

Artigo de Revisão**EXERCÍCIOS DE FORÇA E PARÂMETROS IMUNOLÓGICOS: CONTAGEM
LEUCOCITÁRIA, INFLAMAÇÃO E REGENERAÇÃO****STRENGTH EXERCISE AND IMMUNOLOGICAL PARAMETERS: LEUKOCYTES
COUNTING, INFLAMMATION AND REGENERATION**

Rodrigo Dias¹, Anelena Bueno Frollini¹, Jonato Prestes^{1,2}, Luís Felipe Milano Teixeira¹, Denise Martins Paneto Cereja¹, Ronaldo Júlio Baganha¹, Leandro Paschoali Rodrigues Gomes¹, Cláudia Regina Cavaglieri¹.

1- Núcleo de Performance Humana, Mestrado em Educação Física, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Metodista de Piracicaba, São Paulo, Brasil.

2- Programa de Pós-graduação em Ciências Fisiológicas, Laboratório de Fisiologia do Exercício, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil.

Autor para correspondência: Cláudia Regina Cavaglieri; Email: ccavagli@unimep.br; Endereço: Núcleo de Performance Humana, Mestrado em Educação Física, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Metodista de Piracicaba, Rodovia do Açúcar, Km 156, Campus Taquaral, CEP: 13400-911, Piracicaba-SP, Brasil; Telefones para contato: (19) 3124-1558 e (19) 3124-1504.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro na forma de bolsa mestrado CAPES/PROSUP e FAP/UNIMEP.

Recebido: 10/12/2008

Aceite: 30/04/2009

RESUMO

Exercícios de força e parâmetros imunológicos

Recentemente, a prescrição de exercícios aeróbios, bem como sua associação com os de força, têm sido recomendados pelas principais agências normativas de saúde. Sessões agudas ou treinamento crônico promovem respostas no sistema imunológico, podendo acarretar desistência, não continuidade ou queda no desempenho nos programas de exercícios, pela aumentada susceptibilidade às infecções oportunistas, principalmente infecções do trato respiratório superior (ITRS). Assim, o objetivo do estudo foi investigar as modulações decorrentes dos exercícios de força quanto à contagem leucocitária, dano, inflamação, regeneração muscular e susceptibilidade às ITRS. Foi realizada uma revisão de periódicos nacionais e internacionais nos portais científicos da Capes, Scielo, Science Direct e Highwire. Sugere-se que a leucocitose pode ter como função, preparar o organismo para uma possível demanda celular nos músculos, constituindo-se em uma forma do sistema imunológico se antecipar às necessidades de remodelagem tecidual. A infiltração leucocitária nos tecidos danificados apresenta forte relação na ativação das células satélites e queda na força, demonstrando um padrão bi-modal de recuperação. As pequenas flutuações na contagem leucocitária, especificamente nos linfócitos, após os exercícios de força, quando comparadas aos aeróbios, parecem ser respostas agudas com pouco significado clínico, sem relação com aumento nas ITRS.

Palavras-chave: Exercício físico; Leucócitos; Inflamação.

ABSTRACT

Exercícios de força e parâmetros imunológicos

Recently, endurance exercises prescription as well as its association with strength exercises, has been recommended by main normative health societies. Acute bouts or chronic training, promote responses in immune system, possibly leading to burn out, none continuity or performance decrease in exercise programs, caused by the increased susceptibility of opportunist infections, mainly upper respiratory tract infections (URTI). Thus, the objective of this study was to investigate the modulations originated from strength exercises as leucocyte counting, damage, inflammation, muscular regeneration and susceptibility to URTI. A revision of national and international periodics was carried through scientific halls such as Capes, Scielo, Science Direct and Highwire. It is suggested that leukocytosis may exert a function of preparing the organism for possible cellular demand in muscle, so that it can be a manner by witch immunological system anticipates to tissue remodeling necessities. Leucocyte infiltration in damaged tissues presents a strong bound in satellites cells activation and strength decrease, showing a bi-modal pattern of recovery. The small fluctuations in the leucocytes counting, specifically in the lymphocytes, after strength exercises, when compared with aerobic exercises, seems to be acute responses with little clinical relevance, without relation to the increase in the URTI.

Key-words: Physical exercise; Leukocytes; Inflammation.

INTRODUÇÃO

Exercícios de força e parâmetros imunológicos

Agências normativas de saúde¹ defendem fortemente a associação de exercícios aeróbios com os de força, no sentido de obter melhorias nos quadros clínicos e funcionais, tanto em indivíduos jovens, quanto em idosos.

Os exercícios aeróbios, assim como os de força, podem induzir melhoria do consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx.}$)^{4,12,18}; diminuição da massa gorda^{4,11,18}; aumento da força músculo-esquelética^{2,4,6,8,18} e ganhos e/ou manutenção da massa muscular^{4,6,18}. Tais respostas podem minimizar os efeitos deletérios de doenças crônico-degenerativas como co-morbidades associadas ao excesso de peso, sarcopenia, osteopenia e cardiopatias⁴.

É importante que indivíduos engajados em programas de exercícios, estejam em consonância com balanço positivo do sistema imunológico, para que a adesão, continuidade e desempenho destes, seja satisfatória.

Exercícios exaustivos podem induzir a um quadro imuno-supressor transitório, com aumentada susceptibilidade às infecções oportunistas, principalmente do trato respiratório superior (ITRS), em virtude das adaptações cardio-respiratórias agudas frente ao exercício^{24,26}. Essa imunossupressão é caracterizada por um quadro denominado de “janela aberta”, onde o organismo está mais susceptível às ITRS, podendo ter relação com as alterações na quantidade e funcionalidade linfocitária, após sessões extenuantes²⁴. Paradoxalmente, exercícios em intensidades e volumes moderados, executados regularmente, estão associados com diminuições nas ITRS^{24,26}.

O treinamento de força pode causar danos na estrutura músculo-esquelética, principalmente com ênfase nas ações excêntricas^{10,32,34}, provocando uma resposta inflamatória, pela migração de neutrófilos e macrófagos para o tecido danificado, podendo persistir dias ou semanas^{10,29}.

Esta resposta apresenta relação com a queda na força pós-sessões e com o processo de recuperação muscular para uma sessão subsequente^{19,29}.

Adicionalmente, os leucócitos e os músculos utilizam altas taxas de glutamina e glicose para suas funções fisiológicas, podendo se estabelecer uma competição por substratos energéticos entre ambos os sistemas, durante e pós-sessões de exercícios²³. Assim é permissível argüir que tal competição pode favorecer a instalação de ITRS.

Os estudos que avaliaram as conhecidas respostas advindas dos exercícios de força, correlacionado-as com as modulações imunológicas agudas^{9,20,17,29,30,32,33,34} e crônicas^{2,8,16}, são mais escassos e controversos comparados aos aeróbios²⁶.

Assim, o objetivo desse estudo foi evidenciar as respostas agudas e crônicas dos exercícios de força sobre o sistema imunológico, quanto à contagem leucocitária, dano, inflamação e regeneração muscular. Procurou-se correlacionar tais parâmetros, com a susceptibilidade às ITRS, além de pontuais comparações com os exercícios aeróbios. Para tanto, realizou-se uma revisão de artigos nacionais e internacionais, nos portais científicos da Capes, Scielo, Science Direct e Highwire, utilizando as palavras-chave: sistema imune, leucócitos, inflamação, ITRS e exercícios de força.

Exercício Físico e Contagem Leucocitária

Vários estudos com modelos animais e humanos demonstraram aumentos na contagem leucocitária durante e após exercícios em intensidades submáximas (aproximadamente 60% $VO_{2máx.}$) até máximos, caracterizando os quadros denominados leucocitose, linfocitose, neutrofilia e monocitose, definidos como o aumento da contagem absoluta dos leucócitos, linfócitos,

neutrófilos e monócitos circulantes^{5,7,24,26,28,32}. Modulações hemodinâmicas agudas, provocadas pela ativação simpática e imediata liberação das catecolaminas durante o exercício é tida como fator primário para a leucocitose, promovendo o recrutamento celular dos órgãos linfóides e endotélio ao sangue por ação mecânica²⁶.

Porém, após exercícios realizados em intensidades máximas ou mesmo submáximas, porém prolongados (acima de 120 minutos), o aumento significativo do cortisol promove inibição da mitogênese linfocitária, provocando redução da contagem dos linfócitos circulantes abaixo dos níveis basais, quadro denominado de linfopenia. Adicionalmente, o cortisol e a interleucina-6 (IL-6) apresentam efeitos posteriores na mobilização dos neutrófilos da medula óssea para o sangue, exercendo uma resposta secundária, aumentando a contagem além dos padrões apresentados imediatamente ao final das sessões²⁶, caracterizando o segundo aumento na contagem neutrofílica.

No entanto, a grande maioria dos estudos acima foram realizados com exercícios predominantemente aeróbios ou através de protocolos máximos em ergômetros. Recentemente, cresceu a atenção à cerca das modulações imunológicas, decorrentes dos exercícios de força, e ainda assim, a maioria dos estudos tem focado nas respostas agudas^{9,17,20,29,30,32,33,34} e pouco nas crônicas^{2,8,16}.

Exercícios de Força e Contagem Leucocitária

Em geral, os estudos com protocolos de força têm dado importância ao recrutamento leucocitário para o sangue^{2,8,9,20,16,17,30,32,33}, e músculos danificados^{19,29,34}, devido à relevância destes, nos processos de reparo e regeneração muscular^{10,29,35,37}.

Avaliando o exercício aeróbio comparado ao de força excêntrica, Saxton et al.³² 2003 observaram aumentos na contagem dos leucócitos circulantes, principalmente neutrófilos, como sendo mais relacionada ao estresse sistêmico do que ao dano muscular.

Assim, o recrutamento dos leucócitos para o sangue durante exercícios de força^{2,8,9,16,17,20,30,32,33}, parece ser decorrente de efeitos similares aos propostos para os aeróbios^{5,7,24,26,28,32}, devido primariamente aos efeitos das catecolaminas, e posteriormente, pela ação secundária do cortisol e IL-6 na mobilização celular dos órgãos linfóides para a circulação geral^{29,30,33}.

Também foi observada leucocitose em homens adultos moderadamente ativos, após sessão de força aguda pelo método de múltiplas séries (3 x 8-10 repetições a 75% 1RM em 8 exercícios para grandes grupos musculares, com relação esforço e recuperação de 1:2 minutos)³³; em homens recreacionalmente adaptados ao treinamento de força, após sessão com múltiplas séries (10 x 10 repetições a 65% 1RM no *leg press*, com intervalos de recuperação de 1 e 3 minutos entre as séries)²⁰; em homens recreacionalmente ativos que regularmente realizavam 2-3 sessões semanais de treinamento de força, também após sessão com múltiplas séries (2 x 25 repetições excêntricas em dinamômetro isocinético para os extensores do joelho com velocidade de 1.05 rad.s⁻¹ e flexores plantares com 0.35 rad.s⁻¹, utilizando intervalos de recuperação de 5 minutos entre as séries)³².

Similarmente, detectou-se aumento na contagem leucocitária em homens treinados, com experiência mínima de 12 meses em treinamento de força, após sessão com múltiplas séries bi-set (3 séries atingindo o maior número possível de repetições a 70% 1RM em 3 exercícios de adução horizontal do ombro e flexão do cotovelo, sendo realizadas as combinações

sem intervalo passivo entre as séries)⁹; assim como em homens treinados que realizavam 3 sessões semanais por no mínimo 6 meses anteriores ao estudo e homens não adaptados, utilizando-se múltiplas séries em circuito (duas passagens com maior número possível de repetições a 75% 1RM em 10 exercícios para grandes grupos musculares, com um minuto de recuperação entre as estações)³⁰.

Especificamente quanto a contagem neutrofílica ao final das sessões, esta população celular se apresentou elevada: após 30 minutos³³; 1,5 hora²⁰; 2 horas³⁰ até 4 horas³². A neutrofilia observada horas após as sessões de força^{20,30,32,33}, similarmente tem sido observada após exercícios aeróbios²⁶.

Com relação aos linfócitos, foi demonstrado aumento na contagem após as sessões, com retorno da contagem linfocitária aos valores basais 30 minutos após os respectivos protocolos^{30,33}; assim como nenhuma alteração imediatamente pós-sessão²⁰.

A não alteração na contagem linfocitária observada por Mayhew et al.²⁰ 2005 imediatamente após a sessão, ocorreu apenas no protocolo com 3 minutos de recuperação entre as séries, sendo que no protocolo com 1 minuto de recuperação, os resultados apontaram para linfocitose, imediatamente pós-intervenção. O protocolo com um minuto de recuperação provocou linfocitose, porém não induziu linfopenia até 1,5 hora após a intervenção, possivelmente explicado, pela manutenção nas concentrações de cortisol. A manutenção desse hormônio, não explica a neutrofilia até 1,5 hora após a intervenção, sugerindo que outros mecanismos, independentes do cortisol estariam relacionados com a mobilização neutrofílica no sangue²⁰.

Além das respostas agudas com relação à contagem dos leucócitos no sangue, decorrentes de sessões de força, as modulações crônicas também têm recebido alguma atenção^{2,8,16}.

Flynn et al.⁸ 1999 avaliaram mulheres idosas não adaptadas ao treinamento de força, após intervenção de 10 semanas, com 3 sessões semanais e 8 exercícios priorizando membros inferiores (1ª semana: 3 x 8 repetições a 70% 1RM; 2ª semana em diante: 3 x 8 repetições aumentando a intensidade para 80% 1RM; na última sessão semanal a terceira série dos exercícios era realizada até a falha concêntrica) não sendo observada alteração na contagem basal dos: linfócitos *Natural Killer* (NK), T auxiliar, T citotóxicos e linfócitos B.

Bermon et al.² 2001 também não observaram alteração na contagem basal de células NK, em mulheres e homens idosos sedentários a moderadamente ativos, sem participação prévia em programas de exercícios, após 8 semanas de treinamento. O programa consistiu de 3 sessões semanais em dias não consecutivos com 3 exercícios priorizando os membros inferiores (1ª semana: realização de sessões de baixa a média intensidade; 2ª semana em diante: 3 x 8 repetições a 80% 1RM; sendo as cargas ajustadas semanalmente).

Porém, quando comparadas as respostas entre idosos e jovens após um teste de força, submetidos às mesmas condições de treinamento, os jovens apresentaram aumento nos linfócitos NK imediatamente após o teste, com retorno aos valores de repouso após 6 horas. Os idosos apresentaram anteriormente às 8 semanas de treinamento, uma resposta diferenciada, com diminuição na contagem das referidas células, retornando aos valores de repouso após 6 horas; porém com a continuidade do treinamento, a queda

transitória posterior ao teste foi revertida². Tais resultados abrem novas perspectivas, devido as diferenciadas respostas das células NK entre jovens e idosos, havendo a necessidade de maior preocupação com relação à imunocompetência de idosos.

Antagonicamente, Kilgore et al.¹⁶ 2002 verificaram em competidores masculinos de levantamento de peso de nível nacional e similar histórico de treinamento e competições nos 6 meses iniciais ao estudo; durante intervenção de 7 semanas, nenhuma alteração na contagem dos leucócitos totais, monócitos e granulócitos ao longo do estudo; aumento nos linfócitos em repouso ao final da 5ª semana, retornando aos valores basais na 7ª semana. O aumento na contagem linfocitária coincidiu com o período de pico na intensidade e volume do treinamento (5 sessões, 1-2 repetições por série a 90% 1RM com 158 repetições na semana); com retorno da contagem dos linfócitos no final do estudo, coincidindo com o período de pequena redução na intensidade e queda considerável no volume de treinamento (2 sessões, 1 repetição por série a 85% 1RM com 24 repetições na semana).

A imunossupressão transitória relacionada aos exercícios exaustivos e que pode ter relação com a linfopenia^{24,26}, tem sido relacionada aos exercícios predominantemente aeróbios ou protocolos máximos em ergômetros.

As modulações agudas^{2,8,9,17,20,30,32,33} e crônicas^{2,8,16} nos protocolos de força, quanto a contagem dos leucócitos, especificamente linfócitos, aparentemente não fornecem indícios de que sessões agudas, em intensidades e volumes moderados, delineados a indivíduos sedentários; assim como treinamentos exaustivos, utilizados pelos competidores de levantamento de peso; possam estar associados aumentada incidência às ITRS.

Exercícios de Força, Dano, Inflamação e Regeneração Muscular

Apesar dos exercícios aeróbios e de força poderem resultar em dano muscular, o recrutamento dos leucócitos para o tecido danificado, é proporcional ao grau de dano mecânico ao mesmo. Assim, os exercícios aeróbios estão mais associados com uma resposta imune sistêmica e os de força com uma resposta local^{14,32}.

Danos no tecido muscular induzidos pelo treinamento de força podem estar relacionados a lesões no cito-esqueleto contrátil da fibra muscular, como também na matriz extracelular, lâmina basal e sarcolema^{10,14,32,34,37}.

Segundo Patel et al.²⁵ 2002, os processos de migração, rolamento, ativação e adesão leucocitária, para o tecido a ser reparado, denomina-se inflamação. Dentro de todo esse processo, inicialmente, o tecido danificado libera citocinas que estimulam e sinalizam a migração dos leucócitos^{14,37}.

Citocinas são glicoproteínas produzidas pelos leucócitos e tecidos como o músculo-esquelético, com função de promover a comunicação entre as células imunológicas assim como entre os leucócitos e tecidos em resposta a infecção, trauma ou dano. A IL-6 é responsável por mediar a interação entre células satélites e macrófagos³⁷ sinalizando com fatores de crescimento o processo de remodelagem tecidual^{14,37}.

O processo de migração leucocitária ao sítio do dano²⁵ é mediado pelas moléculas de adesão endoteliais chamadas selectinas e integrinas, que trabalham de forma cooperativa na adesão leucocitária ao endotélio e conseqüente translocação celular²².

Os neutrófilos são as primeiras células a perfundir os tecidos danificados, promovendo a liberação de histamina e prostaglandinas, causando vasodilatação³⁵. Aproximadamente 4 a 6 horas, macrófagos passam a permear

o tecido, passando a ser o tipo celular mais abundante após aproximadamente 24 horas³¹. A ação dos macrófagos apresenta forte influência nos processos mitóticos, pela fagocitose dos fragmentos das células danificadas e adicional liberação de IL-6³⁷ assim como dos fatores de crescimento³¹.

Dentre os fatores de crescimento, destacam-se: fator de crescimento derivado dos hepatócitos (HGF), relacionado à ação miogênica nas células satélites; fator de crescimento de transformação (TGF), importante na reorganização da membrana basal e fator de crescimento insulínico (IGF), apresentando forte ação na proliferação e diferenciação das células satélites e regulação do metabolismo insulínico²¹. Ainda, durante o processo regenerativo, a re-vascularização promove aporte energético e metabólico ao tecido, sendo regulada pelos fatores de crescimento endoteliais¹⁵.

Frente a complexo processo de remodelagem tecidual, curiosamente a IL-6 apresenta funções ambíguas. Inicialmente, a IL-6 juntamente com os fatores de crescimento, são responsáveis pela ativação, proliferação e diferenciação das células satélites^{14,21,37}, exercendo uma resposta de feedback positivo. Após a ativação, proliferação e diferenciação das células satélites, estas migram para o sítio do dano, fundindo-se a miofibrila e compondo novos mionúcleos^{14,37}. Em seguida ocorre a redução do processo inflamatório³, através da indução da apoptose dos neutrófilos e macrófagos infiltrados pela própria IL-6^{3,37}, exercendo a partir desse momento, um feedback negativo.

A presente revisão aponta os eventos relacionados a inflamação e regeneração muscular, relacionando a leucocitose induzida pelo exercício com maior disponibilidade celular para o processo inflamatório (Figura 1).

Pensando no processo de remodelagem tecidual, a relação inflamação e força muscular constitui-se fundamental para o entendimento da fisiologia da

recuperação da força músculo-esquelética. Assim, Raastad et al.²⁹ 2003 analisaram homens adultos treinados em força que realizavam duas sessões semanais para os extensores do joelho nos últimos meses anteriores a estudo. Após intervenção (5 x 3RM e 5 x 6RM unilaterais no membro dominante, respectivamente no *leg press* e extensão dos joelhos, com intervalos de 3 minutos entre as séries e exercícios), foi observada uma relação temporal inversamente proporcional entre acúmulo dos leucócitos e força. Similarmente, Macintyre et al.¹⁹ 1996 demonstraram queda na força decorrente da infiltração leucocitária após sessão aguda de força (30 x 10 repetições excêntricas em dinamômetro isocínético nos extensores do joelho com velocidade de 30°.s⁻¹ com intervalos de recuperação de 20 segundos entre as séries).

Raastad et al.²⁹ 2003 constataram que 10-20 horas após exercício de força, a infiltração leucocitária foi 10-15% maior, concomitantemente, a queda na força foi observada até 10-28 horas, demonstrando o que os autores chamam de padrão bi-modal na resposta de recuperação da força. Macintyre et al.¹⁹ 1996 demonstraram um padrão de recuperação na força com o primeiro declínio ocorrendo imediatamente após a sessão, seguido por uma rápida recuperação até 4 horas, com nova queda entre 20 e 24 horas após a intervenção. Os autores discutem a resposta bi-modal como sendo, a primeira queda decorrente de mecanismos de dano e fadiga e a segunda diminuição, com a infiltração leucocitária exacerbada 20 e 24 horas pós-sessão.

Stupka et al.³⁴ 2000 observaram diferença no padrão de resposta ao dano muscular entre homens e mulheres ativos. As mulheres apresentaram menor infiltração leucocitária nos músculos exercitados, porém com o mesmo grau de dano tecidual. O protocolo aplicado foi similar para ambos os grupos (excêntrico, 3 x 12 e 9 repetições unilaterais no membro dominante a 120%

1RM, respectivamente no *leg press* e extensão dos joelhos, com intervalos de recuperação de 1 minuto entre as séries e 3 minutos entre os exercícios).

Essa diferença pode estar associada a ação anti-oxidante e de estabilização do sarcolema do hormônio 17β -estradiol, gerando um efeito protetor pela redução do dano tecidual induzido pelo exercício³⁶ e conseqüentemente inibindo a queda na força. Nessa linha de pensamento foi observado que tanto os roedores machos suplementados com esse hormônio, quanto as fêmeas apresentaram menor infiltração leucocitária²⁷.

A reduzida infiltração dos leucócitos em mulheres, quando comparado aos homens para um mesmo grau de dano³⁴, pode auxiliar a entender os resultados com relação a recuperação mais rápida na força em atletas levantadores de peso do sexo feminino comparado ao masculino após a 1ª hora¹³. O protocolo foi 20 séries de 1RM no agachamento, sendo que, a partir da 2ª hora até dois dias após a recuperação foi similar em ambos os grupos¹³.

Tais resultados podem ter relevância para a prescrição de programas de exercícios entre homens e mulheres, com relação às cargas de treinamento e períodos de recuperação entre as sessões, para que as limitações físicas dos indivíduos não sejam extrapoladas e os ganhos sejam ótimos.

CONCLUSÕES

A mobilização leucocitária para o sangue, durante e após sessões de força, parecem ser decorrentes de efeitos similares as propostas pelos exercícios aeróbios, devido aos efeitos primários das catecolaminas e posteriormente os secundários provocados pelo cortisol e IL-6. Parece que o gatilho para o recrutamento celular para o sangue é mais dependente de

questões hormonais sistêmicas, com a mobilização para o sítio do dano mais relacionado às questões locais, inerentes aos danos no tecido muscular.

É postulado que a leucocitose decorrente do exercício, teria como função preparar o organismo para uma possível necessidade de re-direcionamento celular, se antecipando às necessidades de remodelagem tecidual.

Nos processos de reparo, regeneração e crescimento muscular, o sistema imunológico apresenta papel decisivo; com respostas diferenciadas a cerca do método de treinamento, contração muscular, nível de adaptação e gênero. A infiltração leucocitária nos tecidos danificados apresenta forte impacto na ativação das células satélites e íntima relação com a diminuição na força após as sessões, demonstrando um padrão bi-modal de recuperação.

As pequenas flutuações na contagem dos leucócitos, após as sessões de força, mais especificamente relacionadas aos linfócitos, parecem respostas agudas de pouco significado clínico, sem relação com aumento nos episódios de ITRS, quando comparadas às modulações frente aos exercícios aeróbios.

Por conseguinte, a imunologia do exercício necessita prontamente de investigações futuras, no que tange às respostas inerentes aos exercícios de força. Porém, não foram encontrados estudos que correlacionassem as modulações nas contagens dos leucócitos com a incidência às ITRS. Uma direta associação causal precisa ser estabelecida entre as modulações nas contagens leucocitárias e a teoria da “janela aberta”, para que a mesma possa ser completamente aceita no treinamento de força.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American College of Sports Medicine. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. **Med Sci Sports Exerc.** 2002; 34(2): 364-380.
2. Bermon S, Philip P, Candito M, Ferrari P, Dolisi C. Effects on strength exercise and training on the natural killer cell counts in elderly humans. **J Sports Med Phys Fitness.** 2001; 41(2): 196-202.
3. Cantini M et al. Human satellite cells proliferation in vitro is regulated by autocrine secretion of IL-6 stimulated by a soluble factor(s) released by activated monocytes. **Biochem Biophys Res Comm.** 1995; 16(1): 49-53.
4. Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and physiologic adaptations to resistance training. **Am J Phys Med Rehabil.** 2002; 81(11 Suppl): S3-16.
5. Dias R et al. Efeito do exercício agudo de curta duração em leucócitos circulantes e linfócitos teciduais de ratos. **Rev Bras Educ Fís Esp.** 2007; 21(3): 229-243.
6. Dias R et al. Efeitos de diferentes programas de exercício nos quadros clínico e funcional de mulheres com excesso de peso. **Rev Bras Cineantropom Desempenho. Humano** 2006; 8(3): 58-65.
7. Ferreira CKO et al. Influence of short duration acute exercise on the number, viability, functionality and apoptosis of neutrophils in sedentary rats. **J Exerc Physiol Online.** 2007; 10(6): 27-36.
8. Flynn MG et al. Effects of resistance training on selected indexes of immune function in elderly women. **J Appl Physiol.** 1999; 86(6): 1905-1913.
9. Foschini D, Prestes J. Respostas hormonais e imunes agudas decorrentes do treinamento de força em Bi-Set. **Fit Perf J.** 2007; 6(1): 37-44.

10. Foschini D, Prestes J, Charro MA. Relação entre exercício físico, dano muscular e dor muscular de início tardio. **Rev Bras Cineantropom Desempenho Humano**. 2007; 9(1): 101-106.
11. Hagerman FC et al. Effects of high-intensity resistance training on untrained older men: I Strength, cardiovascular, and metabolic responses. **J Gerontol A Biol Sci Med Sci**. 2000; 55(7): B336-B346.
12. Haikkonen H, Yrjama M, Siljander E, Byman P, Laukkanen R. The effect on heart rate controlled low resistance circuit weight training and endurance training on maximal aerobic power in sedentary adults. **Scand J Med Sci Sports**. 2000; 10(4): 211-215.
13. Hakkinen K. Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. **Int J Sports Med**. 1993; 14(2): 53-59.
14. Hawke TJ. Muscle stem cell and exercise training. **Exerc Sport Sci Rev**. 2005; 33(2): 63-68.
15. Kauhanen S, Salmi A, Von Boquslawski K, Asko-Seljavaara S, Leivo I. Satellite cell proliferation, reinnervation, and revascularization in human free microvascular muscle flaps. **J Surg Res**. 2003; 115(2): 191-199.
16. Kilgore JL, Pendlay GW, Reeves JS, Kilgore TG. Serum chemistry and hematological adaptations to 6 weeks of moderate to intense resistance training. **J Strength Cond Res**. 2002; 16(4): 509-515.
17. Kraemer WJ, Clemson A, Triplett NT, Bush JA, Newton RU, Lynch JM. The effects of plasma cortisol elevation on total and differential leukocyte counts in response to heavy-resistance exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**. 1996; 73(1-2): 93-97.

18. Kraemer WJ et al. Physiological adaptations to a weight-loss dietary regimen and exercise programs in women. **J Appl Physiol**. 1997; 83(1): 270-279.
19. Macintyre DI, Reid WD, Lyster DM, Szasz IJ, McKenzie DC. Presence of WBC, decreased strength, and delayed soreness in muscle after eccentric exercise. **J Appl Physiol**. 1996; 80(3): 1006-1013.
20. Mayhew DL, Thyfault JP, Koch AJ. Rest-Interval length affects leukocyte levels during heavy resistance exercise. **J Strength Cond Res**. 2005; 19(1): 16-22.
21. Menetrey J et al. Growth factors improve muscle healing in vivo. **J Bone Joint Surg Br**. 2000; 82(1): 131-137.
22. Miles MP, Leach SK, Kraemer WJ, Dohi K, Bush JA, Mastro AM. Leukocyte adhesion molecule expression during intense resistance exercise. **J Appl Physiol**. 1998; 84(5): 1604-1609.
23. Newsholme EA. Biochemical mechanisms to explain immunosuppression in well-trained and overtrained athletes. **Int J Sports Med**. 1994; 15(Suppl 3): S142-S147.
24. Nieman DC, Pedersen BK. Exercise and immune function: recent developments. **Sports Med**. 1999; 27(2): 73-80.
25. Patel KD, Cuvelier SL, Wiehler S. Selectins: critical mediators of leucocyte recruitment. **Semin Immunol**. 2002; 14(2): 73-81.
26. Pedersen BK, Hoffman-Goetz L. Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation. **Physiol Rev**. 2000; 80(3): 1055-1081.
27. Pierre Schneider B, Correia LA, Cannon JG. Sex differences in leukocyte invasion in injured murine skeletal muscle. **Res Nurs Health**. 1999; 22(3): 243-250.

28. Prestes J et al. Influência do exercício físico agudo realizado até a exaustão sobre o número de leucócitos, linfócitos e citocinas circulantes. **Fit Perf J**. 2007; 6(1): 446-451.
29. Raastad T, Risøy BA, Benestad B, Fjeld G, Hallén J. Temporal relation between leukocyte accumulation in muscles and halted recovery 10–20 h after strength exercise. **J Appl Physiol**. 2003; 95(6): 2503-2509.
30. Ramel A, Wagner KH, Elmadfa I. Acute impact of submaximal resistance exercise on immunological and hormonal parameters in young men. **J Sports Sci**. 2003; 21(12): 1001-1008.
31. Robertson TA, Maley MA, Grounds MD, Papadimitriou JM. The role of macrophages in skeletal muscle regeneration with particular reference to chemotaxis. **Exp Cell Res**. 1993; 207(2): 321-331.
32. Saxton JM, Claxton D, Winter E, Pockley G. Peripheral blood leucocyte functional responses to acute eccentric exercise in humans are influenced by systemic stress, but not by exercise-induced muscle damage. **Clin Sci (Lond)**. 2003; 104(1): 69-77.
33. Simonson SR, Jackson CGR. Leukocytosis occur in response to resistance exercise in men. **J Strength Cond Res**. 2004; 18(2): 266-271.
34. Stupka N, Lowther S, Chorneyko K, Bourgeois M, Hogben C, Tarnopolsky MA. Gender differences in muscle inflammation after eccentric exercise. **J Appl Physiol**. 2000; 89(6): 2325-2332.
35. Tidball JG. Inflammatory cell response to acute muscle injury. **Med Sci Sports Exerc**. 1995; 27(7): 1022-1032.
36. Tiidus PM. Can estrogens diminish exercise-induced muscle damage? **Can J Appl Physiol**. 1995; 20(1): 26-38.

37. Vierck J et al. Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. **Cell Biol Int.** 2000; 24(5): 263-272.

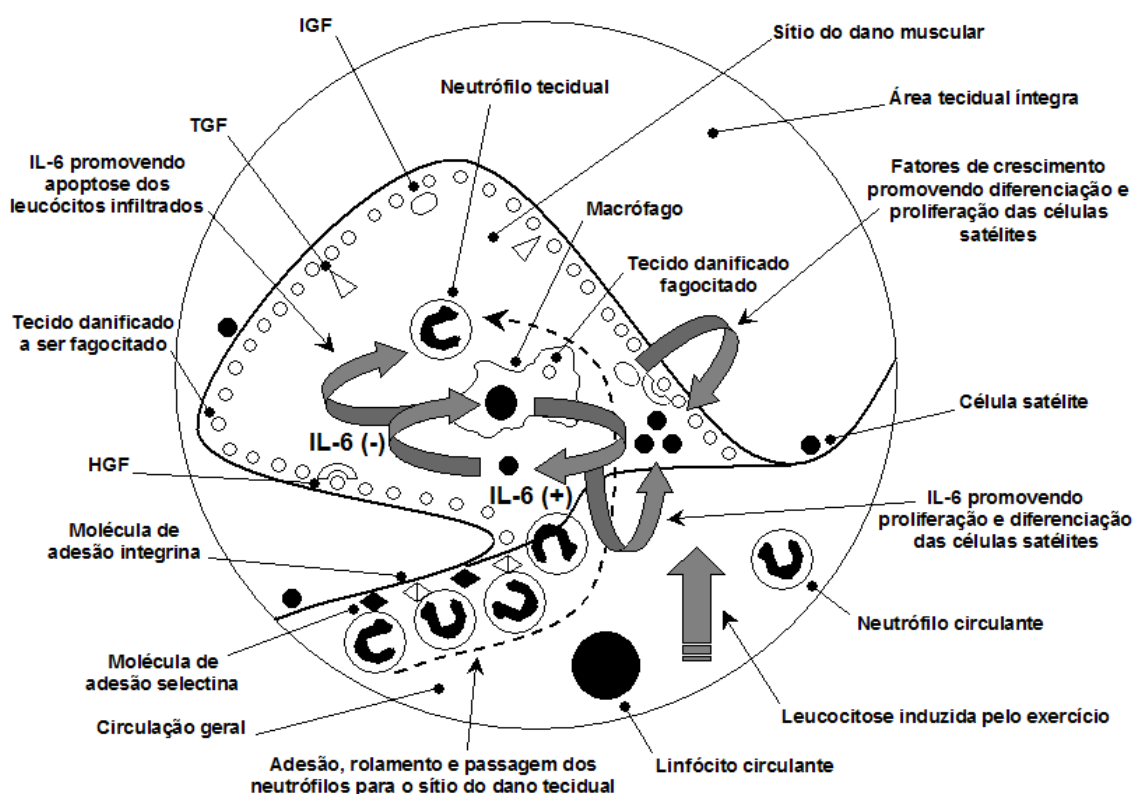


Figura 1. Eventos relacionados a inflamação e regeneração músculo-esquelética. Após migração leucocitária para o tecido danificado via interação com as selectinas e integrinas, neutrófilos e macrófagos iniciam a fagocitose do tecido danificado; os macrófagos passam a produzir e liberar IL-6, exercendo com os fatores de crescimento, efeitos positivos na proliferação e diferenciação das células satélites. As células satélites, agora ativadas, passam similarmente a produzir mais IL-6, que também exerce efeitos positivos na proliferação e diferenciação das mesmas, porém induzindo apoptose dos neutrófilos e macrófagos, reduzindo o processo inflamatório via ação negativa da IL-6 sobre os leucócitos infiltrados. A leucocitose induzida pelo exercício pode ser responsável por aumentar as possibilidades de recrutamento dos leucócitos

para o tecido danificado, pela maior disponibilidade destes no sangue. IL-6 = interleucina-6, HGF = fator de crescimento derivado dos hepatócitos, TGF = fator de crescimento de transformação e IGF = fator de crescimento insulínico.