

Análise eletromiográfica da pré-ativação muscular induzida por exercício monoarticular

Electromyographic analyses of muscle pre-activation induced by single joint exercise

Valdinar A. R. Júnior¹, Martim Bottaro¹, Maria C. C. Pereira¹, Marcelino M. Andrade², Paulo R. W. P. Júnior¹, Jake C. Carmo¹

Resumo

Objetivo: Verificar se a execução de um exercício monoarticular de baixa intensidade para os extensores do joelho é uma estratégia eficaz para aumentar o número de unidades motoras recrutadas no músculo vasto lateral durante a realização de um exercício multiarticular subsequente. **Métodos:** Nove sujeitos saudáveis do sexo masculino (23,33±3,46 anos) foram submetidos a rotinas de treinamento nas quais os exercícios cadeira extensora e *leg press 45°* eram realizados em sequência. Na rotina de baixa intensidade (R30), foram realizadas 15 extensões unilaterais de joelho, seguidas de 15 repetições de *leg press 45°* com cargas de 30% e 60% de uma repetição máxima (1-RM), respectivamente. Na rotina de alta intensidade (R60), a mesma sequência foi executada, porém a carga dos dois movimentos foi de 60% de 1-RM. Uma série simples de 15 repetições *leg press 45°* com carga de 60% de 1-RM foi utilizada como exercício controle (RC). A eletromiografia de superfície foi registrada no músculo vasto lateral por meio de um arranjo linear de eletrodos. O valor RMS foi calculado para cada repetição do *leg press 45°* e, a partir desses resultados, foram calculadas regressões lineares. As inclinações das retas obtidas foram então normalizadas pelos coeficientes lineares das equações de regressão e comparadas por meio da ANOVA de um fator para medidas repetidas. **Resultados:** As inclinações observadas na rotina RC foram significativamente inferiores às de R30 e às de R60 ($p < 0,05$). **Conclusões:** Os resultados indicaram um recrutamento mais efetivo de unidades motoras nas rotinas de exercício multiarticular precedidas de exercício monoarticular.

Artigo registrado na Australian New Zealand Clinical Trials Registry (ANZCTR) sob o número ACTRN12609000413224.

Palavras-chave: treinamento resistido; ordem de exercícios; eletromiografia.

Abstract

Objective: To investigate whether performing a low-intensity, single-joint exercises for knee extensors was an efficient strategy for increasing the number of motor units recruited in the vastus lateralis muscle during a subsequent multi-joint exercises. **Methods:** Nine healthy male participants (23.33±3.46 yrs) underwent bouts of exercise in which knee extension and 45°, and leg press exercises were performed in sequence. In the low-intensity bout (R30), 15 unilateral knee extensions were performed, followed by 15 repetitions of the leg presses at 30% and 60% of one maximum repetition load (1-MR), respectively. In the high-intensity bout (R60), the same sequence was performed, but the applied load was 60% of 1-MR for both exercises. A single set of 15 repetitions of the leg press at 60% of 1-MR was performed as a control exercise (CR). The surface electromyographic signals of the vastus lateralis muscle were recorded by means of a linear electrode array. The root mean square (RMS) values were determined for each repetition of the leg press, and linear regressions were calculated from these results. The slopes of the straight lines obtained were then normalized using the linear coefficients of the regression equations and compared using one-way ANOVAs for repeated measures. **Results:** The slopes observed in the CR were significantly lower than those in the R30 and R60 ($p < 0.05$). **Conclusions:** The results indicated that the recruitment of motor units was more effective when a single-joint exercise preceded the multi-joint exercise.

Article registered in the Australian New Zealand Clinical Trials Registry (ANZCTR) under the number ACTRN12609000413224.

Key words: resistance training; exercise order; electromyography.

Recebido: 17/02/2009 – **Revisado:** 20/05/2009 – **Aceito:** 30/06/2009

¹ Faculdade de Educação Física, Universidade de Brasília (FEF UnB), Brasília (DF), Brasil

² Departamento de Engenharia Eletrônica, Universidade de Brasília (UnB), Gama (DF), Brasil

Correspondência para: Valdinar de Araújo Rocha Júnior, QND 59 casa 34, Taguatinga (DF), CEP 72120-590, Brazil, email: valdinar@gmail.com

Introdução

A ordem de execução dos exercícios é fator de extrema relevância na prescrição do treinamento resistido¹⁻⁴. Encadear os movimentos de forma que a sequência de estímulos proporcione uma melhor resposta da musculatura trabalhada é o objetivo almejado por profissionais que empregam o exercício resistido para a melhoria do desempenho e para a reabilitação.

A realização de um exercício monoarticular imediatamente seguido por um exercício multiarticular, ambos para uma mesma musculatura, é uma prática comum no treinamento resistido^{2,4,6}. O pressuposto para a adoção dessa sequência é que, nos exercícios multiarticulares, os músculos pequenos fadigam mais rapidamente que os músculos de grande volume⁵. Dessa forma, o tríceps braquial, por exemplo, perderia sua capacidade contrátil antes que o exercício supino pudesse levar o músculo peitoral maior até seu limite máximo de trabalho⁷. Esse fato poderia comprometer os efeitos do exercício sobre os maiores grupamentos, pois exercitar a musculatura até a fadiga tem apresentado benefícios para o ganho de força e hipertrofia muscular⁸.

Os escassos estudos que avaliaram as implicações da sequência de exercícios monoarticular / multiarticular sugerem que esse tipo de encadeamento pode apresentar resultados inexpressivos e mesmo contraproducentes no que concerne ao recrutamento de unidades motoras^{2,5}. No entanto, as análises realizadas sobre esse encadeamento de exercícios parecem ter explorado apenas combinações nas quais são empregadas cargas elevadas tanto no exercício monoarticular quanto no multiarticular. Em contrações com baixa sobrecarga, não há o recrutamento de todas as unidades motoras disponíveis e, à medida que a fadiga se instaura, novas unidades motoras são recrutadas para compensar a falência das inicialmente solicitadas⁹⁻¹⁴. Dessa forma, é plausível raciocinar que a aplicação de intensidades moderadas no exercício monoarticular possa impor um recrutamento adicional de unidades motoras do músculo pré-fatigado durante o exercício multiarticular, sem, contudo, ativar mecanismos inibitórios que limitam a atividade muscular em esforços extenuantes. Embora estratégias como essas não tenham sido avaliadas em estudos anteriores, elas podem ser bastante proveitosas em situações de reabilitação e treinamento de indivíduos acometidos por enfermidades ou limitações que impossibilitem o emprego de sobrecarga elevada. Portanto, o objetivo do presente estudo foi verificar se a realização prévia de um exercício monoarticular de baixa intensidade para os extensores do joelho corresponde a um estímulo eficiente para aumentar o número de unidades motoras recrutadas no músculo vasto lateral durante a execução de um exercício multiarticular subsequente.

Materiais e métodos

Amostra

A amostra foi composta por nove voluntários saudáveis do sexo masculino, com idade média de $23,33 \pm 3,46$ anos, massa corporal média de $75,68 \pm 8,10$ kg, estatura média de $1,76 \pm 0,66$ m, índice de massa corporal médio de $24,47 \pm 2,19$ kg/m². Todos praticavam exercícios resistidos com uma frequência mínima de três vezes por semana há pelo menos um ano e não relataram interrupções superiores a seis semanas nos últimos 12 meses de treino. Antes da realização dos testes, os voluntários responderam ao Questionário de Prontidão para Atividade Física¹⁵ (Physical Activity Readiness Questionnaire–PAR-Q) da Sociedade Canadense de Fisiologia do Exercício. Caso o PAR-Q apontasse a necessidade de avaliação médica para a prática de atividade física, o voluntário era impedido de participar da pesquisa. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília – FS/UnB (parecer n.º 131/2007), e os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, no qual eram descritos os objetivos, os possíveis riscos e desconfortos e os métodos utilizados na pesquisa.

Verificação das cargas de trabalho

As cargas do protocolo experimental foram definidas com base no teste de uma repetição máxima (1-RM)¹⁶. O objetivo desse teste foi determinar a carga máxima suportada na execução de um único movimento correto dos exercícios *leg press 45°* (Vitality, Brasil) e cadeira extensora (Gervasport Fitness Equipment, Espanha). Como os equipamentos utilizados no experimento apresentavam limitações na sobrecarga disponível para determinação de 1-RM dos exercícios propostos, convencionou-se a execução unilateral dos testes no membro inferior relatado como dominante pelo voluntário.

No *leg press 45°*, os sujeitos iniciavam o exercício com o joelho em completa extensão e executavam uma contração excêntrica de quadríceps até que a articulação atingisse 80° de flexão. Esse ângulo era delimitado por uma fita elástica sustentada sobre o participante (Figura 1-A). O voluntário tinha o objetivo de flexionar o joelho até que sua coxa tocasse a fita e, em seguida, retornar à posição inicial. Para a calibração da amplitude de movimento no *leg press 45°*, foi utilizado um gonímetro (Modelo T.K.K-1216, Grécia).

Na cadeira extensora, o sujeito começava o movimento com o joelho flexionado a 80°, ângulo delimitado pela própria regulagem do aparelho, realizava uma extensão completa e retomava a angulação inicial.

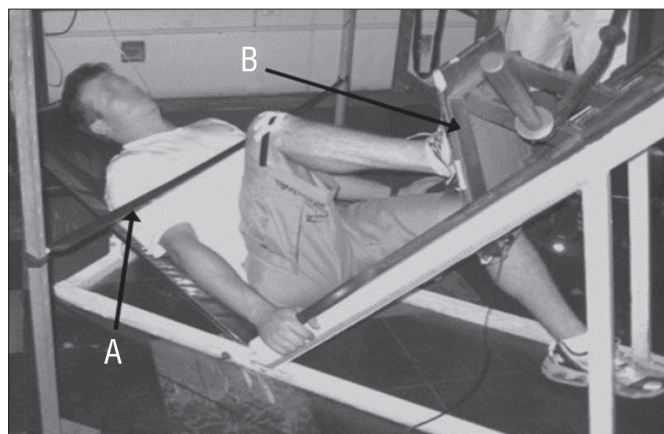


Figura 1. Fita elástica delimitando a amplitude de flexão do joelho em 80° durante a execução do exercício *leg press* 45° (A). Plataforma de pesos do equipamento *leg press* 45° sem a sobrecarga adicional de anilhas (B).

A ordem de execução dos testes de 1-RM foi alternada entre os participantes para garantir a aleatoriedade na realização do experimento. Os testes começavam sempre com a realização de um aquecimento de cinco minutos em bicicleta ergométrica (Ergo-Fit - Ergo Cycle, Alemanha). A intensidade desse aquecimento era definida pelo próprio participante, que tinha a orientação de manter uma cadência confortável. Finalizado o aquecimento na bicicleta ergométrica, os sujeitos complementavam a preparação para o teste com uma série de oito repetições no primeiro exercício sorteado. Kraemer e Fry¹⁶ sugerem que esse aquecimento específico seja realizado com cargas de 40% a 50% da carga 1-RM prevista pelo voluntário. No entanto, como os participantes não tinham referências sobre o peso suportado para a execução unilateral dos exercícios propostos, optou-se, com base em testes preliminares, pela intensidade de 10% do peso relatado pelo indivíduo para a execução bilateral dos exercícios em sua rotina de treino.

Concluídos os procedimentos de aquecimento, os voluntários repousavam por um minuto, e a carga do equipamento era incrementada para a determinação de 1-RM¹⁶. Caso o sujeito não conseguisse completar uma repetição correta ou suportasse a execução de duas repetições na primeira tentativa, a sobrecarga era ajustada, e uma nova oportunidade era concedida após cinco minutos de descanso¹⁶. Em um único dia, eram permitidas até cinco tentativas para cada exercício. Após um intervalo de 20 minutos, o sujeito realizava uma nova série de preparação para a realização do teste no segundo aparelho. Assim como no primeiro exercício, essa série consistia na execução de oito repetições com a intensidade de 10% da carga bilateral reportada pelo voluntário. Novamente, o sujeito repousava por um minuto e a carga era incrementada para a mensuração de 1-RM.

Um treinamento para o controle da velocidade de execução foi realizado após os testes de carga. Nesse treino, os voluntários realizavam uma série de dez repetições em cada aparelho na cadência de dois segundos para fase concêntrica e dois segundos para fase excêntrica do movimento. Um metrônomo digital (Seiko - D20-440, China), com ritmo de 30 batimentos por minuto, ditava a velocidade de execução. Os sujeitos eram orientados a sincronizar o sinal sonoro do metrônomo com o início e fim de cada fase. A sobrecarga utilizada nesse treinamento foi equivalente a 60% do peso obtido no teste de carga¹⁷, e o intervalo entre os aparelhos variou entre seis e oito minutos¹⁷, de acordo com a necessidade do participante para uma execução satisfatória da série.

Uma segunda bateria de testes de força (teste e reteste) foi realizada para a confirmação das cargas estabelecidas no primeiro dia. Para tanto, foi respeitado um período mínimo de 48 horas e máximo de 72 horas entre as sessões. Nessa segunda ocasião, a ordem de execução dos exercícios foi invertida. Caso fossem observadas discrepâncias nos resultados obtidos nos dois dias de testes de carga, o maior valor era considerado para a realização do experimento.

Procedimento experimental

O procedimento experimental consistiu na realização de duas rotinas de exercícios nas quais a cadeira extensora e o *leg press* 45° foram combinados em diferentes intensidades. A rotina de pré-ativação com exercício monoarticular de baixa intensidade (R30) era composta de uma série de 15 repetições de cadeira extensora, com carga de 30% de 1-RM, imediatamente seguida de uma série de 15 repetições de *leg press* 45°, com 60% de 1-RM. A rotina de pré-ativação com exercício monoarticular de alta intensidade (R60) foi semelhante à rotina anterior, porém as 15 repetições da cadeira extensora foram realizadas com carga de 60% de 1-RM. Uma terceira rotina, denominada rotina controle (RC), também foi realizada e teve como objetivo registrar a atividade muscular no exercício multiarticular sem a pré-ativação do exercício monoarticular. Dessa forma, a rotina RC foi constituída apenas de uma série simples de 15 repetições do *leg press* 45° com 60% de 1-RM.

A intensidade de 60% de 1-RM foi empregada no procedimento experimental por ser o mínimo sugerido na literatura para ganhos de força e hipertrofia^{17,17}. Além disso, essa sobrecarga moderada permitiu aos sujeitos um controle mais apurado da técnica de movimento e velocidade de execução. Na rotina R30, o valor de 30% de 1-RM para o exercício monoarticular foi adotado por estar associado a uma baixa produção de metabólitos¹⁸, o que, em tese, acarretaria menor atuação dos mecanismos de inibição da atividade muscular no exercício multiarticular subsequente. O número de 15

repetições foi determinado com base em testes preliminares nos quais ficou constatado que esse volume forneceria uma quantidade satisfatória de dados para o cálculo das regressões lineares utilizado no processamento de dados.

As rotinas do procedimento experimental (R30, R60 e RC) foram realizadas por todos os sujeitos, em dias diferentes e com um intervalo de 48 a 96 horas entre elas. Assim, como nos testes de carga, os exercícios foram realizados no membro inferior dominante, e a ordem de execução das rotinas foi alternada entre os participantes para garantir a aleatoriedade na realização do experimento. A amplitude articular delimitada e a execução dos exercícios foram os mesmos descritos para os testes de 1-RM, e a cadência anteriormente estabelecida também foi respeitada. Durante o experimento, dois avaliadores com experiência em treinamento resistido fiscalizavam a obediência a esses critérios. A violação de algum aspecto estabelecido no protocolo de teste determinava a interrupção do experimento. Nas rotinas R30 e R60, o tempo de transição entre a cadeira extensora e o *leg press 45°* não excedeu 40 segundos para nenhum dos sujeitos analisados.

Eletromiografia

Os sinais eletromiográficos foram registrados no músculo vasto lateral durante a execução do exercício *leg press 45°* das rotinas R30, R60 e RC. A instrumentação utilizada na coleta dos sinais mioelétricos foi o eletromiógrafo EMG-16 (Ot Bioelettronica, Itália). Esse equipamento possui ganho de até 50000 V/V, nível de ruído de 1 μ V (com referência à entrada), filtragem analógica passa-faixa de 10 Hz a 500 Hz e razão de rejeição do modo comum de 96 dB. A frequência de amostragem adotada foi de 2048 Hz, e o ganho de tensão foi regulado para 2000 V/V. O eletromiógrafo foi conectado a um microcomputador portátil (Toshiba Satellite - A105-S4114, China) por meio de uma placa conversora analógica-digital PCMCIA de 12 bits (National Instruments - DAQ6045E, EUA).

Após a remoção de pelos e assepsia da pele com um algodão embebido em álcool, um arranjo linear de 16 eletrodos rígidos (LISiN - Ot Bioelettronica, Itália) com barras de prata clorada de 5 x 1 mm e distância intereletródica de 5 mm foi posicionado sobre o vasto lateral dos participantes para mapear o ventre muscular e localizar as regiões de boa propagação dos potenciais de ação, conforme procedimento descrito em estudos anteriores¹⁹⁻²¹. Em protocolos experimentais abordando contrações dinâmicas, as mudanças na posição articular correspondem a um elemento crítico durante o mapeamento, pois as zonas de inervação e regiões tendíneas deslocam-se sob a pele e geram sinais de baixa qualidade²². Desse modo, as regiões de boa condutividade foram localizadas em contrações isométricas de dez segundos, durante as quais os sujeitos permaneciam com o joelho flexionado num ângulo de 100°. Essa angulação

foi aferida com um goniômetro (T.K.K - 1216, Grécia), e os voluntários sustentavam uma carga de 11,56 kg, referente à massa da plataforma de pesos do equipamento *leg press 45°* sem a sobrecarga adicional de anilhas (Figura 1 - B). O mapeamento muscular foi realizado apenas no primeiro dia de teste, e uma marca na coxa do voluntário foi delineada com uma caneta de alta fixação (Faber Castel - Pilot 2.0 mm Az, Brasil), garantindo o mesmo posicionamento nos testes subsequentes. Na área demarcada sobre o músculo vasto lateral, foi fixado um arranjo linear flexível de oito eletrodos (LISiN - Ot Bioelettronica, Itália) para o registro dos sinais durante as contrações dinâmicas. Esse arranjo possui as mesmas dimensões que o eletrodo rígido, e sua aderência na pele foi garantida por uma espuma biadesiva que contém orifícios para a inserção de gel condutor, o que o torna menos sensível ao artefato de movimento²³. Trinta micro-litros de gel eram depositados em cada fenda por uma micropipeta (High Tech Lab - HTL Monocanal, Brasil).

Processamento dos sinais

Dos sete sinais eletromiográficos diferenciais obtidos em cada série de *leg press 45°* (R30, R60 e RC) foi selecionado um canal diferencial para o cálculo do valor *root mean square* (RMS). O mesmo canal diferencial foi analisado nas três situações experimentais a fim de proporcionar maior confiabilidade na análise dos sinais.

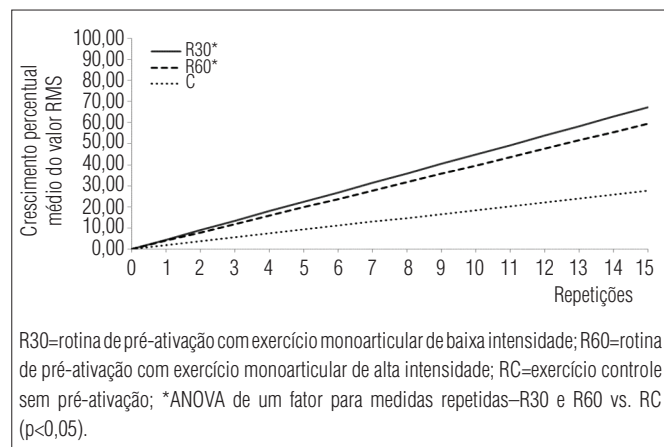
Um sincronizador (*trigger*), desenvolvido no Laboratório de Processamento de Sinais Biológicos, foi adaptado ao *leg press 45°* para sinalizar, durante as contrações dinâmicas, o instante em que o joelho atingia 100° de flexão, ângulo articular em que foi encontrado sinal eletromiográfico de maior amplitude e melhor qualidade no músculo vasto lateral. Esse sincronizador gerava um pulso elétrico de aproximadamente 1,5 V de amplitude, que era digitalizado simultaneamente com os sinais captados pelos eletrodos. Janelas retangulares de 512 amostras (250 ms) foram recortadas em torno dos pulsos gerados pelo sincronizador que indicavam a fase concêntrica de cada repetição do *leg press 45°*. Como o início e o final das séries foram os períodos mais susceptíveis a erros de execução do exercício e possíveis violações da cadência do movimento, as janelas do primeiro e último movimento concêntrico de todas as séries foram descartadas das análises. Os recortes e todos os demais processamentos dos sinais foram feitos por rotinas específicas desenvolvidas no aplicativo computacional Matlab 6.5 (Mathworks - Natick, EUA).

A partir do valor RMS estimado nas janelas de cada repetição, foram calculadas regressões lineares para verificar o comportamento da amplitude do sinal eletromiográfico ao longo da execução do *leg press 45°* em R30, R60 e RC. As inclinações das retas de regressão (coeficiente angular da equação calculada) foram normalizadas por seus valores iniciais (coeficiente linear

Tabela 1. Comparação entre o crescimento percentual médio do valor RMS durante as repetições de *leg press* 45°.

Inclinações normalizadas* das retas de regressão dos valores RMS (%)	
R30	4,49±3,44†
R60	3,96±2,60†
RC	1,84±1,31

* Coeficientes angulares normalizados pelos coeficientes lineares das equações de regressão; R30=rotina de pré-ativação com exercício monoarticular de baixa intensidade; R60=rotina de pré-ativação com exercício monoarticular de alta intensidade; RC=exercício controle sem pré-ativação; †ANOVA de um fator para medidas repetidas-R30 e R60 vs. RC ($p<0,05$).

**Figura 2.** Retas de regressão dos valores RMS no exercício *leg press* 45°, representando o crescimento percentual médio da amplitude do sinal eletromiográfico durante as rotinas (R30, R60 e RC) – retas normalizadas pelos coeficientes lineares das equações de regressão.

da equação), isto é, foram divididas pelos valores das retas no instante em que elas interceptam o eixo das ordenadas²⁴. Após a normalização, as inclinações foram expressas em termos percentuais para representar a taxa de crescimento do valor RMS durante as rotinas avaliadas.

Análise estatística

O coeficiente de correlação intraclassa (CCI) foi utilizado para verificar a reprodutibilidade dos testes de 1-RM realizados no *leg press* 45° e na cadeira extensora. Como nem todos os sujeitos conseguiram completar as 15 repetições inicialmente propostas para os exercícios avaliados, uma ANOVA de um fator para medidas repetidas e o teste *post hoc Least Significant Difference (LSD)* foram empregados para verificar se houve diferenças no número de repetições executadas no *leg press* 45° em R30, R60 e RC. A comparação entre número de repetições da cadeira extensora de R30 e R60 foi feita por meio do teste *t-Student* pareado.

As inclinações normalizadas das retas de regressão de R30, R60 e RC também foram comparadas por meio da ANOVA de

um fator para medidas repetidas. Em caso de diferenças significativas, o teste *post hoc Least Significant Difference (LSD)* foi novamente aplicado para indicar os valores divergentes. Antes da utilização do teste *t-Student* pareado e da ANOVA de um fator para medidas repetidas, a normalidade dos dados foi verificada por meio do teste Kolmogorov-Smirnov. Em todas as análises, foi adotado um nível de significância de $p<0,05$. O tratamento estatístico foi realizado pelo software *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS 13.0 - LEAD Technologies, EUA)*.

Resultados

As cargas de 1-RM mensuradas no primeiro dia de teste no *leg press* 45° ($120,67\pm 29,80$ kg) não apresentaram diferença significativa ($r=0,96$) em relação às cargas obtidas no reteste ($120,00\pm 27,85$ kg). Da mesma forma, não foram encontradas diferenças significativas ($r=0,90$) entre o teste e o reteste na cadeira extensora ($90,00\pm 10,97$ kg vs. $87,31\pm 10,50$ kg).

Após as extensões de joelho com alta intensidade na rotina R60, a quantidade de repetições executadas no *leg press* 45° ($12,33\pm 1,94$) foi inferior à registrada na rotina RC ($14,89\pm 0,33$; $p=0,01$), porém não houve diferença significativa em relação ao número de repetições da rotina R30 ($13,89\pm 1,45$; $p=0,09$). A comparação entre o número de repetições do exercício *leg press* 45° da rotina R30 e RC também não apresentou diferença significativa ($p=0,07$). No exercício cadeira extensora, os voluntários suportaram um maior número de extensões de joelho na rotina R30 ($14,89\pm 0,33$) que na rotina R60 ($12,89\pm 1,83$; $p=0,01$).

As inclinações das retas de regressão dos valores RMS estão apresentadas em termos percentuais na Tabela 1. Os valores das inclinações normalizadas de RC foram inferiores aos de R30 ($p=0,049$) e aos de R60 ($p=0,04$), o que sugere um recrutamento de unidades motoras mais efetivo nas rotinas cujo exercício monoarticular precedeu o multiarticular. Não foram observadas diferenças significativas entre as inclinações registradas nas rotinas R30 e R60.

A Figura 2 ilustra o crescimento percentual médio normalizado do valor RMS registrado nas rotinas estudadas. Houve crescimento percentual médio de 67,36% e 59,46% nos valores RMS registrados durante as rotinas R30 e R60, respectivamente. O crescimento percentual médio observado ao longo da rotina RC foi de apenas 27,61%.

Discussão

Os valores positivos observados nas inclinações das retas de regressão do RMS indicam um aumento progressivo no número de unidades motoras recrutadas no músculo vasto

lateral em todas as séries de *leg press 45°* analisadas. Esse padrão crescente na intensidade do sinal eletromiográfico diverge dos relatos de Augustsson et al.⁵, que avaliaram a resposta da musculatura dos membros inferiores em uma combinação de exercícios semelhante à implementada na presente investigação. Em decorrência da pré-fadiga do quadríceps pela realização das extensões de joelho, Augustsson et al.⁵ reportaram uma diminuição na amplitude do sinal eletromiográfico do reto femoral e do vasto lateral durante a execução do *leg press*. Apesar de, nesse estudo, o glúteo máximo não ter apresentado aumento na amplitude do sinal eletromiográfico, os autores especulam que outros músculos como os adutores e gastrocnêmios, cujas atividades não foram monitoradas, possam ter compensado a queda de desempenho da musculatura anterior da coxa.

Recentemente, nosso grupo investigou a influência de uma série de exercício monoarticular antes de uma série de exercício multiarticular de membros superiores². Nesse estudo, 13 sujeitos foram submetidos a uma série de supino reto (multiarticular) com e sem prévia realização do exercício crucifixo em máquina (monoarticular). Diferentemente dos resultados obtidos na presente investigação, não foi registrada maior atividade elétrica do peitoral maior e do deltoide anterior, músculos exauridos com a realização do movimento monoarticular. Em contrapartida, o tríceps braquial, que não foi solicitado no exercício monoarticular, apresentou um aumento da amplitude do sinal eletromiográfico no exercício supino reto após a fadiga dos demais motores primários.

A divergência entre os resultados da presente investigação e os observados nos estudos anteriores pode ser atribuída à intensidade aplicada nos exercícios. As séries de 10-RM, avaliadas nos experimentos de Augustsson et al.⁵ e Gentil et al.², representam intensidades significativamente superiores a séries executadas com 30% e 60% de 1-RM²⁵. Essa sobrecarga elevada suscita maior produção de metabólitos^{18,26} e, conseqüentemente, provoca maior ativação de receptores musculares sensíveis a perturbações bioquímicas, como os aferentes dos grupos III e IV, os fusos musculares e os órgãos tendinosos de Golgi²⁷⁻²⁹. Visto que essas estruturas geram um *feedback* sensorial que reduz a capacidade de recrutamento de unidades motoras³⁰, é possível que a amplitude do sinal eletromiográfico registrada nos exercícios multiarticulares analisados por Augustsson et al.⁵ e Gentil et al.² tenha apresentado valores reduzidos em função de mecanismos inibitórios desencadeados ainda nos exercícios monoarticulares. Diferentemente desses resultados, as sobrecargas moderadas empregadas no exercício monoarticular deste experimento parece não prejudicar o recrutamento de unidades motoras no exercício multiarticular. Ainda que essa intensidade moderada possa não ter demandado maior participação de

músculos acessórios, como observado no experimento de Gentil et al.², a avaliação de apenas um dos extensores do joelho inviabiliza conclusões a esse respeito.

A definição inicial de 15 repetições para todas as séries de cadeira extensora e *leg press 45°* teve o objetivo de tornar robusta a análise dos sinais e o tratamento estatístico. Nas investigações anteriores sobre a ordem de exercícios^{2,3,5}, foi observada uma redução expressiva na quantidade de repetições executadas no exercício multiarticular, o que impôs aos pesquisadores a comparação de um número diferente de amostras coletadas nas situações experimentais propostas. Apesar de alguns sujeitos não terem suportado as 15 repetições previstas no protocolo experimental, estatisticamente a diferença em média menor que três repetições não invalida o cálculo da regressão linear aplicado, tampouco o procedimento de normalização utilizado.

As maiores taxas de variação na amplitude do valor RMS de R30 e R60 em relação às de RC indicam que uma repetição de *leg press 45°*, após a realização da cadeira extensora nas intensidades avaliadas neste estudo, passa a recrutar mais fibras musculares que uma repetição desse mesmo exercício em uma série simples. Embora haja uma tendência de maior recrutamento com a aplicação de uma sobrecarga de menor intensidade, a inexistência de diferença entre R30 e R60 indicou igual eficiência do exercício monoarticular realizado com 30 e 60% de 1-RM para posterior ativação do músculo vasto lateral no exercício multiarticular.

Kukulka e Clamann³¹ e Masakado³² relatam que pequenos músculos são capazes de recrutar a grande maioria de suas unidades motoras em intensidades de 50% da máxima contração voluntária isométrica e, superado esse limiar, ocorre a modulação da produção de força pela frequência de disparo dos potenciais de ação. No entanto, em grandes grupos musculares, o principal dispositivo para a variação da tensão é o recrutamento de unidades motoras. Somente com cargas superiores a 90% da máxima contração voluntária isométrica é observado o recrutamento da maior parte das fibras de grandes músculos como os dos membros inferiores³². Dessa forma, é possível que uma quantidade considerável de fibras do músculo vasto lateral, por exemplo, não sofra estímulo algum durante a execução de um exercício como o *leg press 45°*, ainda que, nesse movimento, sejam empregadas cargas relativamente altas. Como somente as fibras que são recrutadas no treinamento estão sujeitas às adaptações fisiológicas⁷, a execução prévia de exercícios monoarticulares com cargas de 30% e 60% de 1-RM pode tornar os exercícios multiarticulares mais proveitosos para ganhos de força e hipertrofia muscular, pois uma maior quantidade de unidades motoras passa a ser estimulada com a implementação dessa estratégia.

Em situações de reabilitação e treinamento para grupos que demandem cuidados especiais, a execução prévia de exercícios monoarticulares com 30% de 1-RM pode ser mais recomendada. Essa intensidade mostrou-se tão eficiente quanto a carga de 60% de 1-RM para aumentar a quantidade de unidades motoras recrutadas no movimento multiarticular e proporciona melhor controle na técnica de execução dos exercícios, o que acaba por reduzir a probabilidade de lesão e sobre-treinamento em grupamentos musculares debilitados³³.

Conclusão

A realização do exercício cadeira extensora com sobrecargas de 30% e 60% de 1-RM provocou um aumento na amplitude do sinal eletromiográfico registrada no exercício *leg press 45°* executado em sequência. Esse resultado aponta uma efetividade da pré-ativação realizada por meio de exercício monoarticular de intensidade leve a moderada para o aumento do número de unidades motoras recrutadas em um exercício multiarticular subsequente.

Referências bibliográficas

- Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, et al. American college of sports medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(2):364-80.
- Gentil P, Oliveira E, de Araújo Júnior V, do Carmo J, Bottaro M. Effects of exercise order on upper-body muscle activation and exercise performance. *J Strength Cond Res.* 2007;21(4):1082-6.
- Sforzo GA, Touey PR. Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *J Strength Cond Res.* 1996;10(1):20-4.
- Tan B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J Strength Cond Res.* 1999;13(3):289-304.
- Augustsson J, Thomeé R, Hörnstedt P, Lindblom J, Karlsson J, Grimby G. Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *J Strength Cond Res.* 2003;17(2):411-6.
- Salles BF, Oliveira N, Ribeiro FM, Simão R, Novaes JS. Comparação do método pré-exaustão e da ordem inversa em exercícios para membros inferiores. *Rev Educ Fis.* 2008;19(1):85-92.
- Fleck SJ, Kraemer WJ. Designing resistance training programs. 3ª ed. Champaign: Human Kinetics; 2004.
- Rooney KJ, Herbert RD, Balnave RJ. Fatigue contributes to the strength training stimulus. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26(9):1160-4.
- Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Excitability and inhibibility of motoneurons of different sizes. *J Neurophysiol.* 1965;28(3):599-620.
- Van der Hoeven JH, Lange F. Supernormal muscle fiber conduction velocity during intermittent isometric exercise in human muscle. *J Appl Physiol.* 1994;77(2):802-6.
- Moritani T, Muro M, Nagata A. Intramuscular and surface electromyogram changes during muscle fatigue. *J Appl Physiol.* 1986;60(4):1179-85.
- Houtman CJ, Heerschap A, Zwarts MJ, Stegeman DF. pH heterogeneity in tibial anterior muscle during isometric activity studied by (31)P-NMR spectroscopy. *J Appl Physiol.* 2001;91(1):191-200.
- Houtman CJ, Stegeman DF, Van Dijk JP, Zwarts MJ. Changes in muscle fiber conduction velocity indicate recruitment of distinct motor unit populations. *J Appl Physiol.* 2003;95(3):1045-54.
- Bilodeau M, Schindler-Ivens S, Williams DM, Chandran R, Sharma SS. EMG frequency content changes with increasing force and during fatigue in the quadriceps femoris muscle of men and women. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(1):83-92.
- American College of Sports Medicine. Manual do ACSM para: teste de esforço e prescrição de exercício. 5ª ed. Rio de Janeiro: Revinter; 2000.
- Kraemer WJ, Fry AC. Strength testing: development and evaluation of methodology. Champaign: Human Kinetics; 1995.
- McDonagh MJ, Davies CT. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1984;52(2):139-55.
- Lagally KM, Robertson RJ, Gallagher KI, Goss FL, Jakicic JM, Lephart SM, et al. Perceived exertion, electromyography, and blood lactate during acute bouts of resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(3):552-9.
- Farina D, Pozzo M, Merlo E, Bottin A, Merletti R. Assessment of average muscle fiber conduction velocity from surface EMG signals during fatiguing dynamic contractions. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2004;51(8):1383-93.
- Veneziano WH. Estudo do comportamento do sinal eletromiográfico de superfície em atividades subaquáticas (tese). Brasília (DF): Universidade de Brasília; 2006.

21. Saitou K, Masuda T, Michikami D, Kojima R, Okada M. Innervation zones of the upper and lower limb muscles estimated by using multichannel surface EMG. *J Hum Ergol (Tokyo)*. 2000;29(1-2):35-52.
22. Martin S, Maclsaac D. Innervation zone shift with changes in joint angle in the brachial biceps. *J Electromyogr Kinesiol*. 2005;16(2):144-8.
23. Clancy EA, Morin EL, Merletti R. Sampling, noise-reduction and amplitude estimation issues in surface electromyography. *J Electromyogr Kinesiol*. 2002;12(1):1-16.
24. Falla D, Farina D. Muscle fiber conduction velocity of the upper trapezius muscle during dynamic contraction of the upper limb in patients with chronic neck pain. *Pain*. 2005;116(1-2):138-45.
25. Hoeger WWK, Hopkins DR, Barette SL, Hale DF. Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition: a comparison between untrained and trained males and females. *The Journal of Applied Sport Science Research (JASSR)*. 1990;4(2):47-54.
26. Gentil P, Oliveira E, Bottaro M. Time under tension and blood lactate response during four different resistance training methods. *J Physiol Anthropol*. 2006;25(5):339-44.
27. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*. 2001;81(4):1725-89.
28. Hunter SK, Duchateau J, Enoka RM. Muscle fatigue and the mechanisms of task failure. *Exerc Sport Sci Rev*. 2004;32(2):44-9.
29. Gandevia SC. Neural control in human muscle fatigue: changes in muscle afferents, motoneurons and motor cortical drive. *Acta Physiol Scand*. 1998;162(3):275-83.
30. Ascensão A, Magalhães J, Oliveira J, Duarte J, Soares J. Fisiologia da fadiga muscular. Delimitação conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica. *Rev Port Cien Desporto*. 2003;3(1):108-23.
31. Kukulka CG, Clamann HP. Comparison of the recruitment and discharge properties of motor units in human brachial biceps and adductor pollicis during isometric contractions. *Brain Res*. 1981;219(1):45-55.
32. Masakado Y. Motor unit firing behavior in man. *Keio J Med*. 1994;43(3):137-42.
33. Stone M, Chandeler J, Conley MS, Kraemer JB, Stone ME. Training to muscular failure: is it necessary? *J Strength Cond J*. 1996;18(3):44-8.