

# Efeito da utilização de diferentes velocidades do treino de força em marcadores indiretos de lesão muscular

CDD. 20.ed. 796.073

Roberto Bauer ELLWANGER\*  
Michel Arias BRENTANO\*  
Luiz Fernando Martins KRUEL\*

\*Escola de Educação Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## Resumo

Contrações excêntricas requerem o alongamento do músculo esquelético durante a produção de força. É bem estabelecido que exercícios excêntricos promovem altos níveis de lesão muscular. Entretanto, não existe consenso sobre a influência da velocidade de contração na magnitude e recuperação da lesão muscular decorrente desse exercício. O objetivo desse estudo foi verificar a influência da velocidade de contração na magnitude da lesão muscular. Oito homens treinados, sem histórico de lesão neuromuscular, executaram duas sessões de 30 contrações excêntricas isocinéticas máximas, uma com velocidade rápida ( $180^{\circ}.s^{-1}$ ) e outra a velocidade lenta ( $20^{\circ}.s^{-1}$ ), com os flexores do cotovelo do braço dominante. As duas sessões foram separadas por cinco semanas e a ordem de execução das diferentes velocidades foi randomizada. O torque isométrico (TI), amplitude de movimento (ADM), perímetro do braço (PER) e dor muscular tardia (DMT) foram medidas antes, imediatamente depois (exceto DMT), 24 h, 72 h e 120 h após cada protocolo de exercício excêntrico. As comparações foram feitas através de análise de variância com medidas repetidas, teste "Post-Hoc" de Bonferroni e teste-t dependente ( $p \leq 0,05$ ). Ambos os protocolos mostraram uma redução no torque isométrico logo após a sessão ( $20^{\circ}.s^{-1}$ :  $82 \pm 9,4$  N.m x  $53,8 \pm 12,3$  N.m;  $180^{\circ}.s^{-1}$ :  $79 \pm 11$  N.m x  $63,1 \pm 11,7$  N.m), mas a força foi recuperada rapidamente após a  $180^{\circ}.s^{-1}$ , enquanto que na  $20^{\circ}.s^{-1}$  a força permaneceu diminuída até 72 h pós-exercício ( $73 \pm 6,4$  N.m). A ADM foi reduzida imediatamente depois e 24 h pós-exercício apenas em  $180^{\circ}.s^{-1}$  ( $127 \pm 12^{\circ}$  x  $117 \pm 7,64^{\circ}$ ). Por outro lado, o PER aumentou imediatamente depois e permaneceu aumentado até 24 h pós-exercício apenas em  $20^{\circ}.s^{-1}$  ( $34 \pm 3,4$  cm x  $35,2 \pm 3,57$  cm), sem modificações em  $180^{\circ}.s^{-1}$ . A DMT se desenvolveu 24 h pós-exercício em ambas as velocidades ( $20^{\circ}.s^{-1}$ :  $2,7 \pm 1,3$ ;  $180^{\circ}.s^{-1}$ :  $2,1 \pm 1$ ) e continuou maior que os valores pré-exercício 72 h pós-exercício, nas duas velocidades. Nós concluímos que a velocidade de contração da contração excêntrica afeta diferentemente a recuperação dos marcadores indiretos de lesão muscular; mas não influencia na magnitude deles.

UNITERMOS: Exercício excêntrico; Lesão muscular; Velocidade de contração.

## Introdução

Os exercícios de força são utilizados como meio de conquistar aumento da massa muscular. Dentre os tipos de treinamento, um dos programas de musculação que é mais utilizado para chegar a esse propósito é o treinamento excêntrico. Neste tipo de exercício há um aumento da tensão muscular e a realização do movimento de alongamento do músculo (CLEBIS & NATALI, 2001). Vários estudos concluíram que este tipo de treinamento produz maior hipertrofia muscular que o treinamento

concêntrico (FARTHING & CHILIBECK, 2003; HIGGBIE, CURETON, WARREN & PRIOR, 1996; SEGER, ARYIDSSON & THORSTENSSON, 1998), sendo que isso tem sido justificado por elevados níveis de lesão muscular, decorrentes dos maiores níveis de tensão aplicados nas fibras musculares, durante contrações excêntricas (NOSAKA & CLARKSON, 1995).

Estudos prévios mostraram que uma sessão de exercício excêntrico inabitual resulta na lesão do músculo (MCCHUGH, CONNOLLY, ESTON,

KREMENIC, NICHOLAS & GLEIM, 1999; NOSAKA & CLARKSON, 1995), e os sintomas incluem perda de força, redução da amplitude de movimento (ADM), desenvolvimento de dor muscular tardia (DMT), membro inchado e concentração de creatina quinase elevada no sangue (CHEN, 2003; LAVENDER & NOSAKA, 2006; NOSAKA & NEWTIB, 2002; MILIAS, NOMIKOS, FRAGOPOULOU, ATHANASOPOULOS & ANTONOPOULOU, 2005; PADDON-JONES & ABERNETHY, 2001). Uma medida indireta de lesão muscular muito utilizada é a diminuição da força voluntária isométrica máxima que permanece diminuída durante vários dias depois do exercício excêntrico (BYRNE, ESTON & EDWARDS, 2001; LAVENDER & NOSAKA, 2006; SERRÃO, FOESTER, PEDRO, TANNÚS & SALVINI, 2004).

Já é bem documentado que alguns fatores podem influenciar a magnitude da lesão muscular. Segundo alguns autores, os principais fatores são: o número de contrações excêntricas (McCULLY & FAULKNER, 1986; WARREN, LOWEDA, HAYES & ARMSTRONG, 1993), o grau do estiramento (BROOKS, ZERBA & FAULKNER, 1995; NOSAKA, NEWTON, SACCO, CHAPMAN & LAVENDER, 2005) e o nível de tensão produzida (McCULLY & FAULKNER, 1986; NOSAKA & NEWTON, 2002; PASCHALIS, KOUTEDAKIS, BALZPOULOS, MOUGIOS, JAMURTAS & GIAKAS, 2005).

Os sintomas ocasionados pelo exercício excêntrico citados anteriormente são utilizados como marcadores indiretos de lesão muscular. Estas variáveis foram bastante utilizadas para comparar a lesão muscular em diferentes intensidades, amplitudes de movimento, tipos de exercício e grupos musculares. Porém poucos estudos foram realizados para comparar a influência da velocidade de contração na lesão muscular. As pesquisas que direcionaram para esse objetivo são contraditórias e não conclusivas.

TALBOT e MORGAN (1998) usando o músculo sartório de sapos avaliaram o dano muscular por redução na força e mudanças no pico da curva força-comprimento. Os resultados mostraram correlações fortes entre lesão muscular e a amplitude de estiramento do músculo, e correlações fracas entre

a velocidade de estiramento do músculo e a lesão muscular. Semelhantemente, para alguns autores a velocidade não é um fator determinante no dano muscular (BROOKS & FAULKNER, 2001). Porém, pesquisas recentes em humanos têm reportado resultados diferentes dos anteriores (PADDON-JONES, KEECH, LONERGAN & ABERNETHY, 2005; SHEPSTONE, JASON, DALLAIRE, SCHUENKE, ROBERT & STUART, 2005). PADDON-JONES et al. (2005) determinaram que a velocidade de contração de uma sessão de exercício excêntrico dos flexores de cotovelo influencia diferentemente a magnitude e a recuperação de vários marcadores indiretos de lesão muscular. Por outro lado, SHEPSTONE et al. (2004) compararam a lesão muscular em velocidades altas ( $210^{\circ} \text{ s}^{-1}$ ) e lentas ( $20^{\circ} \text{ s}^{-1}$ ) nos músculos flexores do cotovelo. Perceberam que a lesão muscular, avaliada através do rompimento da linha Z, foi maior após a realização de contrações excêntricas rápidas do que as contrações excêntricas lentas.

Em nenhum dos estudos citados anteriormente (BROOKS & FAULKNER, 2001; LAVENDER & NOSAKA, 2006; SHEPSTONE et al., 2005; TALBOT & MORGAN, 1998), foram utilizados indivíduos treinados para verificar a lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico. Na literatura pesquisada, a influência das diferentes velocidades de execução de contrações excêntricas na magnitude e na recuperação dos marcadores indiretos de lesão muscular é divergente.

Assim, os objetivos deste estudo foram: 1) verificar as mudanças nos marcadores indiretos de lesão muscular em velocidades de contração rápida ( $180^{\circ} \text{ s}^{-1}$ ) e lenta ( $20^{\circ} \text{ s}^{-1}$ ); 2) e verificar a recuperação dos marcadores indiretos em velocidades rápida e lenta. Como o treinamento em velocidades altas conduz a maior hipertrofia e ganhos de força que o treinamento em velocidades baixas (SHEPSTONE et al., 2005), nosso estudo tem como hipótese que a sessão de velocidade rápida irá induzir maior lesão muscular, a qual é indicativa de remodelagem de proteínas, que pode ser um precursor para a hipertrofia muscular (YU, CARLSSON & THORNELL, 2004; YU & THORNELL, 2002).

## Procedimentos

### Amostra

A amostra foi composta por oito indivíduos do sexo masculino, da Escola de Educação Física (EsEF) da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), recreacionalmente ativos (com experiência de, no mínimo, um ano com o treinamento de força com frequência semanal pelo menos três vezes por

semana), com idades entre 21 e 31 anos isentos de problemas físicos (Idade:  $25 \pm 3,3$  anos; Estatura:  $177 \pm 9,5$  cm; Massa corporal:  $73 \pm 5,3$  kg). Todos indivíduos foram convidados pessoalmente e participaram voluntariamente do estudo. Antes da participação, cada indivíduo foi informado sobre os procedimentos, riscos e benefícios do estudo através de uma entrevista individual e leitura de um termo de consentimento que foi assinado por cada participante. O cálculo amostral considerou um nível de significância de 5%, poder estatístico de 80 e coeficiente de correlação de 0,8 para todas as variáveis. A variabilidade de cada variável dependente foi obtida através da revisão da literatura e a diferença adotada baseou-se em valores considerados fisiologicamente diferentes, na eventual ocorrência de diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades de exercício adotadas.

### **Cronograma**

Os indivíduos compareceram oito vezes ao laboratório. Na primeira visita, foram mensuradas a estatura e massa corporal, sorteada a velocidade de contração das diferentes sessões ( $20^\circ \text{ s}^{-1}$  ou  $180^\circ \text{ s}^{-1}$ ), leitura e assinatura do termo de consentimento além das medidas pré-treino de dor muscular, perímetro do braço, ângulo da articulação e torque isométrico máximo dos flexores do cotovelo. Antes da medida de referência do torque isométrico foi realizada uma familiarização com o dinamômetro isocinético com a velocidade de execução determinada. Devido ao efeito de adaptação/proteção que pode acontecer realizando até mesmo um pequeno volume de exposição prévia ao exercício excêntrico, nenhuma sessão de familiarização excêntrica foi executada (PADDON-JONES & ABERNETHY, 2001). Em seguida os sujeitos realizaram o protocolo de exercício excêntrico. Imediatamente após o protocolo excêntrico, foram novamente obtidas as medidas de perimetria, ângulo da articulação e torque isométrico máximo. Na segunda, terceira e quarta visitas (respectivamente 24 h, 72 h e 120 h após a primeira visita), os indivíduos voltaram ao laboratório para realizar as medidas de perimetria, ângulo da articulação, dor muscular e torque isométrico máximo para verificar a recuperação dessas variáveis. Cinco semanas depois, os sujeitos retornaram pela quinta vez ao

laboratório, e assim como na primeira visita foi repetido todo o protocolo de medidas pré e pós-treino e a realização do protocolo excêntrico, mas agora em outra velocidade de execução. Na sexta, sétima e oitava visitas (respectivamente 24 h, 72 h e 120 h após a quinta visita), os indivíduos voltaram ao laboratório para realizar as medidas de perimetria, ângulo da articulação, dor muscular e torque isométrico máximo para verificar a recuperação dessas variáveis.

### **Estatura**

Para verificar a estatura foi utilizado um estadiômetro de metal da marca Filizola que é constituído de uma escala métrica, na qual desliza um cursor que mede a estatura do indivíduo na posição em pé. Esta escala é fixa a uma base apoiada no solo, com resolução de 1 mm

### **Massa corporal**

Para determinar a massa dos sujeitos foi utilizada uma balança analógica da marca Filizola, com resolução de 0,1 kg.

### **Avaliação do torque isométrico máximo**

Um dinamômetro isocinético Cybex (modelo Norm, Lumex & Co., Ronkonkoma, Nova Iorque, EUA) foi utilizado para mensurar o torque isométrico máximo dos flexores do cotovelo. Antes das medidas do torque isométrico pré-sessão foi realizada uma familiarização de 10 repetições a velocidade específica da sessão. Já as medidas 24 h, 72 h e 120 h pós-sessão foi realizado um aquecimento de 10 repetições a velocidade de  $90^\circ \text{ s}^{-1}$ . No momento do teste, os sujeitos foram posicionados, sendo fixados no assento do dinamômetro através de faixas que passavam na região do braço e tórax. O eixo de rotação do dinamômetro ficou alinhado visualmente com o cotovelo do indivíduo. Os sujeitos realizaram, em máximo esforço, duas ações isométricas com duração de 3 s cada contração a  $90^\circ$  de flexão do cotovelo (LEEDHAM & DOWLING, 1995), com intervalo de um minuto entre cada ação (NOSAKA, NEWTON & SACCO, 2002). Em todas as avaliações os indivíduos foram encorajados verbalmente. O maior torque atingido durante as duas repetições máximas foi considerado.

### **Avaliação do ângulo da articulação**

Um flexímetro (Sanny) foi utilizado para medir o ângulo da articulação do cotovelo estendido e fletido do braço exercitado. Cada indivíduo foi posicionado em pé, com o tronco ereto, o flexímetro foi colocado no punho do braço avaliado. O braço foi posicionado ao lado do corpo com a articulação rádio-ulnar na posição neutra. O cotovelo foi então flexionado passivamente enquanto o indivíduo deixava-o relaxado (mantendo imóvel a articulação do ombro) até que o avaliador verificasse subjetivamente o início da resistência passiva proporcionada pelo indivíduo. Esse ponto foi considerado como o ângulo da articulação do cotovelo fletido. Após a mensuração da flexão do cotovelo, foi pedido ao sujeito manter o antebraço relaxado e o avaliador apenas guiava até a extensão máxima passiva do indivíduo. Esse ponto foi mensurado como o ângulo da articulação do cotovelo estendido. O valor resultante da subtração do ângulo da articulação fletida pelo ângulo da articulação estendida foi usado como a amplitude de movimento da articulação do cotovelo (LAVENDER & NOSAKA, 2006).

### **Avaliação do perímetro**

Uma fita métrica flexível (Sanny) com resolução de 1 mm foi utilizada para medir o perímetro do braço. O indivíduo deixava o braço relaxado ao lado do corpo, da mesma forma como na avaliação da amplitude de movimento, e o perímetro foi medido entre a meia linha do aspecto lateral do processo acromial e o olecrano (HEYWARD & STOLARCZIK, 2000).

### **Avaliação da dor muscular tardia**

A dor muscular foi avaliada por sensação subjetiva usando a escala CR10 de Borg que varia de 0 (Absolutamente nada, sem dor) para 10 (Extremamente forte, dor máxima) (BORG, 2000). O indivíduo realizava um movimento de flexão e extensão do cotovelo e logo em seguida indicava na escala a dor muscular local nos músculos flexores do cotovelo.

### **Protocolo excêntrico**

O protocolo de exercício excêntrico foi realizado no dinamômetro isocinético Cybex (modelo Norm, Lumex & Co., Ronkonkoma, Nova Iorque,

EUA) para os músculos flexores do cotovelo do braço dominante. O indivíduo foi posicionado na cadeira do dinamômetro com a articulação rádio-ulnar na posição neutra. O cotovelo foi posicionado de forma que ficasse alinhado com o eixo de rotação do dinamômetro isocinético. Os indivíduos foram fixados por uma faixa de velcro que foi colocada ao redor do braço e outra em volta do tórax. O zero anatômico foi considerado o 0° de flexão do cotovelo e a amplitude de movimento foi de 10° aos 110° de flexão. Após o posicionamento, o torque do segmento em repouso foi avaliado pelo dinamômetro, sendo esse valor desconsiderado nos valores finais de torque e trabalho total. Cada voluntário completou três séries de 10 contrações excêntricas máximas com dois minutos de intervalo entre as séries (SHEPSTONE et al., 2005). Baseado nas velocidades de contração usadas em outros estudos, as contrações excêntricas foram executadas a 20°.s<sup>-1</sup> e 180°.s<sup>-1</sup> (PADDON-JONES et al., 2005; SHEPSTONE et al., 2005). Na execução do protocolo, o cotovelo era flexionado passivamente até 110° e, então, o indivíduo teve que resistir de forma excêntrica ao movimento da máquina até a flexão de 10°. Após cada contração, na fase concêntrica, o investigador conduzia passivamente à posição inicial a uma velocidade de 60° s<sup>-1</sup>. Após a realização de cada série o trabalho total foi registrado. Cinco semanas após a primeira sessão de contração excêntrica, os voluntários repetiram o protocolo, mas agora na outra velocidade de movimento com o mesmo braço executado anteriormente. Em todas as avaliações os indivíduos foram encorajados verbalmente.

### **Análise estatística**

Para analisar os dados coletados foi utilizada estatística descritiva. Para a verificação da normalidade dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. Foi utilizada análise de variância com medidas repetidas (ANOVA) para comparar as variáveis dependentes nos diferentes pontos do tempo em cada sessão. O teste “post hoc” de Bonferroni foi utilizado para a identificação das diferenças. Para comparar as mesmas variáveis nos mesmos pontos do tempo nas diferentes velocidades foi utilizado o teste-t dependente. O índice de significância adotado foi  $p \leq 0,05$ . Os testes estatísticos foram realizados no programa estatístico SPSS vs 11.0.

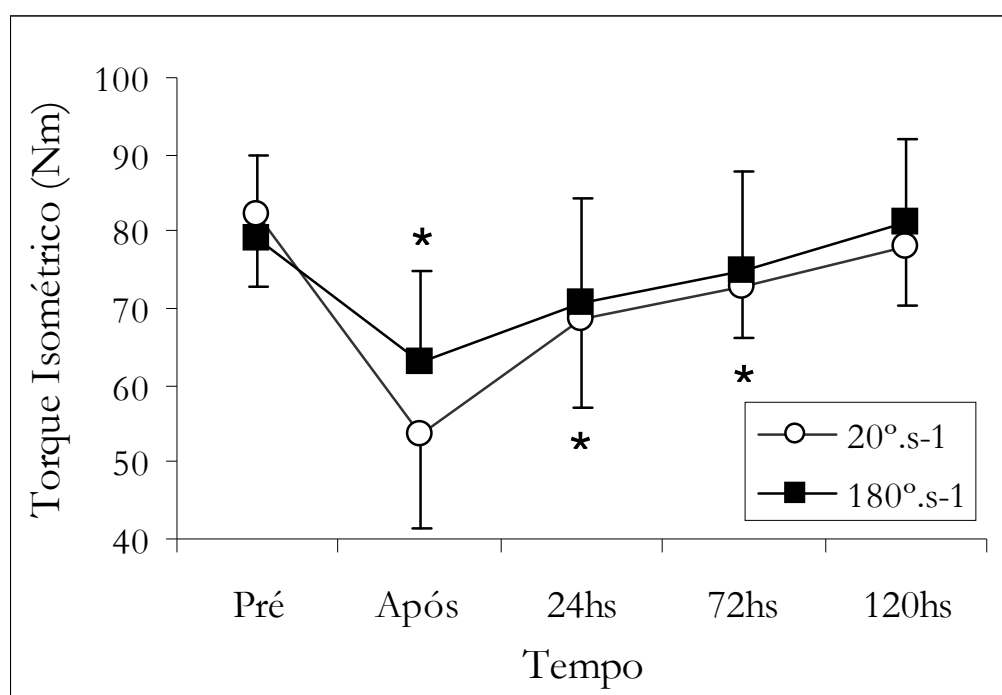
## Resultados

### Trabalho total e pico do torque excêntrico

O trabalho total (TT) realizado nas sessões com  $180^{\circ}.s^{-1}$  e  $20^{\circ}.s^{-1}$  durante as 30 repetições foi  $3033 \pm 496$  J e  $2321 \pm 406$  J, respectivamente. O TT realizado na sessão  $180^{\circ}.s^{-1}$  foi significativamente maior que na sessão  $20^{\circ}.s^{-1}$ .

### Torque isométrico máximo

Os valores do torque isométrico pré-exercício de  $180^{\circ}.s^{-1}$  e  $20^{\circ}.s^{-1}$  foram  $82,2 \pm 9,3$  Nm e  $79,1 \pm 10,8$  Nm, respectivamente. Ambos os protocolos mostraram uma redução no torque isométrico logo após a sessão. No entanto, enquanto na  $20^{\circ}.s^{-1}$  a recuperação da força aconteceu apenas 120 h após a sessão, na  $180^{\circ}.s^{-1}$  ela retornou aos valores pré-exercício 24 h pós-sessão. Em nenhum ponto do tempo houve diferenças entre as velocidades (FIGURA 1).



Os valores (média) são a mudança em N.m do valor pré-sessão.  
\* diferença significativa do valor pré-sessão ( $p < 0,05$ ).

FIGURA 1 - Torque isométrico medido antes (pré), imediatamente após (pós), 24, 72 e 120 horas depois do exercício excêntrico com  $20^{\circ}.s^{-1}$  e  $180^{\circ}.s^{-1}$ .

### Amplitude de movimento

A amplitude de movimento não variou após a sessão  $20^{\circ}.s^{-1}$  e foi reduzida imediatamente depois e 24 h pós-

exercício na sessão  $180^{\circ}.s^{-1}$ . Em nenhum ponto do tempo houve diferenças entre as velocidades (FIGURA 2).

Os valores (média) são a mudança em graus do valor pré-sessão.  
\* diferença significativa do valor pré-sessão ( $p < 0,05$ ).

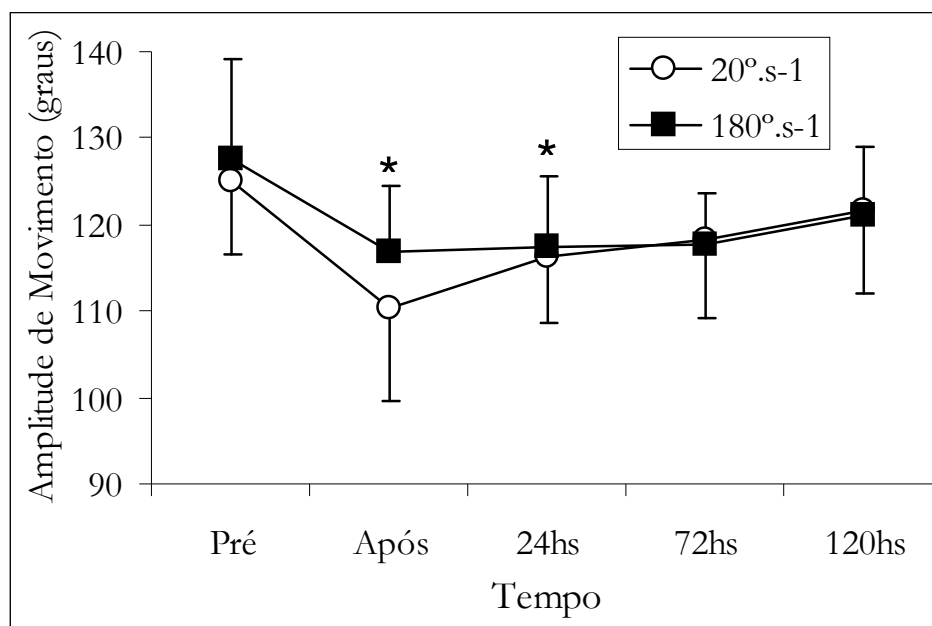


FIGURA 2 - Amplitude de movimento medida antes (pré), imediatamente após (pós), 24, 72 e 120 horas depois do exercício excêntrico com  $20^{\circ}\cdot s^{-1}$  e  $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ .

### Perímetros

Os perímetros de braço aumentaram imediatamente depois do protocolo excêntrico na  $20^{\circ}\cdot s^{-1}$  e permaneceram aumentados até 24 h pós-exercício, só retornando a valores próximos ao da pré-sessão

72 h após o protocolo excêntrico. Por outro lado, na sessão de  $180^{\circ}\cdot s^{-1}$  o perímetro não se alterou em nenhum momento. Em nenhum ponto do tempo houve diferenças entre as velocidades (FIGURA 3).

Os valores (média) mostram a mudança em centímetros do valor pré-sessão.  
\* diferença significativa do valor pré-sessão ( $p < 0,05$ ).

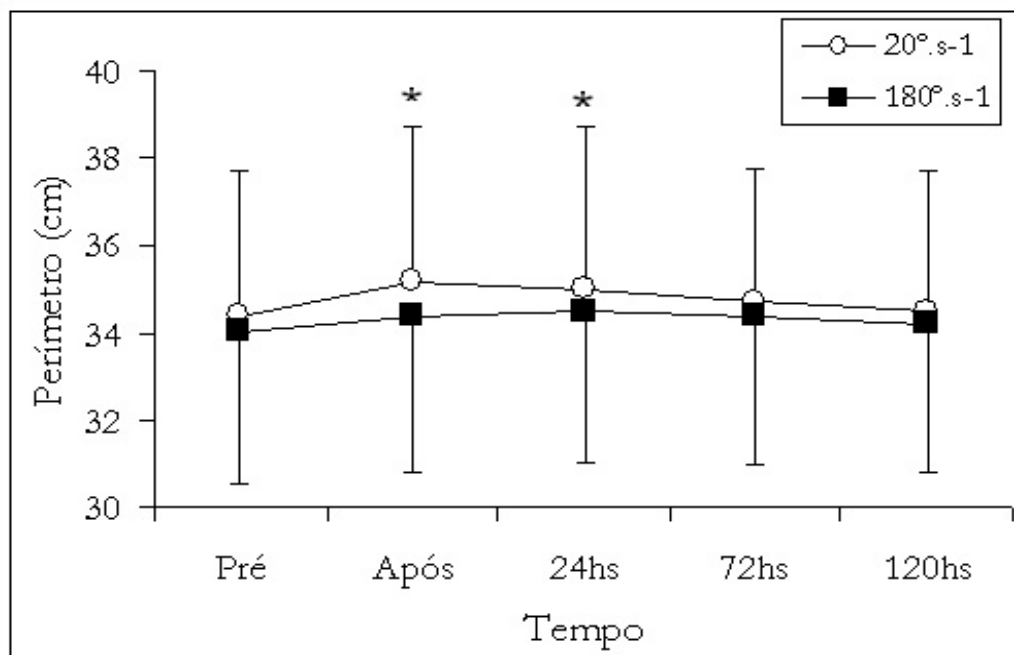
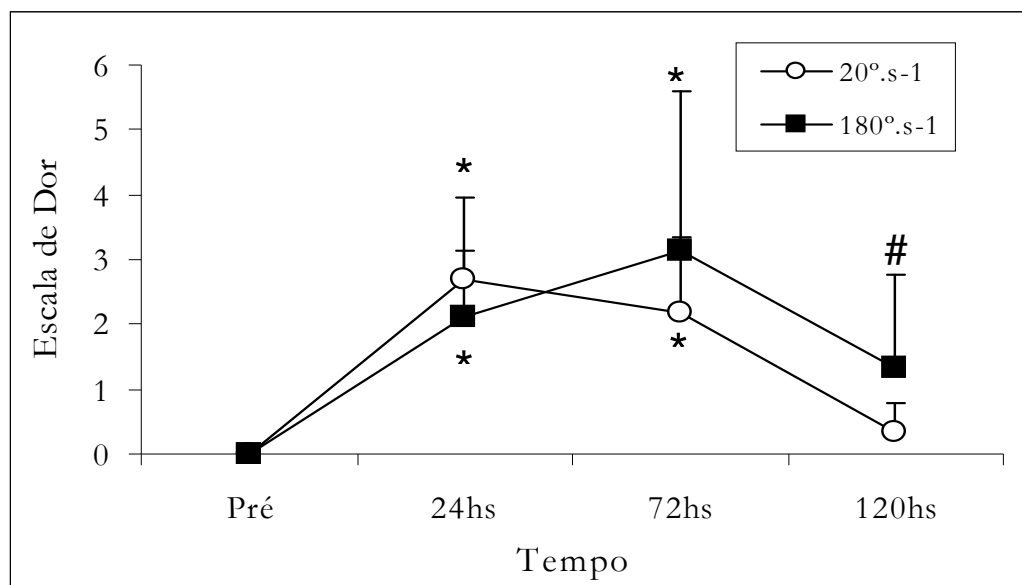


FIGURA 3 - Perímetro do braço medido antes (pré), imediatamente após (pós), 24, 72 e 120 horas depois do exercício excêntrico com  $20^{\circ}\cdot s^{-1}$  e  $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ .

## Dor muscular tardia

A dor muscular foi evidente em ambos os protocolos 24 h pós-exercício e continuou maior que os valores

pré-exercício 72 h após ambas as sessões. A DMT a 120 h foi maior na 180°.s<sup>-1</sup> que na 20°.s<sup>-1</sup> (FIGURA 4).



Os valores (média) mostram a mudança na sensação subjetiva de dor do valor pré-sessão.

\* diferença significativa ( $p < 0,05$ ) do valor pré-sessão.

# diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as duas sessões.

FIGURA 4 - Percepção de dor muscular medida antes (pré), 24, 72 e 120 horas depois do exercício excêntrico com 20°.s<sup>-1</sup> e 180°.s<sup>-1</sup>.

## Discussão

Os resultados indicam que ambos os protocolos de exercício excêntrico induziram lesão dos músculos flexores do cotovelo que é manifestada pela perda de força, diminuição da amplitude articular, aumento da circunferência do braço e aparecimento de dor muscular tardia (BARBOSA, MAGALHÃES, LOPES, NEUPARTH & DUARTE, 2003; MILLIAS et al., 2005; NOSAKA, NEWTON & SACCO, 2002; PADDON-JONES et al., 2005).

Nosso estudo demonstrou que o efeito de uma sessão de exercício excêntrico de velocidade lenta e rápida foi similar na magnitude de dano muscular sugerido pelas mudanças nos marcadores indiretos. No entanto, foram encontradas diferenças no período de recuperação. O protocolo de exercício excêntrico com velocidade baixa acarretou em um maior período de recuperação do torque isométrico máximo e do perímetro do braço, enquanto que em altas velocidades a amplitude articular foi mais afetada. Isso sugere que a velocidade de contração de uma sessão de exercício excêntrico pode influenciar diferentemente a recuperação da lesão muscular. No entanto, particularmente em relação aos perímetros, o fato de não termos a análise de

marcadores bioquímicos faz com que analisemos com cautela esses resultados, sendo que a utilização desses marcadores provavelmente apresentaria resultados mais consistentes.

Esta diferença pode ser devido a um mecanismo neural protetor/inibitório que pode ser mais prevalente durante contrações excêntricas com velocidades altas (STAUBER, 1989; TESCH, DUDLEY, DUVOISIN, HATHER & HARRIS, 1990; WESTING, SEGER, KARLSON & EKBLOM, 1988). Ou seja, uma inibição neural durante a execução de contrações excêntricas em velocidades altas na sessão de 180°.s<sup>-1</sup> pode resultar num estímulo menos severo de sobrecarga nos indivíduos, facilitando a recuperação da força. Outro mecanismo que pode contribuir para essa diferença no presente estudo pode ser relacionado à diferença do padrão de recrutamento dos flexores do cotovelo durante contrações excêntricas rápidas e lentas. KULIG, POWERS, SHELLOCK e TERK (2001) demonstraram que o bíceps braquial é preferencialmente recrutado durante contrações excêntricas rápidas, enquanto que o músculo braquial é preferencialmente recrutado durante contrações excêntricas lentas. Entretanto, a influência desse

diferente padrão de recrutamento nas variáveis como a força não esta bem definida.

Um fator importante a se considerar é a duração do exercício. Segundo TIIDUS e IANUZZO (1983), a magnitude de lesão muscular induzida pelo exercício excêntrico é dependente da intensidade e duração do exercício. De acordo com TRAN, DOCHERTY e BEHM (2006), quanto maior o tempo sob tensão, maior a fadiga neuromuscular. No nosso estudo, em ambas as sessões o músculo foi submetido a intensidade máxima, porém o tempo total de contração foi 150 s na sessão de  $20^{\circ}.s^{-1}$ , enquanto que na sessão de  $180^{\circ}.s^{-1}$  o tempo de contração foi 16,6 s. A sessão de  $20^{\circ}.s^{-1}$  pode ter ocasionado uma maior lesão do que a sessão de  $180^{\circ}.s^{-1}$  por estressar os músculos ao máximo por um maior tempo. Entretanto, considerando a relação força x velocidade da contração excêntrica espera-se que o aumento da velocidade de movimento promova um aumento do torque excêntrico produzido, e conseqüentemente do trabalho total. Os nossos resultados confirmam essa questão, já que o trabalho total de  $180^{\circ}.s^{-1}$  foi superior ao de  $20^{\circ}.s^{-1}$ . Os nossos resultados sugerem que, mesmo com um maior torque e trabalho total produzido durante a sessão  $180^{\circ}.s^{-1}$ , o maior tempo de exposição à ação excêntrica na sessão  $20^{\circ}.s^{-1}$  parece ser mais relevante no processo de perda muscular decorrente desse tipo de exercício.

O fato de não termos controlado o trabalho total caracteriza uma limitação para a comparação entre as duas sessões de exercício. Observa-se que os nossos resultados diferem dos encontrados quando o trabalho total foi controlado (PASCHALIS, KOUTEDARKIS, JAMURTAS, MOUGIOS & BALZOPOULOS, 2005), principalmente se considerarmos os níveis de força. PASCHALIS et al. (2005), ao compararem o grau de lesão, de DMT e perda de força muscular isométrica e excêntrica, induzidos por contrações excêntricas de alta e de baixa intensidade (83 e 50% do torque excêntrico máximo, respectivamente), observaram que mesmo com o maior tempo de exposição à contração excêntrica durante uma sessão de baixa intensidade, apenas o treino com alta intensidade promoveu diminuição da força muscular nos dias posteriores ao exercício. No entanto, além da diferença na característica das amostras (treinado x não-treinado), no estudo de PASCHALIS et al. (2005) a alteração da "intensidade" do exercício foi dada pela porcentagem da força excêntrica máxima, enquanto o presente estudo manipulou a velocidade de movimento, dificultando a comparação entre os estudos.

A redução significativa e prolongada da força muscular após o exercício intenso foi bem observada

em diversos estudos com diferentes protocolos de exercício (BARBOSA et al., 2003; NOSAKA & NEWTON, 2002; PADDON-JONES & ABERNETHY, 2001; PADDON-JONES et al. 2005; PHILIPPOU, BOGDANIS, NEVIL & MARIDAKI, 2004; YU & THORNELL, 2002). No entanto, o percentual e duração desta perda de força encontrados no nosso estudo foram diferentes das reduções encontradas na literatura (20 e 33% no atual estudo vs.  $\pm 55\%$  estudos prévios (BARBOSA et al., 2003; NOSAKA & NEWTON, 2002; PADDON-JONES & ABERNETHY, 2001; PADDON-JONES et al. 2005; PHILIPPOU et al., 2004; YU & THORNELL, 2002); 1-5 dias vs. 7-10 dias, respectivamente). Essa diferença provavelmente se deve pela diferença do nível de treinamento da amostra, visto que no presente estudo os voluntários eram indivíduos treinados. Já que o músculo esquelético treinado é menos suscetível ao dano induzido pelo exercício excêntrico, além de se recuperar mais rapidamente (CLARKSON & TREMBLAY, 1988; VINCENT & VINCENT, 1997).

A diminuição da força é o resultado da ineficiência no acoplamento excitação-contração que ocorre por mudanças na orientação do túbulo-t e tráfego além de alterar a propriedade dos sensores de voltagem (INGALLS, WARREN & ARMSTRONG, 1999; WARREN, INGALLS, LOWE & ARMSTRONG, 2001) de forma que menos cálcio é lançado por potencial de ação. Outro fator que pode contribuir para a diminuição da produção de força é o rompimento das fibras musculares. Este rompimento impossibilita a interação da proteína necessária para a produção de força dos sarcômeros, assim limitando a produção de força do músculo lesionado (LINDSTEDT, LASTAYO & REICH, 2001). Existe ainda o aspecto da fadiga que pode responder a essa perda de força inicial (WARREN et al., 2001).

No presente estudo, o desenvolvimento de dor muscular foi semelhante em ambos os protocolos, mas foi evidente que na sessão de  $180^{\circ}.s^{-1}$  a tendência do pico de dor foi mais tardio que na sessão de  $20^{\circ}.s^{-1}$ . Segundo SMITH (1991), após o dano no tecido conectivo e/ou na estrutura contrátil, entre seis e 12 horas, monócitos se acumulariam na região, com o pico de concentração perto de 48 horas após o exercício. Os monócitos seriam, então, convertidos em macrófagos os quais, por sua vez, sintetizariam grandes quantidades de prostaglandinas (PGE2). As PGE2 aumentariam a sensibilidade dos receptores de dor tipo III e tipo IV. Portanto, a lenta liberação de PGE2, associada ao processo de lesão muscular, podem explicar a sensação dolorosa relacionada à dor muscular tardia (TRICOLI, 2001). No entanto, vários autores



citam que a dor muscular tardia, mesmo sendo um sintoma de lesão muscular, não necessariamente reflete o tempo de recuperação e a magnitude da lesão muscular (JAMURTAS & PASCHALIS, 2005; NOSAKA & NEWTON, 2002; NOSAKA, NEWTON & SACCO, 2002), cabendo cautela na sua análise.

A amplitude articular diminuiu após a sessão de  $180^{\circ}.s^{-1}$  e permaneceu menor que os valores pré-sessão até 24 h pós-exercício, enquanto a sessão de  $20^{\circ}.s^{-1}$  modificou esse parâmetro no período pós-exercício. Já o perímetro aumentou imediatamente e 24 h depois do protocolo de  $20^{\circ}.s^{-1}$ , enquanto que o protocolo de  $180^{\circ}.s^{-1}$  não alterou o perímetro

do braço em nenhum momento. Embora o aumento inicial pós-exercício no perímetro e redução no ângulo do cotovelo serem normalmente relacionados a um aumento temporário no fluxo sanguíneo periférico, as mudanças observadas 24 h pós-exercício são mais relacionadas à formação de edema e inchaço (JONES, NEWHAM, ROUND & TOLFEE, 1986; WARREN, LOWE & ARMSTRONG, 1999). Esse aumento do perímetro é relacionado ao inchaço inflamatório (NOSAKA & CLARKSON, 1995). Logo, é possível concluir que a sessão de  $20^{\circ}.s^{-1}$  ocasionou uma maior resposta inflamatória, levando ao inchaço muscular.

## Conclusão

Pela análise dos marcadores indiretos de lesão muscular, é possível concluir que as contrações excêntricas lentas induziram mais lesão dos flexores do cotovelo do que as excêntricas rápidas (força muscular e perímetro do segmento), embora contrações excêntricas rápidas tenham induzido a modificações mais importantes no período de recuperação da amplitude articular. Essas respostas, provavelmente devem-se ao maior tempo de duração de cada ação excêntrica em velocidades baixas. Entretanto, faz-se necessária a elaboração de estudos que analisem marcadores de lesão muscular mais específicos, como marcadores bioquímicos ou a análise direta de tecido muscular, para que conclusões mais expressivas possam ser obtidas. Ainda, análises cujo controle do trabalho total das sessões de exercício seja observado, são relevantes.

## Aplicações práticas

O controle de variáveis como a dor muscular tardia e a produção de força pode ser de grande importância para compreender o tempo de intervalo entre as sessões de treino, para que não ocorra “overtraining”. Os resultados do estudo indicam que para periodizar o treinamento com contrações excêntricas máximas pode ser necessário, no mínimo, um intervalo de 24 h para realizar outra sessão de treino se forem utilizadas contrações rápidas, mas ainda com sensação de dor muscular. Por outro lado, se forem executadas contrações excêntricas lentas o período necessário para recuperar a força para a realização de uma sessão subsequente pode chegar até cinco dias, em indivíduos treinados.

## Abstract

The effect of different velocities of strength training in indirect markers of muscle damage

Eccentric muscle contractions require a muscle stretch during force production. It is well established that eccentric exercises induce high levels of muscle injury. However, there is no consensus about the influence of contraction velocity on muscle damage and recovery. So, the aim of this study was to verify the influence of eccentric velocity contractions in the extent of muscle damage. Eight trained men, without neuromuscular injury, executed two training sessions with 30 maximal isokinetic eccentric muscle contractions with low velocity ( $20^{\circ}.s^{-1}$ ) and high velocity ( $180^{\circ}.s^{-1}$ ) using the dominant arm. The two sessions was separated by five weeks and were performed randomly. The isometric moment (TI), range of motion (ROM), arm perimeter (PER) and muscle soreness (DMT) were analyzed before, immediately after (except DMT) 24 h, 72 h and 120 h after each eccentric training session. Comparisons were made by analysis of variance (ANOVA) with repeated-measures, Bonferroni post-hoc and paired t-test ( $p \leq 0.05$ ). Both training sessions showed a reduction in TI immediately after exercise ( $20^{\circ}.s^{-1}$ :  $82 \pm 9.4$  N.m x  $53.8 \pm 12.3$  N.m;  $180^{\circ}.s^{-1}$ :  $79 \pm 11$  N.m x  $63.1 \pm 11.7$  N.m),

however were rapidly recovered in  $180^{\circ}.s^{-1}$ , while in  $20^{\circ}.s^{-1}$ , TI remained diminished 72 h after exercise ( $73 \pm 6.4$  N.m). The ROM diminished immediately after and 24 h only in  $180^{\circ}.s^{-1}$  ( $127 \pm 12^{\circ} \times 117 \pm 7.64^{\circ}$ ). Otherwise, the PER increased immediately after, remaining higher 24 h after the  $20^{\circ}.s^{-1}$  ( $34 \pm 3.4$  cm  $\times$   $35.2 \pm 3.57$  cm), with no alterations after the  $180^{\circ}.s^{-1}$ . The DMT was increased after 24 h and remained elevated 72 h after both velocities ( $20^{\circ}.s^{-1}$ :  $2.7 \pm 1.3$ ;  $180^{\circ}.s^{-1}$ :  $2.1 \pm 1$ ). We concluded that eccentric contraction velocity affects differently the recovery of muscle damage markers but not the extent of the response.

UNITERMS: Eccentric exercise; Muscle damage; Velocity of muscle contraction.

## Referências

- BARBOSA, T.M.; MAGALHÃES, P.M.; LOPES, V.P.; NEUPARTH, M.; DUARTE, J.A. Comparação da variação da actividade neuromuscular, da creatina quinase e da força isométrica máxima voluntária entre dois protocolos exaustivos e inabituais. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, Porto, v.3, p. 7-15, 2003.
- BORG, G. *Escala de Borg para a dor e o esforço percebido*. São Paulo: Manole, 2000.
- BROOKS, S.V.; FAULKNER, J.A. Severity of contraction-induced injury is affected by velocity only during stretches of large strain. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, v.91, p.661-6, 2001.
- BROOKS, S.V.; ZERBA, E.; FAULKNER, J.A. Injury to muscle fibres after single stretches of passive and maximally stimulated muscles in mice. *Journal of Physiology*, London, v.488, p.459-69, 1995.
- BYRNE, C.; ESTON, R.G.; EDWARDS, R.T.H. Characteristics of isometric and dynamic strength loss following eccentric exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, Copenhagen, v.11, p.134-40, 2001.
- CHEN, T.C. Effects of a second bout of maximal eccentric exercise on muscle damage and electromyographic activity. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.89, p.115-21, 2003.
- CLARKSON, P.M.; TREMBLAY, I. Exercise-induced muscle damage, repair and adaptation in humans. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, v.65, p.1-6, 1988.
- CLEBIS, N.K.; NATALI, M.J.M. Lesões musculares provocadas por exercícios excêntricos. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, São Caetano do Sul, v.9, p.47-53, 2001.
- FARTHING, J.P.; CHILIBECK, P.D. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.89, p.578-86, 2003.
- HEYWARD, V.H.; STOLARCZIK, L.M. *Avaliação da composição corporal aplicada*. São Paulo: Manole, 2000.
- HIGBIE, E.J.; CURETON, K.J.; WARREN, G.L.; PRIOR, B.M. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, v.81, p.2173-81, 1996.
- INGALLS, C.P.; WARREN, G.L.; ARMSTRONG, R.B. Intracellular  $Ca^{2+}$  transients in mouse soleus muscle after hindlimb unloading and reloading. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, v.87, p.386-90, 1999.
- JAMURTAS, A.Z.; PASCHALIS, V. Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.95, p.179-85, 2005.
- JONES, D.A.; NEWHAM, D.J.; ROUND, J.M.; TOLFREE, S.E. Experimental human muscle damage: morphological changes in relation to other indices of damage. *Journal of Physiology*, London, v.375, p.435-48, 1986.
- KULIG, K.; POWERS, C.M.; SHELLOCK, F.G.; TERK, M. The effects of eccentric velocity on activation of elbow flexors: evaluation by magnetic resonance imaging. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, Madison, v.33, p.196-200, 2001.
- LAVENDER, A.; NOSAKA, K. Changes in fluctuation of isometric force following eccentric and concentric exercise of the elbow flexors. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.96, p.235-40, 2006.
- LEEDHAM, J.S.; DOWLING, J.J. Force-length, torque-angle and EMG-joint angle relationships of the human in vivo biceps brachii. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.70, p.421-6, 1995.
- LINDSTEDT, S.L.; LASTAYO, P.C.; REICH, T.E. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News in Physiological Sciences*, Maryland, v.16, p.256-61, 2001.
- MCCULLY, K.K.; FAULKNER, J.A. Characteristics of lengthening contractions associated with injury to skeletal muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, v.61, p.293-99, 1986.
- McHUGH, M.P.; CONNOLLY, D.A.J.; ESTON, R.G.; KREMENIC, I.J.; NICHOLAS, S.J.; GLEIM, G.W. The role of passive stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *American Journal of Sports Medicine*, Columbus, v. 27, p.594-9, 1999.

- MILIAS, G.; NOMIKOS, T.; FRAGOPOULOU, E.; ATHANASOPOULOS, S.; ANTONOPOULOU, S. Effects of eccentric exercise-induced muscle injury on blood levels of platelet activating factor (PAF) and other inflammatory markers. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.95, p.504-13, 2005.
- NOSAKA, K.; CLARKSON, P.M. Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, Madison, v.27, p.1263-9, 1995.
- NOSAKA, K.; NEWTON, M. Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and sub-maximal eccentric loading. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Champaign, v.16, p.202-8, 2002.
- NOSAKA, K.; NEWTON, M.; SACCO, P. Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, Copenhagen, v.12, p.337-46, 2002.
- NOSAKA, K.; NEWTON, M.; SACCO, P.; CHAPMAN, D.; LAVENDER, A. Partial protection against muscle damage by eccentric actions at short muscle lengths. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, Madison, v.37, p.746-53, 2005.
- PASCHALIS, V.; KOUTEDAKIS, Y.; BALZPOPOULOS, V.; MOUGIOS, V.; JAMURTAS, A.Z.; GIAKAS, G. Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Champaign, v.19, p.184-8, 2005.
- PASCHALIS, V.; KOUTEDAKIS, Y.; JAMURTAS, A.Z.; MOUGIOS, V.; BALZPOPOULOS, V. Equal volume of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Champaign, 2005, 19: 184-188, 2005.
- PADDON-JONES, D.; ABERNETHY, P.J. Acute adaptation to low volume eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, Madison, v.33, p.1213-9, 2001.
- PADDON-JONES, D.; KEECH, A.; LONERGAN, A.; ABERNETHY, P.J. Differential expression of muscle damage in humans following acute fast and slow velocity eccentric exercise. *Journal of Science & Medicine in Sport*, Belconnen, v. 8, p.255-63, 2005.
- PHILIPPOU, A.; BOGDANIS, G.C.; NEVIL, A.M.; MARIDAKI, M. Changes in the angle-force curve of human elbow flexors following eccentric and isometric exercise. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.93, p.237-44, 2004.
- SEGER, J.; ARYIDSSON, B.; THORSTENSSON, A. Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.79, p.49-57, 1998.
- SHEPSTONE, T.N.; JASON, E.T.; DALLAIRE, S.; SCHUENKE, M.D.; ROBERT, S.S.; STUART, M.P. Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, v.98, p.1768 -76, 2005.
- SERRÃO, F.V.; FOERSTER, B.; PEDRO, V.M.; TANNÚS, A.; SALVINI, T.F. Análise do torque isométrico e da atividade elétrica após lesão muscular induzida por exercício excêntrico em humanos. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, São Carlos, v.8, p.179-85, 2004.
- STAUBER, W.T. Eccentric action of muscles: physiology, injury, and adaptation. *Exercise and Sport Science Reviews*, New York, v.17, p.157-85, 1989.
- SMITH, L.L. Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Madison, v.23, p.542-51, 1991.
- TALBOT, J.A.; MORGAN, D.L. The effects of stretch parameters on eccentric exercise-induced damage to toad skeletal muscle. *Journal of Muscle Research Cell Motility*, London, v.19, p.237-45, 1998.
- TESCH, P.A.; DUDLEY, G.A.; DUVOISIN, M.R.; HATHER, B.M.; HARRIS, R.T. Force and EMG signal patterns during repeated bouts of concentric or eccentric muscle actions. *Acta Physiologica Scandinávica*, Stockholm, v.138, p.263-71, 1990.
- TIIDUS, P.; IANUZZO, D. Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, Madison, v.15, p. 461-5, 1983.
- TRAN, Q.T.; DOCHERTY, D.; BEHM, D. The effects of varying time under tension and volume load on acute neuromuscular responses. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.98, p.402-10, 2006.
- TRICOLI, V. Mecanismos envolvidos na etiologia da dor muscular tardia. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, São Caetano do Sul, v.9, p.39-44, 2001.
- VINCENT, H.K.; VINCENT, K.R. The effect of training status on the serum creatine kinase response, soreness and muscle function following resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, Stuttgart, v.18, p.431-7, 1997.
- WARREN, G.L.; INGALLS, C.P.; LOWE, D.A.; ARMSTRONG, R.B. Excitation-contraction uncoupling: major role in contraction-induced muscle injury. *Exercise and Sports Science Reviews*, New York, v.29, p.82-7, 2001.
- WARREN, G.L.; LOWE, D.A.; ARMSTRONG, R.B. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Medicine*, Auckland, v.27, p.43-59, 1999.

WARREN, G.L.; LOWE, D.A.; HAYES, D.A.; ARMSTRONG, R.B. Mechanical factors in the initiation of eccentric contraction-induced injury in rat soleus muscle. **Journal of Physiology**, London, v.464, p.457-75, 1993.

WESTING, S.H.; SEGER, J.Y.; KARLSON, E.; EKBLÖM, B. Eccentric and concentric torque-velocity characteristics of the quadriceps femoris in man. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v.58, p.100-4, 1988.

YU, J.; CARLSSON, L.; THORNELL, L. Evidence for myofibril remodeling as opposed to myofibril damage in human muscles with DOMS: an ultrastructural and immunoelectron microscopic study. **Histochemistry and Cell Biology**, Berlin, v.121, p.219-27, 2004.

YU, J.; THORNELL, L. Desmin and actin alterations in human muscles affected by delayed onset muscle soreness: a high resolution immunocytochemical study. **Histochemistry and Cell Biology**, Berlin, v.118, p.171-9, 2002.

ENDEREÇO

Michel Arias Brentano  
Laboratório de Pesquisa do Exercício  
Escola de Educação Física  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
R. Felizardo, 750  
90690-200 - Porto Alegre - R S - BRASIL  
e-mail: michel.brentano@terra.com.br

Recebido para publicação: 23/07/2007

1a. Revisão: 13/03/2008

2a. Revisão: 07/05/2008

Aceito: 08/05/2008