/wpcontent/uploads/2009/05/pfex168n15v3pp312324.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2010.
- PEAKE, J. M. Exercise-induced alterations in neutrophil degranulation and respiratory burst activity: possible mechanisms of action. **Exercise Immunology Review**, v. 8, p.49-100, 2002.
- PEDERSEN, B. K.; WOODS, J. A.; NIEMAN, D. C. Exercise-induced immune changes- an influence on metabolism? **Trends in Immunology**, Oxford, v.22, p.473-475, 2001.
- PRESTES, J.; FERREIRA, C. K. O.; FROLLINI, A. B.; DIAS, R.; DONATTO, F. F.; GUERESCHI, M. G.; et al. Influência do exercício físico agudo realizado até a exaustão sobre o número de leucócitos, linfócitos e citocinas circulantes. **Fitness and Performance Journal**, Rio de Janeiro, v.6, n.1, p.446-51, 2007. Disponível em: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2936922>. Acesso em: 28 out. 2008.
- PRESTES, J.; FROLLINI, A. B.; DIAS, R.; GUERESCHI, M. G.; FERREIRA, C. K. O.; DONATTO, F. F.; PALANCH, A. C.; CAVAGLIERI, C. R. Influência do exercício físico em diferentes intensidades sobre o número de leucócitos, linfócitos e citocinas circulantes. **Revista Brasileira de Medicina**, São Paulo, v. 65, n.3, p. 56-60, 2008. Disponível em: http://www.moreirajr.com.br/revistas.asp?fase=r003&id_materia=3730. Acesso em: 22 maio 2011.
- QUINDRY, J. C.; STONE, W. L.; KING, J.; BROEDER, C. E. The effects of acute exercise on neutrophils and plasma oxidative stress. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, Madison, v. 35, n. 7, p. 1139-1145, 2003.
- ROGERO, M. M.; MENDES, R. R.; TIRAPÉGUI, J. Aspectos neuroendócrinos e nutricionais em atletas com overtraining. **Arquivo Brasileiro de Endocrinologia & Metabologia**, São Paulo, v.49, n.3, p.359-368, 2005. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/abem/v49n3/a06v49n3.pdf>
f. Acesso em: 12 jan. 2009.

RUAN, L. V.; PETER, R. A. Óxido nítrico: un héroe disfrazado de villano. **Revista Elementos, Ciência y Cultura**, Puebla, v.11, n.53, p.11-18, 2004. Disponível em:
<http://www.elementos.buap.mx/num53/pdf/11.pdf>.
Acesso em: 28 mar. 2009.

SCHNEIDER, C. D.; SILVEIRA, M. M.; MOREIRA, J. C. F.; BELLÓ-KLEIN, A.; OLIVEIRA, A. R. Efeito do exercício de ultrarresistência sobre parâmetros de estresse oxidativo. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v.15, n.2, p.89-92, 2009. Disponível em:
<http://www.scielo.br/pdf/rbme/v15n2/v15n2a01.pdf>
. Acesso em: 17 jun. 2010.

SINGH, A. K.; PANDITA, S.; CHANDRA, G.; VAIDYA, M. M.; HUOZHA, R.; KUSHWAHA R.; SHARMA V.K. Role of nitric oxide in immunity – a review. **Wayamba Journal of Animal Science**, Makandura, 2011. Disponível em:
<http://www.wayambajournal.com/documents/1303660646.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2011.

VIEIRA, A. K. Alterações hormonais, imunológicas e fisiológicas durante o estado de overtraining state. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, São Paulo, v.1, n.2, p. 23-29, 2007. Disponível em:
<http://ibpex.com.br/site/images/stories/NE02MARABR2007pdf/NE13N2V12329.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2010.

VOLTARELLI, F. A.; MELLO, M. A. R.; GOBATTO, C. A. Limiar anaeróbio determinado pelo teste do lactato mínimo em ratos: efeito dos estoques de glicogênio muscular e do treinamento físico. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, Porto, v. 4, n. 3, p. 16-35, 2004. Disponível em:
<http://www.portalsaudebrasil.com/artigospsb/ativfis121.pdf>. Acesso em: 20 out. 2011.

VULCZAK, A.; MONTEIRO, M. C. Exercício físico e interações endócrino-imunes: revisão. **Revista Eletrônica Lato Sensu**, Guarapuava, Ano 3, n.1, 2008. Disponível em:
http://web03.unicentro.br/especializacao/Revista_Pos/P%C3%A1ginas/3%20Edi%C3%A7%C3%A3o/Saude/PDF/2-Ed3_S-ExercicioFi.pdf. Acesso em: 11 jan. 2010.

WOODS, J.; LU, Q.; CEDDIA, M. A.; LOWDER, T. Exercise-induced modulation of macrophage function. **Immunology and Cell Biology**, Adelaide, v.78, p.545-553, 2000. Disponível em:
<http://www.nature.com/icb/journal/v78/n5/pdf/icb200075a.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2008.

Agradecimentos: Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Endereço:

Glúvia Maria Barros Delmondes
Rua Agircolândia, 171 / Apto. 502
Cidade Universitária
Recife PE Brasil
50740-470
Telefones: (81) 3272-0586 e (81) 9432-5969
e-mail: gluvia.barros@gmail.com

Recebido em: 17 de outubro de 2010.

Aceito em: 24 de outubro de 2012.



Motriz. Revista de Educação Física. UNESP, Rio Claro, SP, Brasil - eISSN: 1980-6574 - está licenciada sob [Creative Commons - Atribuição 3.0](http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/)