

Efeito da facilitação neuromuscular proprioceptiva e pré-ativação dinâmica dos antagonistas sobre a força isométrica máxima e sinal eletromiográfico

Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation and antagonist dynamic pre-activation on maximal isometric force and electromyographic signal

PAZ GA, MAIA MF, SANTIAGO FLS, LIMA VP, MIRANDA HL. Efeito da facilitação neuromuscular proprioceptiva e pré-ativação dinâmica dos antagonistas sobre a força isométrica máxima e sinal eletromiográfico. **R. bras. Ci. e Mov** 2013; 21(2): 71-81.

RESUMO: Uma das principais adaptações neurais relacionadas ao treinamento de força é a redução progressiva na coativação dos músculos antagonistas e aumento da ativação dos agonistas. Recentemente, evidências sugerem que a pré-ativação dos antagonistas pode melhorar o desempenho dos agonistas, entretanto, não há evidências consistentes que suportem tal hipótese. O objetivo do estudo foi verificar as respostas eletromiográficas (EMG) do latíssimo do dorso (LD), porção espinal do deltoide (DE), porção clavicular do peitoral maior (PC), porção clavicular do deltoide (DC) e força isométrica máxima (Fmáx) durante o exercício de remada aberta (RA) em isometria após facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNPA) e pré-ativação dinâmica dos antagonistas no teste de flexão de braços (PADA). Participaram do estudo 10 homens ($23,1 \pm 3$ anos de idade, $77,7 \pm 6,5$ kg de massa corporal, $167,5 \pm 4,8$ cm de estatura e $25,6 \pm 2,3$ kg/m² de índice de massa corporal) recreacionalmente treinados. A amplitude do sinal EMG foi normalizada por ações isométricas voluntárias máximas (AIVMs). Na análise estatística, foi aplicada a ANOVA *two-way* e *post hoc* de Bonferroni para realizar as devidas comparações ($p < 0,05$). Não foram observadas diferenças significativas na Fmáx após os protocolos FNPA e PADA comparados ao exercício de RA sem estímulo prévio (RSEP). Em relação à amplitude EMG dos músculos LD, DE (agonistas), PC e DC (antagonistas), não foram observadas diferenças significativas entre os protocolos RSEP, FNPA e PADA. Esses resultados sugerem que parece não haver benefícios adicionais na aplicação da técnica de FNP *contract-relax* e pré-ativação nos antagonistas sobre o sinal EMG e Fmáx dos agonistas baseado na hipótese de inibição neurológica dos antagonistas.

Palavras-chave: Eletromiografia; Biodinâmica; Exercício Isométrico; Coativação dos Antagonistas; Flexibilidade.

ABSTRACT: One of the main related neural adaptations to strength training is the progressive reduction in the antagonist coactivation and increased in agonist activation. Recently, evidence suggests that antagonist pre-activation can improve the agonist performance, however, there is no consistent evidence to support this hypothesis. The purpose of this study was to investigate electromyographic responses (EMG) of the latissimus dorsi (LD), spinal portion of deltoid (DE), clavicular portion of pectoralis major (PC), clavicular portion of deltoid (DC) and maximal isometric force (Fmax) during the isometric exercise of wide grip seated row (SR) after proprioceptive neuromuscular facilitation (FNPA) and antagonist dynamics pre-activation in the push up test (PADA). The study included 10 men (23.1 ± 3 years of age, 77.7 ± 6.5 kg body weight, 167.5 ± 4.8 cm in height and 25.6 ± 2.3 kg/m² index body weight) recreationally trained. The EMG amplitude was normalized by maximum voluntary isometric actions (MVIAs). Statistical analysis was applied the two-way ANOVA and post hoc Bonferroni to perform the comparisons ($p < 0.05$). There were no significant differences in Fmax after the protocols FNPA and PADA compared the performance of SR without previous stimulus (RSEP). Regarding the EMG amplitude LD, DE (agonists), PC and DC (antagonists), there were no significant differences between the protocols RSEP, FNPA and PADA. These results suggest that there is no additional benefits in applying the technique of PNF *contract-relax* and pre-activation in the antagonists on the EMG signal and Fmax based on the hypothesis of neurological inhibition of antagonists.

Key Words: Electromyography; Biodynamic; Isometric Exercise; Coactivation of the Antagonists; Flexibility.

Gabriel A. Paz¹
Marianna de F. Maia²
Felipe L. dos S. Santiago²
Vicente P. Lima²
Humberto L. Miranda¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro

²Universidade Castelo Branco

Enviado em: 17/07/2012

Aceito em: 10/06/2013

Contato: Gabriel Andrade Paz - gabriel.andrade.paz@gmail.com

Introdução

A geração de força muscular é resultado da interação de diversos mecanismos morfológicos e neurais, entre eles destacam-se, a relação de comprimento-tensão do sarcômero, carga-velocidade, força-tempo e a arquitetura musculoesquelética¹. Os ganhos de força muscular ocorrem principalmente devido às adaptações neuromusculares que ocorrem ao longo do período de um programa de treinamento de força².

As adaptações neurais são caracterizadas essencialmente pelo aumento da coordenação inter e intramúsculos sinérgicas, incremento no recrutamento de unidades motoras (UM), altas frequências de ativação de UM e redução na coativação dos antagonistas³. A coativação dos músculos antagonistas tem como principal função aumentar a estabilidade articular e coordenação do movimento, por outro lado, a coativação inibe de maneira recíproca a ativação muscular e produção de força dos músculos agonistas^{4,5}.

Robbins *et al.*⁶ investigaram o efeito de ações recíprocas para músculos agonistas e antagonistas versus o modelo tradicional de treinamento, e observaram redução significativa no tempo total gasto durante a sessão de treinamento, e desempenho muscular semelhante entre os protocolos experimentais⁷. Adicionalmente, alguns autores^{7,8,9} sugerem que a pré-ativação dos antagonistas pode reduzir a coativação e promover ganhos de força dos agonistas. Recentemente, Sandberg *et al.*¹¹ aplicaram alongamento estático nos antagonistas (flexores do joelho e dorsiflexores do tornozelo) e observaram melhora significativa no torque muscular e salto vertical. Por outro lado, ainda são escassas evidências associadas aos mecanismos responsáveis pela redução da coativação, considerando que em estudos prévios não foram utilizadas técnicas como, a eletromiografia, para avaliar respostas neurais decorrente da aplicação dos protocolos ações recíprocas entre agonista/antagonistas^{4,6,10}.

Há de se considerar que diversos estudos investigaram os efeitos do alongamento muscular aplicado nos agonistas sobre o desempenho de força muscular dos agonistas^{3,12,13}, todavia, ainda não estão

claros na literatura os efeitos potenciais da aplicação do alongamento muscular e pré-ativação dinâmica dos antagonistas sobre o desempenho dos agonistas^{10,11,14}. Os estudos prévios que investigaram os efeitos da pré-ativação dos antagonistas apresentaram diversas limitações metodológicas, ao comparar diferentes manifestações de força, velocidade de movimento e sobrecarga de treinamento (intensidade)^{4,5,10,11,12,15}. Adicionalmente, nos estudos supracitados foram realizadas análises eletromiográficas em ações dinâmicas, que limitam a identificação de alterações no recrutamento de unidades motoras e frequência de ativação devido a alterações no comprimento e geometria muscular¹.

Desta forma, evidências científicas relacionadas aos efeitos potenciais da pré-ativação dos antagonistas sobre o desempenho e ativação muscular em ações isométricas, podem auxiliar profissionais de áreas relacionadas ao treinamento e reabilitação, na prescrição e avaliação do desempenho muscular mediante aplicação de protocolos envolvendo ações recíprocas de agonista/antagonista. Portanto, o objetivo do estudo é verificar o efeito da facilitação neuromuscular proprioceptiva e pré-ativação dinâmica dos antagonistas sobre a força isométrica máxima e ativação muscular dos agonistas e antagonistas no exercício de remada aberta com a pegada pronada.

Materiais e Métodos

Amostra

Participaram do estudo 10 voluntários do sexo masculino ($23,1 \pm 3$ anos de idade, $77,7 \pm 6,5$ kg de massa corporal, $167,5 \pm 4,8$ cm de estatura e $25,6 \pm 2,3$ kg/m² de índice de massa corporal). O tamanho amostral foi determinado de forma não probabilística, com a amostra selecionada por conveniência. Como critérios de inclusão foram adotados: sujeitos com no mínimo um ano de experiência em treinamento de força, com frequência de quatro sessões semanais, média de 30 minutos por sessão, utilizar intervalos de recuperação de 2 minutos entre as séries e exercícios, bem como, apresentar experiência prévia no exercício proposto realizado em isometria. Como critérios de exclusão foram adotados: indivíduos

com PAR-Q¹⁶ positivo, histórico de lesão de qualquer natureza nos últimos 6 meses, usuários de medicamentos sejam estes em prol da saúde ou em benefício do desempenho (recursos ergogênicos) e indivíduos que apresentaram qualquer tipo de limitação articular ou problemas osteomioarticulares que viessem a interferir na realização dos exercícios propostos. Durante o período de coleta a temperatura do laboratório foi mantida em 20°, os indivíduos foram orientados a comparecer nas sessões devidamente hidratados e manter sua dieta convencional, evitando consumo de álcool ou qualquer substância que viesse a interferir no desempenho muscular. Adicionalmente, não foi permitido que 24h antes das sessões fossem realizados exercícios para os grupos musculares avaliados.

Antes da coleta de dados, todos os indivíduos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, conforme a resolução do Conselho Nacional de Saúde (196/96)¹⁷. Desta forma, o projeto de pesquisa foi submetido e devidamente aprovado pela comissão de ética em pesquisa da Universidade Castelo Branco sob o protocolo: 2012/003.

Procedimentos

Familiarização

Na primeira sessão de coleta de dados, foram apresentados os objetivos e detalhes metodológicos do estudo, e posteriormente, foi realizado o processo de familiarização com no exercício de remada sentada com a pegada aberta (RA) em isometria na célula de carga (EMG System do Brasil, SP, Brasil). Para tal, os voluntários realizaram três repetições com duração de 10 segundos e intervalo de recuperação de dois minutos entre as repetições¹⁸. O exercício de RA foi realizado através de esforço isométrico máximo, ou seja, o indivíduo foi orientado a produzir o máximo de força possível durante o teste.

Para realização da RA adotou-se o seguinte posicionamento: sentado sobre colchonete com os joelhos em extensão e quadril em flexão a 90°, preservando as curvaturas fisiológicas da coluna vertebral. Os pés foram apoiados em suporte de madeira, de forma que durante a

realização do exercício a postura não fosse alterada. Na posição inicial, os ombros foram mantidos em flexão a 90° e cotovelos em completa extensão. Na posição final, quando se realizou a abdução horizontal do ombro com flexão do cotovelo, os ombros ficaram em abdução a 90° e cotovelo em flexão a 90° (Figura 1). No cabo de aço coberto por isolante elétrico conectado a célula de carga, a pegada foi realizada com a articulação radioulnar em pronação e flexão das articulações metacarpofalângicas. Durante todo o teste, um pesquisador experiente realizou encorajamento verbal e orientou a respeito da técnica adequada para realização do exercício.

Normalização do sinal EMG

Na segunda sessão, foram registrados os sinais EMG da porção clavicular do deltoide (DC), porção espinal do deltoide (DE), porção clavicular do músculo peitoral maior (PC) e do músculo latíssimo do dorso (LD). O posicionamento dos eletrodos foi orientado recomendações da SENIAM¹⁹. Um eletrodo de referência retangular (*Meditrace 100 – Kendall, Chicopee, MA*, 33 x 31 mm) posicionado sobre proeminência óssea da sétima vértebra cervical (C7) foi utilizado com a função de diminuir o efeito de interferências eletromagnéticas e outros ruídos durante a aquisição do sinal EMG. Antes da colocação dos eletrodos, foram realizadas tricotomia, abrasão e posterior assepsia da pele com algodão embebido em álcool, com o objetivo de diminuir a impedância da pele e alcançar a máxima fixação do eletrodo. O eletrodo de referência foi acoplado com gel condutor e tanto os eletrodos de registro quanto o de referência foram fixados por fita adesiva. Três ações isométricas voluntárias máximas (AIVM) foram realizadas para cada músculo em posicionamento de prova de função muscular²⁰. Cada AIVM teve duração de quatro segundos e com intervalos entre si de dois minutos²¹. O maior valor das três AIVM serviu como valor de referência para normalização dos valores de amplitude do sinal EMG.

Nas sessões de testes seguintes, foram adotados intervalos mínimos de 48 horas, no qual os voluntários foram orientados a não realizar exercícios para os

grupos musculares envolvidos nos testes. As sessões a seguir foram iniciadas de forma alternada, com cinco indivíduos iniciando por cada uma: pré-atividade dinâmica dos antagonistas e facilitação neuromuscular proprioceptiva.

Remada aberta sentada sem estímulo prévio (RSEP)

No protocolo RSEP, indivíduo entrou no laboratório e sem qualquer tipo de aquecimento realizou o exercício de RA em isometria na célula de carga durante 10 segundos. Simultaneamente ao teste, foram coletados os sinais EMG dos músculos DE, LD, PC e DC. O protocolo RSEP foi realizado uma hora após a coleta das AIVM para evitar possível fadiga muscular, que poderia influenciar a captação do sinal EMG durante os exercícios. Neste período, o voluntário permaneceu no laboratório, sentado em uma cadeira e os eletrodos não foram removidos para evitar que sua recolocação pudesse ser um fator de alteração na coleta EMG.

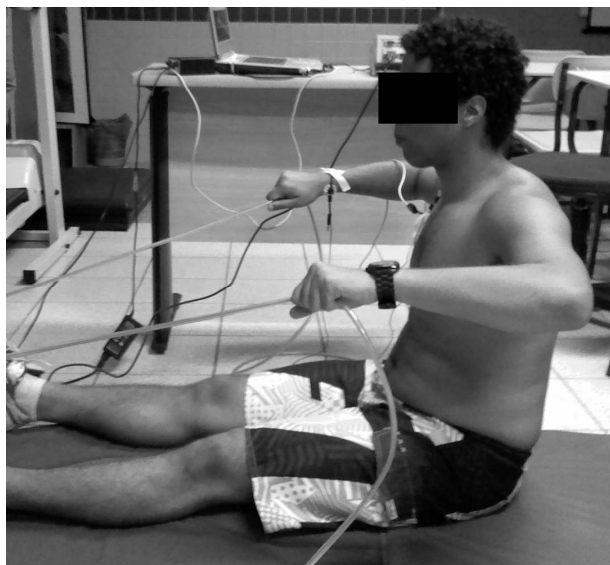


Figura 1. Posição de RSA na célula de carga

Pré-atividade dinâmica dos antagonistas (PADA)

No protocolo PADA, aplicou-se o teste de flexão de braços, que tem como objetivo mensurar a resistência muscular do membro superior e da cintura escapular²², para promover a pré-atividade dinâmica dos antagonistas no exercício de RA. A posição inicial foi em decúbito ventral no solo, na qual, o corpo deveria ser erguido pela

extensão completa do cotovelo, sendo que as mãos deveriam estar voltadas para frente, na linha dos ombros, e o olhar direcionado para o espaço entre elas. O tronco foi erguido até formar uma linha reta, não sendo permitido nenhum tipo alteração das curvaturas da coluna vertebral ou de balanço vertical do corpo. Durante o retorno a posição inicial, a flexão de cotovelos foi realizada até levar a caixa torácica próxima ao solo. O teste foi realizado com cadência fixa, sendo adotado um segundo por fase (concêntrica/excêntrica) controlada com auxílio de metrônomo configurado em 60bpm. O teste foi realizado com carga axial, no qual se registrou o máximo de repetições completadas até a exaustão, alteração na cadência ou erro na execução do movimento.

Imediatamente após o teste de PU, foi realizada a RA na célula de carga com a coleta simultânea do sinal EMG dos músculos DE e LD (agonistas), assim como, DC e PC (antagonistas), com a finalidade de verificar os efeitos da pré-atividade dinâmica dos antagonistas na Fmáx e no sinal EMG dos agonistas e antagonistas no movimento de abdução horizontal do ombro.

Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva nos antagonistas (FNPA)

Neste protocolo, aplicou-se à técnica de FNP conhecida como, *contract-relax*²³ nos músculos antagonistas no exercício de RA. Para tal, o avaliador realizou a abdução horizontal dos ombros até o limiar de desconforto do sujeito, em seguida, o indivíduo realizou uma resistência ativa ao movimento, contraindo os músculos adutores do ombro durante 6 segundos, seguida de uma fase de relaxamento de 4 segundos. O procedimento foi realizado quatro vezes, totalizando 40 segundos, e a cada ciclo o avaliador aumentou a amplitude de movimento até o limiar de dor¹³. Sem intervalo, o sujeito realizou o teste de Fmáx na RA, com coleta simultânea do sinal EMG dos músculos supracitados.

A sequência de realização dos exercícios foi aleatória e cada um deles foi repetido três vezes, com duração de 10 segundos cada repetição. O período de recuperação entre as séries foi de dois minutos foi dado

entre as repetições para prevenir o efeito da fadiga no sinal EMG²¹. Os exercícios foram realizados com esforço isométrico máximo, ou seja, foi solicitado que o voluntário realizasse a maior força isométrica possível e a mantivesse durante o tempo de coleta. O examinador esteve atento para evitar que os voluntários realizassem qualquer movimento compensatório e a instrução dos exercícios e o comando verbal na realização das AIVM foram padronizados e dados sempre pelo mesmo examinador. Os protocolos experimentais foram realizados em dias não-consecutivos com intervalo mínimo de 48h entre as sessões.

Instrumentos

Para realizar as medidas antropométricas de massa corporal, estatura e cálculo do índice de massa corporal (IMC) utilizou-se uma balança digital Techline BAL-150 tipo plataforma com capacidade para 150Kg e escala de 100g, uma trena antropométrica Sanny Medical de 2m e estadiômetro Seca Bodymeter 208. Para a captação dos sinais EMG foram utilizados eletrodos de superfície bipolares passivos de Ag/AgCl (*Meditrace 100 – Kendall, Chicopee, MA*) com área de captação de 1 cm e distância intereletrodos de 1 cm. O sinal foi captado em um eletromiógrafo com um módulo de aquisição de sinais biológicos de quatro canais (EMG System do Brasil, São José dos Campos, SP, Brasil). O contato entre os eletrodos e o eletromiógrafo realizou-se por meio de uma interface ativa banhada a ouro, cujos contatos para os eletrodos descartáveis foram conectados a um pré-amplificador diferencial bipolar de ganho 20 vezes e o eletromiógrafo contém um amplificador de ganho fator 50, totalizando em um ganho de 1.000 vezes para o sinal EMG e modo de rejeição comum de 100 dB. Neste módulo, os canais foram configurados com um filtro analógico de quarta ordem, tipo *Butterworth*, passa alta com frequência de corte em 20 Hz e passa baixa com frequência de corte em 450 Hz e, realizada por um filtro analógico do tipo *Butterworth* de dois polos. A frequência de amostragem foi de 2.000 Hz. O registro e processamento dos sinais EMG foram baseados nas recomendações e cuidados propostos pela Sociedade

Internacional de Eletrofisiologia e Cinesilogia²⁴. O sinal EMG foi coletado sempre no lado direito.

Força Isométrica

A monitoração da força aplicada pelo sujeito, durante o exercício isométrico, foi realizada através de uma célula de carga (resolução de 1 kgf) para ensaios de tensão de tração e compressão (EMG System do Brasil, São José dos Campos, SP, Brasil). Um canal no condicionador de sinais foi configurado para a aquisição simultânea do sinal proveniente da célula de carga. Neste canal foi habilitado um filtro analógico de quarta ordem, tipo *Butterworth*, passa baixa de 100Hz.

Tratamento dos sinais EMG

O sinal captado pelo sistema de EMG foi armazenado no *software* EMGLAB (EMG System do Brasil, São Paulo, Brasil), para posterior análise no ambiente Matlab 5.02c (MathworksTM, Natick, USA). O sinal EMG bruto foi retificado por onda completa e processado através do algoritmo de *root mean square*. A amplitude do sinal foi calculada em uma janela de 100ms centralizada no pico de atividade de cada AIVM e exercício realizado. O valor máximo da amplitude EMG durante a AIVM de cada músculo foi registrado e representado como 100%. A atividade muscular gravada durante os protocolos foi representada como percentual de AIVM²⁵.

Análise Estatística

Inicialmente realizou-se a estatística descritiva (média e desvio-padrão). A análise inferencial foi realizada através do teste Shapiro-Wilk de normalidade e teste de homocedasticidade (critério Bartlett). Todas as variáveis apresentaram distribuição normal e homocedasticidade. O coeficiente de correlação intraclass foi calculado através do teste e reteste no exercício de RA para garantir a reprodutibilidade dos registros EMG²⁴. A comparação do nível de ativação dos músculos monitorados e F_{máx} foram realizadas a partir da ANOVA *two-way* para medidas repetidas, seguida pelo, *post-hoc* de Bonferroni. O nível de significância

utilizado em todos os procedimentos estatísticos foi de $p < 0,05$. O tratamento estatístico foi realizado no *software* SSPS versão 18.0 (Chicago, IL, USA).

Resultados

Os coeficientes de correlação intraclasse para teste e reteste dos registros EMG durante o exercício de RA entre os protocolos foi 0,86 para LD, 0,93 para DE,

0,89 para DC e 0,92 para LD. Na Tabela 1, são apresentados os valores médios e desvios-padrão da Fmáx registrada na célula de carga em kilogramas/força (kgf) nos protocolos RSEP, FNPA e PADA. De acordo com os resultados da Tabela 2, o teste estatístico não indicou diferença estatística significativa na Fmáx no RSEP comparado ao FNPA ($p = 0,082$) e PAA ($p = 0,084$).

Tabela 1. Valores de média, desvio-padrão e coeficiente de variação da força isométrica máxima e desempenho no teste de flexão de braços

	RSEP	FNPA	PAA	TFB (n)
Fmáx	34,2 ± 11,7	32,3 ± 12,2	32,5 ± 12	36,8 ± 10,9
C.V	0,34%	0,40%	0,40%	

Fmáx: Força isométrica máxima avaliada na célula de carga. RSEP: Remada aberta em isometria sem estímulo prévio. FNPA: Remada aberta em isometria após facilitação neuromuscular proprioceptiva. PADA: Remada aberta em isometria após pré-ativação dos antagonistas. C.V: Coeficiente de variação. TFB: teste de flexão de braços

Os valores da RMS referente à amplitude do sinal EMG normalizado dos músculos analisados durante o exercício de RA em isometria na célula de carga nos protocolos RSEP, FNPA e PADA, estão representados nas figuras 2 a 5.

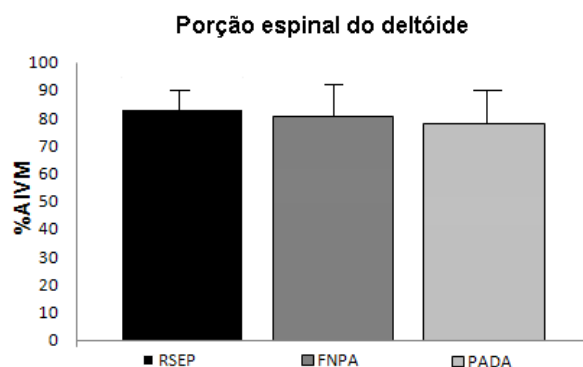


Figura 2. Valores médios e desvios-padrão dos valores de RMS normalizados pela ação isométrica voluntária máxima (AIVM) da porção espinal do deltoide durante a realização dos protocolos de teste (n = 10)

RA: remada sentada com a pegada pronada; RSEP: RA sem estímulo prévio; FNPA: RA pós-facilitação neuromuscular proprioceptiva nos antagonistas; PADA: RA após pré-atividade dinâmica dos antagonistas

Quanto aos músculos agonistas no exercício de RA (abdutores horizontais do ombro), não se verificou diferença significativa para o DE entre RSEP (83,1% ± 13,9%) para com FNPA (76,4% ± 9,1%; $p = 0,067$) e PADA (72,1% ± 8,2%; $p = 0,071$) (Figura 2).

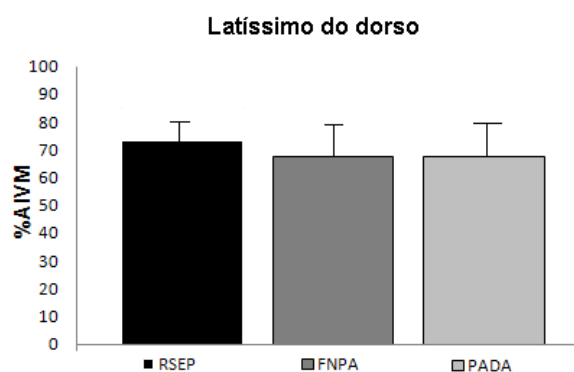


Figura 3. Valores médios e desvios-padrão dos valores de RMS normalizados pela AIVM do latíssimo do dorso durante a realização dos protocolos de teste (n = 10)

RA: Remada sentada com a pegada pronada; RSEP: RA sem estímulo prévio; FNPA: RA pós-facilitação neuromuscular proprioceptiva nos antagonistas; PADA: RA após pré-atividade dinâmica dos antagonistas

Quando comparados os valores de amplitude EMG normalizados do músculo LD (Figura 3), também não se verificou diferença significativa entre RSEP (71% ± 15,2%) comparado a FNPA (65,3% ± 11,3%; $p = 0,073$) e PADA (61,2% ± 12,2%; $p = 0,081$).

Na comparação entre os valores de RMS normalizados dos músculos antagonistas (adutores horizontais do ombro) avaliados nos protocolos de testes, não foi observada diferença significativa na amplitude EMG normalizada no RSEP (39,2% ± 15,2%) comparada ao PADA (46,3% ± 13,2%; $p = 0,086$) e FNPA (48,7% ± 11,2%; $p = 0,092$) para músculo DC (Figura 4).

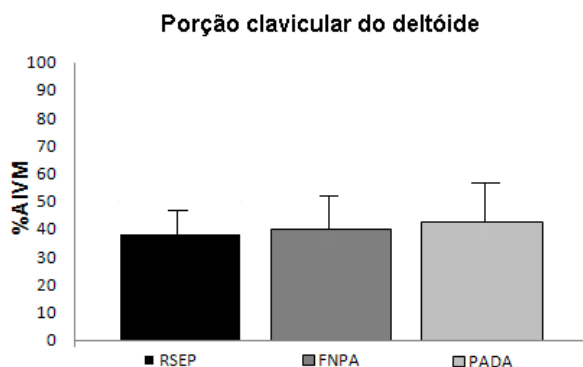


Figura 4. Valores médios e desvios-padrão dos valores de RMS normalizados pela AIVM da porção clavicular do músculo deltóide durante a realização dos protocolos de teste (n = 10)

RA: Remada sentada com a pegada pronada; RSEP: RA sem estímulo prévio; FNPA: RA pós-facilitação neuromuscular proprioceptiva nos antagonistas; PADA: RA após pré-atividade dinâmica dos antagonistas

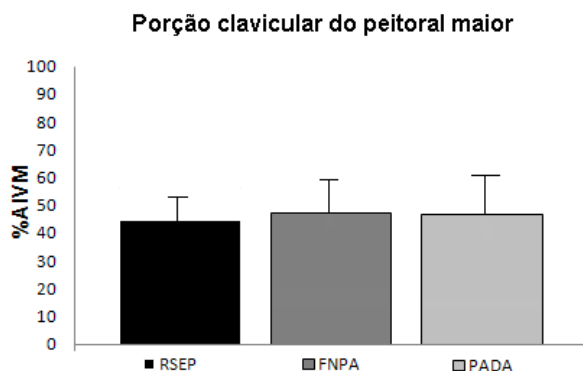


Figura 5. Valores médios e desvios-padrão dos valores de RMS normalizados pela AIVM para porção clavicular do músculo peitoral maior durante a realização dos protocolos de teste (n = 10)

RA: Remada sentada com a pegada pronada; RSEP: RA sem estímulo prévio; FNPA: RA após-facilitação neuromuscular proprioceptiva nos antagonistas; PADA: RA após pré-atividade dinâmica dos antagonistas

Quanto à amplitude sinal EMG normalizado do PC (Figura 5), o teste estatístico também não indicou diferença significativa entre o RSEP (46,8% ± 10,2%) comparado ao FNPA (50,2% ± 9,1%; $p = 0,098$) e PADA (48% ± 9,2%; $p = 0,093$).

Discussão

O propósito do presente estudo foi verificar os efeitos potenciais da pré-ativação dinâmica (teste de flexão de braços) e aplicação da técnica de FNP *contract-relax* nos músculos antagonistas (peitoral maior) com a finalidade de reduzir a coativação dos antagonistas (adutores horizontais do ombro) e possivelmente melhorar

o desempenho dos agonistas (abdutores horizontais do ombro) no exercício de RA em isometria. Como visto, os principais achados do presente estudo demonstraram que os protocolos de FNPA e PADA não apresentaram diferenças significativas na $F_{máx}$ e na amplitude EMG dos músculos agonistas (DE e LD), e antagonistas (DC e PC) no exercício de RA comparados à condição RSEP.

A hipótese inicial baseada na possível redução da coativação dos antagonistas através do teste de flexão de braços e aplicação da FNP *contract-relax* nos antagonistas, promovendo aumento na ativação dos agonistas e $F_{máx}$, não foi confirmada. Devemos considerar, que até o momento não foram encontrados estudos com *designer* metodológico similar ao do presente estudo. Destaca-se que durante as ações isométricas é possível identificar alterações no recrutamento de unidades motoras e frequência de ativação, considerando que não ocorrem alterações no comprimento muscular nesse tipo de ação muscular. Dessa forma, torna-se possível identificar qualquer alteração na densidade neural captada pelos eletrodos bipolares de superfície.

Por outro lado, os estudos prévios que investigaram os efeitos da pré-ativação dos antagonistas através de ações dinâmicas possibilitam identificar alguns mecanismos que podem estar associados aos resultados encontrados no presente estudo^{4,5,6,15}. Os achados do presente estudo corroboram com pesquisas prévias, que não verificaram alteração na atividade EMG dos músculos agonistas após pré-ativação dos antagonistas. Robbins *et al.*⁷ não foi observaram diferença significativa na potência muscular, bem como, no sinal EMG dos músculos agonistas (peitoral maior, deltoide anterior e tríceps braquial) e antagonistas (latíssimo e trapézio porção transversa) em estudo que investigou o efeito da pré-ativação dos antagonistas no exercício de remada na barra longa sobre a potência muscular dos agonistas através de lançamentos no supino reto com 40% de 1RM (Repetição Máxima), comparados a um protocolo tradicional sem pré-ativação. Uma das hipóteses consideradas pelos autores é que a pré-ativação através de 4RM não promoveu alterações no padrão trifásico de

ativação muscular (agonista-antagonista-antagonista). Destaca-se, que alguns estudos identificaram interrupção ou pausa na fase de ativação dos antagonistas durante o padrão trifásico³, porém, esta condição é frequentemente observada quando a pré-ativação é realizada através de movimentos balísticos¹⁰.

Baker e Newton¹⁵ observaram aumento significativo na potência muscular após a pré-ativação em estudo que verificou o efeito agudo de uma série de 8RM no exercício de remada no banco alto com a barra longa (antagonistas) sobre a potência muscular em uma série de lançamentos no supino (agonistas). Os autores associaram os achados à possível inibição neurológica dos antagonistas durante o exercício subsequente, todavia, Baker e Newton¹⁵ não utilizaram a eletromiografia como instrumento para avaliar possíveis respostas neurais. Por outro lado, Maynard e Ebben⁵ observaram que 5RM de flexão de joelho seguidas por séries de extensão do joelho, promoveu efeito deletério no torque isocinético extensor e potência dos agonistas comparados à condição sem pré-atividade, contudo, não foi verificada alteração no sinal EMG dos agonistas. Entretanto, Maynard e Ebben⁵ aplicaram alongamento estático nos músculos avaliados durante o aquecimento, possivelmente, tal condição pode ter influenciado os resultados, considerando as evidências que sugerem interferência negativa do alongamento estático sobre o torque isocinético dos músculos alongados^{12,13,23}. Considerando a metodologia adotada no presente estudo, parece que alterações no padrão trifásico não se associam com as respostas neuromusculares durante ações isométricas recíprocas entre agonista e antagonistas.

Apesar de não terem sido observadas diferenças significativas na F_{máx} e sinal EMG dos agonistas e antagonistas entre os protocolos experimentais aplicados no presente estudo, as semelhanças encontradas em um protocolo não foram necessariamente as mesmas verificadas nos demais. No protocolo PADA foi observada tendência associada a redução na amplitude do sinal EMG dos músculos DE e LD (agonistas na RA) comparado a RSEP. Considerando que os sujeitos da amostra não realizavam o teste de flexão de braços com

frequência em seus respectivos programas de exercícios, o mesmo realizado até a exaustão pode ter aumentado a coativação dos músculos antagonistas no teste de flexão de braços (DE e LD). O aumento na coativação durante o teste pode ter influenciado negativamente a capacidade de ativação neural dos respectivos músculos durante a RA após PADA. Quanto aos antagonistas na RA (DC e PC), verificou-se uma tendência associada ao aumento da ativação EMG no PADA comparado RSEP. De acordo com Tarata²⁶ uma das alterações EMG associadas à fadiga muscular é o aumento da amplitude EMG, portanto, como o teste de flexão de braços foi realizado até a exaustão, os músculos PC e DC podem ter apresentado variações na amplitude EMG devido ao estado de fadiga momentânea, apresentando aumento na ativação destes músculos durante a RA na célula de carga.

Há de se considerar que no presente estudo não foi observada alteração no sinal EMG dos antagonistas, alguns mecanismos neurais e morfológicos interagem interferindo na produção de força muscular após aplicação da pré-atividade dos antagonistas²⁷. Um dos mecanismos é baseado na redução da rigidez e aumento do comprimento entre os sarcômeros, que podem alterar a relação de comprimento-tensão das fibras musculares dos agonistas. O segundo mecanismo envolve fatores neurais, como, redução no recrutamento de unidades motoras dos agonistas e aumento no disparo do fuso muscular dos músculos pré-fadigados (antagonistas) após um estímulo prévio^{3,11}. Possivelmente, os protocolos aplicados não promoveram os estímulos necessários para promover alterações nos mecanismos supracitados. Oliveira *et al.*¹⁸ destacam que testes isométricos são específicos para o ângulo articular trabalhado, portanto, exercícios similares podem apresentar padrões de ativação de agonistas e antagonistas diferentes³.

Como visto, também não houve diferença significativa na F_{máx} e amplitude do sinal EMG normalizado no protocolo FNPA comparado a RSEP. Entre os estímulos promovidos pela aplicação da técnica de FNP *contract-relax* destacam-se a redução no disparo dos fusos musculares dos músculos alongados através de inibição recíproca. De acordo com Roy *et al.*²⁸, em ações

isométricas os antagonistas sofrem aumento de comprimento, este aumento apresenta relação linear com o aumento da coativação dos mesmos, inibindo a capacidade de produção de força máxima dos agonistas. De acordo com Minozzo *et al.*², alguns fenômenos relacionadas a produção de força e teoria de deslizamento das pontes cruzadas ainda não são suficientes para elucidar o comportamento da força após alongamento. Adicionalmente, em ações isométricas as técnicas de alongamento apresentação apresentam uma relação de tempo-efeito sobre a produção de força muscular. Em estudo de Mcbride e Nimphius²⁹, que investigou o efeito do alongamento estático nos agonistas durante ações isométricas máximas em exercícios mono e multiarticular, foi observada redução significativa na Fmáx 1 min, 2 min, 8 min e 16 min após o protocolo de alongamento estático, comparado ao grupo controle para ambos os exercícios. Entretanto, os autores observaram que 30 minutos após os protocolos, os níveis de Fmáx retornaram aos valores de controle. Roy *et al.*²⁸ sugerem que a técnica de FNP, caracterizada por ações recíprocas, promove um estímulo facilitatório nos órgãos tendinosos de Golgi (OTG) e dos fusos musculares dos músculos alongados. Este estímulo reduz a ativação dos OTGs e sua rede de motoneurônios, enquanto que, concomitantemente, os fusos musculares dos músculos alongados seriam mais ativados durante a contração subsequente.

Mcbride e Nimphius²⁹ também verificaram que o sinal EMG dos antagonistas reduziu significativamente após o alongamento nos agonista durante o teste isométrico subsequente. Segundo os autores, durante o ao alongamento os músculos antagonistas sofrem redução na sua ativação, possibilitando o aumento de comprimento dos músculos alongados. Já em estudo de Miyahara *et al.*³⁰ que verificou o efeito do alongamento estático e FNP sobre a atividade EMG durante os protocolos de alongamento e AIVM, observaram que ocorre aumento significativo do sinal EMG dos músculos agonistas e antagonistas durante a FNP, assim como ocorreu redução significativa na Fmáx para ambos os protocolos nos músculos alongados, comparados ao grupo controle. Em relação a efeitos crônicos de treinamento envolvendo

ações recíprocas de agonistas e antagonistas, Mackenzie, Ranelli e Yurchevich⁹, em estudo que investigou os efeitos de um protocolo de treinamento de 6 semanas baseado em exercícios concêntricos, excêntricos e combinados, observaram aumento significativo na Fmáx e na atividade EMG dos agonistas e redução na coativação dos antagonistas durante as três ações musculares (concêntrica, excêntrica e combinada). Os ganhos de força após a pré-ativação dos antagonistas foram associados ao incremento da inibição recíproca entre agonistas e antagonistas, que promoveu redução na coativação dos antagonistas, possibilitando assim, aumento na ativação dos agonistas.

De acordo com Chalmers³¹, a teoria de inibição não recíproca e autogênica vêm sendo utilizada para explicar os ganhos de amplitude promovidos pelo FNP comparados a outros métodos de flexibilidade, bem como, possíveis efeitos deletérios na força muscular dos músculos alongados. O mecanismo de inibição autogênica refere-se ao decréscimo de ativação do músculo contraído ou alongado, que reduz o estímulo eferente para o músculo, reduzindo a ativação de unidades motoras¹³. Todavia, fatores como níveis de flexibilidade prévios do indivíduo e volume (duração) da série de FNP podem potencializar o estímulo de disparo do fuso muscular ou relaxamento da musculatura alongada¹¹. Destaca-se que em protocolos de pré-ativação dos antagonistas envolvendo ações dinâmicas ou aplicação de protocolos de alongamento, a reação do fuso muscular inclui ativação do reflexo de estiramento e a inibição do desenvolvimento de tensão do grupamento antagonista, por meio de um mecanismo conhecido como inibição recíproca. Como a ativação dos fusos provoca o desenvolvimento de tensão do músculo alongado, enquanto a ativação do OTG promove relaxamento da tensão nesse músculo, os principais objetivos de qualquer procedimento de pré-ativação é minimizar o efeito do fuso muscular e potencializar o efeito do OTG^{12,13}.

Como visto nos resultados obtidos no presente estudo, não houve efeito deletério na Fmáx após os protocolos de pré-ativação dos antagonistas (FNPA e PADA) em comparação ao modelo tradicional (RSEP).

Tal achado indica, que os protocolos de ações recíprocas adotados no presente estudo permite que o tempo economizado na sessão de treinamento seja dedicado ao aprimoramento de outras valências físicas e habilidades motoras. Adicionalmente, Carregaro *et al.*³² afirmam que ações recíprocas entre agonistas e antagonistas apresentam importante aplicação em programas de reabilitação e treinamento, pois se associam diretamente a coordenação, estabilidade e produção de força em atividades de vida diário e/ou exercícios, corroborando a importância de compreender os mecanismos relacionados a pré-ativação dos antagonistas.

Um das limitações do presente estudo foi não mensurar os níveis prévios de flexibilidade dos indivíduos da amostra, considerando que a flexibilidade é específica para cada articulação e difere entre pessoas. A flexibilidade articular sobre influência direta de alguns fatores, como, o formato das superfícies ósseas que se articulam e os músculos ou tecido adiposo que se interpõem nas articulações podem limitar o movimento ao extremo da amplitude de movimento. O conteúdo hídrico dos discos cartilaginosos presentes em algumas articulações também exerce influência na mobilidade dessas articulações. Por outro lado, as evidências relacionadas aos efeitos potenciais da pré-ativação dos antagonistas sobre respostas neurais e morfológicas são limitadas. Outra limitação foi o “N” amostral, já que uma maior amostra poderia apresentar alguma diferença nos resultados. Sugere-se que em estudos futuros sejam considerados fatores como níveis prévios de flexibilidade dos indivíduos, variações no ângulo de realização das AIVM, aplicação de diferentes protocolos de alongamento e pré-ativação dos antagonistas possibilitando melhor compreensão sobre dos mecanismos intervenientes nas ações recíprocas de agonistas e antagonistas sobre o desempenho muscular, além disso, amostras maiores podem ser utilizadas.

Conclusões

Portanto, os resultados do presente estudo demonstraram que parece não haver benefícios adicionais na amplitude do sinal EMG dos músculos agonistas e

antagonistas, e na Fmáx após aplicação da técnica de FNP *contract-relax* e pré-ativação dinâmica dos antagonistas no teste de flexão de braços. Por outro lado, o modelo de ações recíprocas entre agonistas e antagonistas é caracterizado pela eficiência, possibilitando realizar estímulos para músculos agonistas e antagonistas em tempo significativamente menor comparado aos modelos tradicionais de treinamento sem comprometer o desempenho de força isométrica máxima.

Referências

1. Hamill J, Knutzen KM. **Biomechanical Basis of Human Movement**. 3ed Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2009.
2. Minozzo FC, Lira CAB, Vancini RL, Silva AAB, Fachina RJFG, Guedes DPJR, Gomes AC, Silva AC. Periodized strength training: a critical review. **R Bras Ci e Mov** 2008; 16(1): 89-97.
3. Folland JP, Williams AG. The Adaptations to Strength Training: Morphological and Neurological Contributions to Increased Strength. **Sport Med** 2007; 37(2):145-68.
4. Robbins DW, Young WB, Behm DG, Payne WR. Agonist-Antagonist Paired Set Resistance Training: A Brief Review. **J Strength Cond Res** 2010; 24(10):2873-82.
5. Maynard J, Ebben WP. The Effects of Antagonist Prefatigue on Agonist Torque and Electromyography. **J Strength Cond Res** 2003; 17(3):469-74.
6. Robbins DW, Young WB, Behm DG, Payne WR. Effects of agonist-antagonist complex resistance training on upper body strength and power development. **J Sport Sci** 2009; 27(14):1617-25.
7. Robbins DW, Young WB, Behm DG, Payne WR. The effect of a complex agonist and antagonist resistance training protocol on volume load, power output, electromyographic responses and efficiency. **J Strength Cond Res** 2010; 24(7):1782-9.
8. Jeon HS, Trimble MH, Brunt D, Robinson ME. Facilitation of quadriceps activation following a concentrically controlled knee flexion movement: the influence of transition rate. **J Orthop Sports Phys Ther** 2001; 31(3):122-9.
9. Mackenzie SJ, Rannelli LA, Yurchevich JJ. Neuromuscular Adaptations Following Antagonist Resisted Training. **J Strength Cond Res** 2010; 24(1):156-64.
10. Robbins DW, Young WB, Behm DG. The effect of an upper-body agonist-antagonist resistance training protocol on volume load and efficiency. **J Strength Cond Res** 2010; 24(10) 2632-40.

11. Sandberg JB, Wagner DR, Willardson JM, Smith GA. Acute effects of antagonist stretching on jump height, torque and electromyography of agonist musculature. **J Strength Cond Res** 2012; 26(5):1249-56.
12. Marek SM, Cramer JT, Fincher AI, Massey IL, Dangelmaier SM, Purkayastha S, Fitz KA, Culbertson JY. Acute Effects of Static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Muscle Strength and Power Output. **J Athl Train** 2005; 40(2):94-103.
13. Franco BL, Signorelli GR, Trajano GS, Oliveira CG. Acute effects of different stretching exercises on muscular endurance. **J Strength Cond Res** 2008; 22(6):1832-37.
14. Geertsen SS, Lundbye-Jensen J, Nielsen JB. Increased central facilitation of antagonist reciprocal inhibition at the onset of dorsiflexion following explosive strength training. **J Appl Physiol** 2008; 105(1):915-22.
15. Baker D, Newton RU. Acute effect on power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training. **J Strength Cond Res** 2005; 19(1):202-5.
16. American College of Sports Medicine. **Guidelines for Exercise Testing and Prescription**. 8ed. Philadelphia: The Point; 2009.
17. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 196/196: **Diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos**. 10 de outubro de 1996.
18. Brown LE, Weir JP. Recomendação de Procedimentos da ASEP I: Avaliação Precisa da Força e Potência Muscular. *Journal of Exercise Physiology* 2001; 4(3): 1-21. Tradução, Bottaro M, Oliveira HB, Lima LCJ. **R Bras Ci e Mov** 2003; 11(4): 95-110.
19. Hermes HJ, Freriks B, Disslhorst-Klug C, Rau G. **European recommendations for surface electromyography**: Results of the SENIAM Project. 1999.
20. Kendall FP, McCreary EK, Provance PG, Rodgers MM, Romani WA. **Muscles, testing and function with posture and pain**. 5ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 2005.
21. Queiroz BC, Cagliari MF, Amorim CF, Sacco IC. Muscles activation during four Pilates core stability exercises in quadruped position. **Arch Phys Med Rehabil** 2010; 91(1):86-92.
22. Pollock ML, Wilmore JH. **Exercício na Saúde e na Doença**. 2ed. Rio de Janeiro: Editora Médica e Científica; 1993.
23. Sharman MJ, Cresswell AG, Riek S. Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. **Sport Med** 2006; 36(1):929-39.
24. Merletti R. **Standards for Reporting EMG Data**. International Society of Electrophysiology and Kinesiology, 1999.
25. Kalmar JM, Cafarelli E. Central Excitability does not limit post fatigue voluntary activation of quadriceps femoris. **J Appl Physiol** 2006; 100(1):1757-64.
26. Tarata MT. Mechanomyography versus electromyography, in monitoring the muscular fatigue. **Biomed Eng Online** 2003;2:3.
27. Cornwell A, Nelson G, Sidaway B. Acute effects of stretching on the neuromechanical properties of the triceps surae muscle complex. **Eur J Appl Physiol** 2002; 86(1):428-34.
28. Roy MA, Sylvestre M, Katch FI, Lagasse PP. Proprioceptive facilitation of muscle tension during unilateral and bilateral knee extension. **Int J Sports Med** 1990; 11(4): 289-292.
29. McBride JM, Deane R, Nimphius N. Effect of stretching on agonist-antagonist muscle activity and muscle force output during single and multiple joint isometric contractions. **Scand J Med Sci Sports** 2007; 17:54-60.
30. Miyahara Y, Naito H, Ogura Y, Katamoto S, Aoki J. The effect of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching and static stretching on maximal voluntary contraction. **J Strength Cond Res** 2012; March: Epub ahead to print.
31. Chalmers G. Re-examination of the possible role of Golgi tendon organ and muscle spindle reflexes in proprioceptive neuromuscular facilitation muscle stretching. **Sports Biomech** 2004; 3:159-83.
32. Carregaro RL, Gentil P, Brown LE, Pinto RS, Bottaro M. Effects of antagonist pre-load on knee extensor isokinetic muscle performance. **J Sports Sci** 2011; 29(3): 271-8.