



Efeitos da estimulação elétrica neuromuscular durante a imobilização nas propriedades mecânicas do músculo esquelético

João Paulo Chieragato Matheus¹, Liana Barbaresco Gomide², Juliana Goulart Prata de Oliveira², José Batista Volpon¹ e Antônio Carlos Shimano¹

RESUMO

A estimulação elétrica neuromuscular (EENM) é um importante recurso utilizado em medicina esportiva para acelerar processos de recuperação. O objetivo deste estudo foi analisar os efeitos da EENM durante a imobilização do músculo gastrocnêmio, em posições de alongamento (LP) e encurtamento (SP). Para tanto, 60 ratas fêmeas jovens Wistar foram distribuídas em seis grupos e acompanhadas durante sete dias: controle (C), eletroestimuladas (EE), imobilizadas em encurtamento (ISP), imobilizadas em alongamento (ILP), imobilizadas em encurtamento e eletroestimuladas (ISP + EE) e imobilizadas em alongamento e eletroestimuladas (ILP + EE). Para a imobilização, o membro posterior direito foi envolvido por uma malha tubular e ataduras de algodão juntamente à atadura gessada. A EENM foi utilizada com frequência de 50Hz, 10 minutos por dia, totalizando 20 contrações em cada sessão. Após sete dias os animais foram submetidos a eutanásia e os músculos gastrocnêmios retirados para a realização do ensaio mecânico de tração em uma máquina universal de ensaios (EMIC®). A partir dos gráficos carga *versus* alongamento, foram calculadas as seguintes propriedades mecânicas: alongamento no limite de proporcionalidade (ALP), carga no limite de proporcionalidade (CLP) e rigidez. As imobilizações SP e LP promoveram reduções significativas ($p < 0,05$) nas propriedades de ALP e CLP, sendo mais acentuada no grupo ISP. Quando utilizada a EENM, houve acréscimo significativo ($p < 0,05$) dessas propriedades somente no grupo ISP. Já em relação à rigidez, foi observada redução significativa ($p < 0,05$) somente do grupo C para o grupo ISP. Quando utilizada a EENM, a rigidez do grupo ILP + EE foi significativamente ($p < 0,05$) maior e mais próxima do grupo C que a do grupo ISP + EE. Neste modelo experimental, a imobilização dos músculos em alongamento atrasou o processo de atrofia, e a estimulação elétrica, realizada durante a imobilização, contribuiu para a manutenção das propriedades mecânicas durante o período de imobilismo, principalmente no grupo ILP + EE.

Palavras-chave: Imobilização. Atrofia muscular. Resistência à tração. Propriedades mecânicas. Terapia por estimulação elétrica.

Keywords: Immobilization. Muscular atrophy. Traction resistance. Mechanical properties. Electric stimulation therapy.

Palabras-clave: Inmovilización. Atrofia muscular. Resistencia de tracción. Propiedades mecánicas. Terapia por estimulación eléctrica.

ABSTRACT

Effects of neuromuscular electric stimulation during immobilization in the mechanical properties of the skeletal muscle

The neuromuscular electric stimulation (NMES) is an important tool used in sports medicine to accelerate the recovery process. The objective of this study was to analyze the effects of NMES during immobilization of the gastrocnemius muscle, in lengthened (LP) and shortened positions (SP). Sixty young female Wistar rats were distributed into six groups and followed for 7 days: control (C); electric stimulation (ES); immobilized in shortening (ISP); immobilized in lengthening (ILP); immobilized in shortening and electric stimulation (ISP + ES) and immobilized in lengthening and electric stimulation (ILP + ES). For the immobilization, a tubular mesh and cotton rolls together with the plaster were wrapped around the rat's right posterior paw. NMES in a frequency of 50 Hz was used 10 minutes a day, totaling 20 contractions in each session. After 7 days the animals were sacrificed and their gastrocnemius muscles of the right paw were submitted to a mechanical test of traction in a universal test machine (EMIC®). From the load versus elongation curves the following mechanical properties were obtained: elongation in the yield limit (EPL), load in the yield limit (LPL) and stiffness. The SP and LP immobilizations promoted significant reductions ($p < 0.05$) in the EPL and LPL properties, being more remarkable in the ISP group. When the NMES was used, there was significant increase ($p < 0.05$) of these properties only in the ISP group. As for stiffness, significant reduction was observed ($p < 0.05$) only of the C group for the ISP group. When the NMES was used, the stiffness of the ILP + EE group was significantly ($p < 0.05$) higher and closer to the C group than of the ISP + EE group. We conclude that in this experimental model the immobilization of the muscles in the lengthened position delayed the atrophy process and the electric stimulation during the immobilization contributed to the maintenance of the mechanical properties during the immobilization period, mainly for the ILP + ES group.

RESUMEN

Efectos de la estimulación eléctrica neuromuscular durante la inmovilización en las propiedades mecánicas del músculo esquelético

La estimulación eléctrica neuromuscular (EENM) es un importante recurso utilizado en medicina deportiva para acelerar procesos de recuperación. El objetivo de este estudio ha sido analizar

1. Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, USP, Ribeirão Preto, SP.

2. Interunidades Bioengenharia, Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Instituto de Química de São Carlos, USP, Ribeirão Preto, SP.

Recebido em 14/9/05. Versão final recebida em 27/6/06. Aceito em 2/8/06.

Endereço para correspondência: João Paulo Chieragato Matheus, Rua Afonso Rato, 852, Bairro Mercês – 38060-040 – Uberaba, MG. Tels.: (34) 3312-7318/(34) 9195-1011. E-mail: jpcmatheus@yahoo.com.br

los efectos de la EENM durante la inmovilización del músculo gastrocnémio, en posiciones de alongamiento (LP) y contracción (SP). Para tal fin, 60 ratones hembras jóvenes Wistar fueron distribuidas en seis grupos y monitoreadas durante 7 días: control (C), electro estimuladas (EE), inmovilizadas en contracción (ISP), inmovilizadas en alongamiento (ILP), inmovilizadas en contracción y electro estimuladas (ISP + EE) e inmovilizadas en alongamiento y electro estimuladas (ILP + EE). Para la inmovilización, el miembro posterior derecho fue envuelto por una malla tubular y vendas de algodón en conjunto con vendas de escayola. La EENM fue utilizada con una frecuencia de 50 Hz, 10 minutos por día, totalizando 20 contracciones en cada sesión. Después de 7 días los animales fueron sometidos a eutanasia y los músculos gastrocnémios fueron retirados para la realización del ensayo mecánico de tracción en una máquina universal de ensayos (EMIC®). A partir de los gráficos carga versus alongamiento se calculó las siguientes propiedades mecánicas: alongamiento en el límite de proporcionalidad (ALP), carga en el límite de proporcionalidad (CLP) y rigidez. Las inmovilizaciones SP y LP dieron reducciones significativas ($p < 0,05$) en las propiedades de ALP y CLP, siendo más acentuada en el grupo ISP. Cuando utilizamos la EENM, hubo un crecimiento significativo ($p < 0,05$) de estas propiedades solamente en el grupo ISP. Por otro lado, en relación a la rigidez, se observó una reducción significativa ($p < 0,05$) solamente del grupo C respecto al grupo ISP. También se observó que al usarse EENM, la rigidez del grupo ILP + EE fue significativamente ($p < 0,05$) mayor y más próxima del grupo C que la del grupo ISP + EE. En este modelo experimental, la inmovilización de los músculos en alongamiento retrasó el proceso de atrofia y estimulación eléctrica, realizada durante la inmovilización, y contribuyó en el mantenimiento de las propiedades mecánicas durante el periodo de inmovilización, principalmente en el grupo ILP + EE.

INTRODUÇÃO

Em medicina esportiva moderna, existe tendência para a mobilização precoce de um segmento lesionado visando à reabilitação acelerada, embora ainda se utilize a imobilização rígida como forma de tratamento para muitas lesões, sejam elas músculo-esqueléticas ou ligamentares. Contudo, é possível observar atrofia muscular, mesmo nos primeiros sete dias em que os indivíduos permanecem imobilizados⁽¹⁻⁴⁾.

A intensidade em que ocorre a atrofia é diretamente influenciada pela posição em que o membro é imobilizado⁽⁵⁾. A imobilização de um músculo em alongamento (LP) atrasa o processo de atrofia por desuso; no entanto, o músculo antagonista, imobilizado em encurtamento (SP), sofre de maneira mais acelerada os efeitos deletérios da imobilização⁽⁶⁾.

O tempo em que os indivíduos permanecem imobilizados e a prevenção dos efeitos negativos decorrentes da imobilização, principalmente no cenário esportivo, têm sido fator determinante para a recuperação dos atletas. Com o avanço dos programas de reabilitação acelerada têm-se buscado recursos que minimizem os efeitos deletérios secundários às cirurgias e à imobilização. Uma das medidas é o uso da estimulação elétrica neuromuscular (EENM) que, ao lado da cinesioterapia, tem sido um dos recursos mais utilizados no fortalecimento muscular, assim como na prevenção de atrofia antes, durante e após os episódios de lesão.

Desde as Olimpíadas de Montreal (1976), quando o médico russo Yakov Kots obteve ganhos de força de 30 a 40% em atletas de elite, diversos outros estudos têm preconizado a EENM, principalmente durante os processos de reabilitação, como no período pós-operatório de cirurgias de joelho⁽⁷⁾. A utilização da EENM na tentativa de prevenir os efeitos deletérios dos processos de imobilização e dos procedimentos cirúrgicos tem grande aplicabilidade, pois reduz o tempo de reabilitação e promove o retorno dos indivíduos às suas atividades normais em tempo menor.

Tendo em vista a escassez de pesquisas referentes à aplicação da eletroestimulação como método preventivo da atrofia muscular, o objetivo deste estudo foi analisar os efeitos da estimulação elétrica neuromuscular (EENM) durante a imobilização do músculo gastrocnémio de ratos, em posições de alongamento (LP) e encurtamento (SP).

MÉTODOS

Animais

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizadas 60 ratas fêmeas da raça Wistar, espécie *Rattus norvegicus albinus*. Os animais provenientes do Biotério Central da Prefeitura do Campus de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (USP) foram mantidos, durante os protocolos experimentais, no Biotério do Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto-USP. As ratas foram mantidas em gaiolas coletivas, com três animais por gaiola, à temperatura ambiente controlada de 25°C, fotoperíodo de 12h claro/12h escuro e recebendo água e alimentação padrão, *ad libitum*. Todos os procedimentos aos quais os animais foram submetidos tiveram a aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) do Campus de Ribeirão Preto-USP, que seguem o *International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals*, segundo protocolo nº 04.1.891.53.9.

Grupos experimentais

Os animais foram distribuídos aleatoriamente nos seguintes grupos experimentais:

Grupo 1 – Controle (C): composto por 10 animais mantidos em gaiolas-padrão por sete dias.

Grupo 2 – Eletroestimulado (EE): composto por 10 animais que tiveram o músculo gastrocnémio direito submetido à estimulação elétrica por sete dias.

Grupo 3 – Imobilizado-SP (ISP): composto por 10 animais que tiveram o membro posterior direito (pelve, quadril e joelho) imobilizado em extensão e o tornozelo em flexão plantar, o que manteve o músculo gastrocnémio em encurtamento durante sete dias.

Grupo 4 – Imobilizado-LP (ILP): composto por 10 animais que tiveram o membro posterior direito (pelve, quadril e joelho) imobilizado em extensão e o tornozelo em flexão dorsal, o que manteve o músculo gastrocnémio em posição de alongamento durante sete dias.

Grupo 5 – Imobilizado-SP/Eletroestimulado (ISP + EE): composto por 10 animais imobilizados conforme modelo utilizado no grupo 3. No entanto, foram submetidos ao protocolo de estimulação elétrica durante os sete dias em que permaneceram imobilizados.

Grupo 6 – Imobilizado-SP/Eletroestimulado (ILP + EE): composto por 10 animais imobilizados conforme modelo utilizado no grupo 4. No entanto, foram submetidos ao protocolo de estimulação elétrica durante os sete dias em que permaneceram imobilizados.

Técnica de imobilização

Previamente à confecção do aparelho gessado, os animais foram anestesiados com associação de cloridrato de quetamina (80mg/kg) e cloridrato de xilazina (15mg/kg), na dose de 0,6ml da mistura para cada 100 gramas de massa corporal.

O membro posterior direito, desde o quadril até o tornozelo, foi inicialmente envolvido por uma malha tubular juntamente com ataduras de algodão a fim de não provocar isquemia no membro e prevenir a formação de úlceras de pressão. Para a imobilização, foi utilizada atadura gessada de secagem rápida com diâmetro aproximado de 3cm de largura.

Antes da secagem completa do gesso dos grupos 5 e 6, foi aberto um orifício de aproximadamente 1cm de diâmetro sobre a região do ponto motor do gastrocnémio.

O modelo de imobilização utilizado neste estudo baseou-se no proposto por Booth e Kelso⁽⁶⁾, com adaptação para somente um membro.

Estimulação elétrica

Foi utilizado um equipamento de estimulação elétrica da marca Bioset[®] modelo *Physiotonus Four*, com unidades geradoras de baixa frequência, bifásica (despolarizada) e pulsos de pequena duração, aplicados sob frequência controlada.

Eletrodos de estimulação

Para a estimulação do músculo gastrocnêmio dos grupos 2, 5 e 6 foi necessária a confecção de dois eletrodos. Um eletrodo disperso, com 6cm² de área, que se acopla à região lombar, e um ativo, em forma de caneta, com 0,5cm de diâmetro que se acopla sobre o ponto motor do músculo gastrocnêmio direito através do orifício confeccionado no gesso.

Protocolo de estimulação

Os músculos foram submetidos a estimulação elétrica com frequência de 50Hz, com oito segundos de contração e 22 segundos de repouso. Foram 20 contrações musculares eletricamente induzidas em cada sessão diária de 10 minutos durante sete dias consecutivos.

Para permitir melhor contato entre a pele e os eletrodos, proteger o animal de possível queimadura e facilitar a condução da corrente elétrica, foi aplicada uma camada de gel entre os eletrodos e as regiões de contato.

Nos grupos 5 e 6, a estimulação elétrica foi realizada após duas horas da confecção dos aparelhos gessados.

Preparação do músculo gastrocnêmio

Após o término dos protocolos experimentais, os animais foram submetidos a eutanásia por administração intraperitoneal de dose excessiva do anestésico tiopental sódico, para que seus gastrocnêmios fossem dissecados e submetidos ao ensaio mecânico de tração.

Foi retirado o gastrocnêmio do membro posterior direito de cada animal, por meio da remoção da pele e de algumas partes moles, seguida da desarticulação do tornozelo e quadril. Foi tomada a precaução de manter a integridade do músculo, preservando sua origem no terço distal do fêmur e inserção no calcâneo. A origem e a inserção óssea foram mantidas para facilitar a fixação da peça à máquina de ensaio.

Após a dissecação, as peças foram colocadas em solução de lactato de Ringer durante 30 minutos, em temperatura ambiente, até o momento da realização dos ensaios.

Ensaio mecânico de tração

Para o ensaio de tração do músculo gastrocnêmio foi utilizado a máquina universal de ensaios (marca *EMIC*[®], modelo DL10000) do Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto-USP, equipada com célula de carga de capacidade de 50kgf.

A máquina utilizada possui interface direta a um microcomputador, com o *software Tesc*[®], capaz de gerar um gráfico carga versus alongamento para cada ensaio (figura 1).

Dois acessórios foram confeccionados para a fixação da peça a ser testada, sendo um para fixação do fêmur e outro para fixação do calcâneo, mantendo o joelho e tornozelo com 90° de angulação (figura 2). No momento do ensaio, o músculo foi acoplado à máquina e, conforme metodologia estabelecida pelo laboratório, foi dada uma pré-carga de 200g durante o tempo de acomodação de 30 segundos, com o intuito de promover a acomodação do sistema.

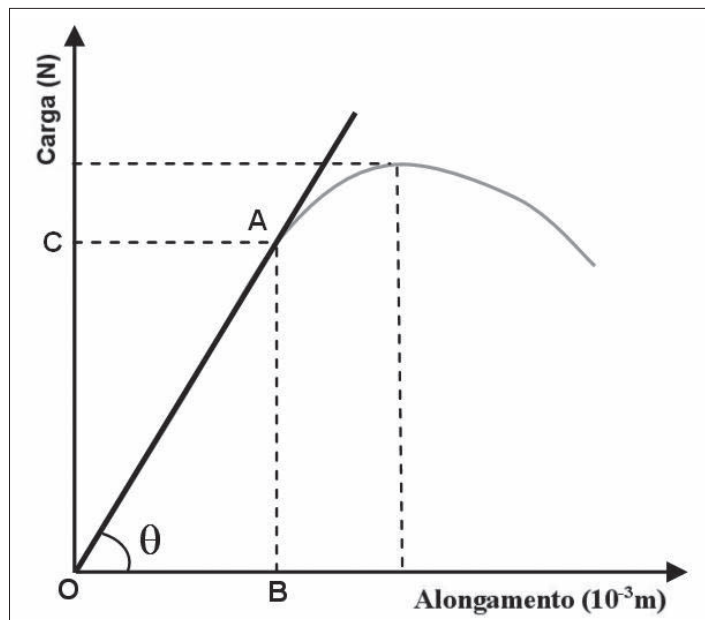


Figura 1 – Gráfico padrão de carga versus alongamento

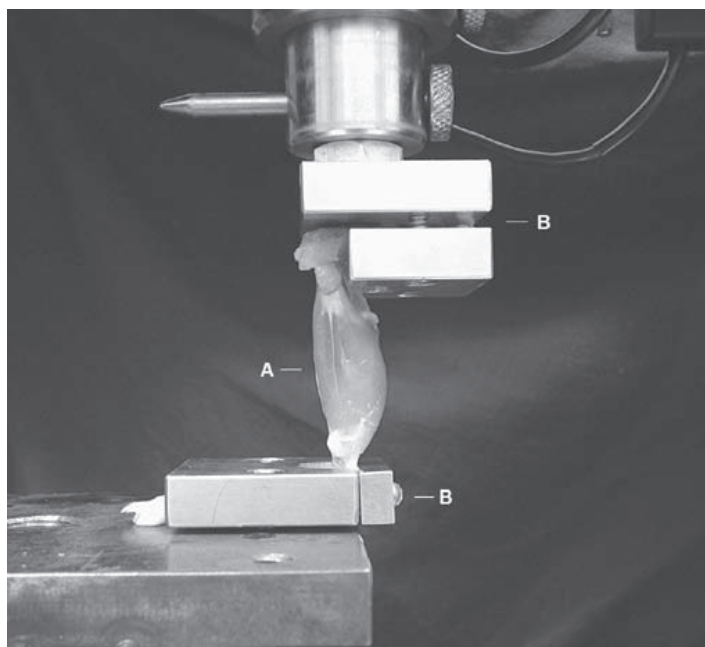


Figura 2 – Montagem para a realização do ensaio de tração na máquina universal de ensaios. Músculo (A), acessórios para fixação do músculo (B).

Após a pré-carga, o ensaio prosseguiu por, em média, oito minutos, com velocidade preestabelecida para o ensaio de 10mm/minuto. A carga aplicada foi registrada pelo *software* em intervalos regulares de alongamento até o momento de ruptura do músculo.

A partir dos gráficos carga versus alongamento de cada ensaio, foram obtidas e analisadas as seguintes propriedades mecânicas:

– alongamento no limite de proporcionalidade (ALP): é o valor de alongamento do ponto inicial (O) até o ponto de representação do alongamento elástico máximo (OB na figura 1). É representada em metros ($\times 10^{-3}$ m).

– carga no limite de proporcionalidade (CLP): é o valor máximo de carga registrado na fase elástica (OC na figura 1). É representada em newtons (N).

– rigidez: é correspondente à tangente do ângulo (θ). É representada em newtons/metro (N/m).

Análise estatística

A análise estatística foi feita utilizando o programa *BioEstat*® v. 2.0. Foi realizado o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Para análise simultânea dos grupos, foi utilizado o teste ANOVA e, para comparação entre os grupos, o teste de Turkey-Kramer, ambos com níveis de significância preestabelecidos de 5%.

RESULTADOS

Foram ensaiados 60 músculos, sendo os valores expressos em médias e desvios-padrão para cada uma das propriedades dos seis grupos analisados.

Alongamento no limite de proporcionalidade (ALP)

As médias e desvios-padrão referentes ao ALP dos seis grupos estão apresentados na figura 3.

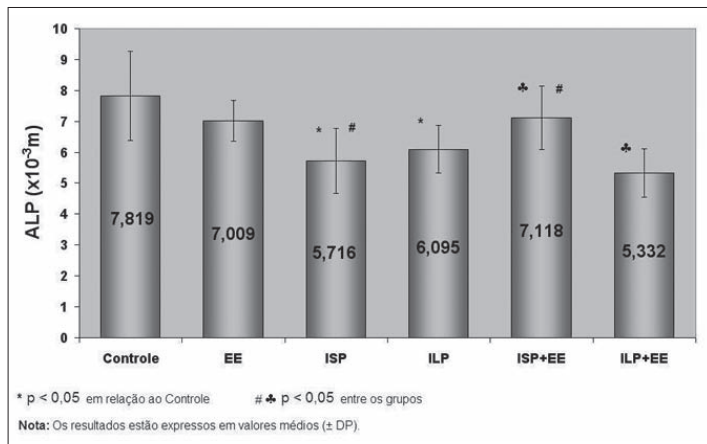


Figura 3 – Propriedade mecânica de alongamento no limite de proporcionalidade dos grupos Controle, Eletroestimulado (EE), Imobilizado SP, Imobilizado LP, Imobilizado SP + Eletroestimulado e Imobilizado LP + Eletroestimulado.

Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) do grupo Controle para os grupos Imobilizados, tanto SP como LP. Na comparação entre os grupos Imobilizado SP e Imobilizado SP + EE, também foi observada diferença significativa ($p < 0,05$), o que não ocorreu na comparação entre os grupos Imobilizado LP e Imobilizado LP + EE ($p > 0,05$).

Entre os grupos Imobilizado SP + EE e Imobilizado LP + EE foi observada diferença significativa ($p < 0,05$). Já entre Imobilizado SP + EE e o grupo Controle não se observou essa diferença ($p > 0,05$).

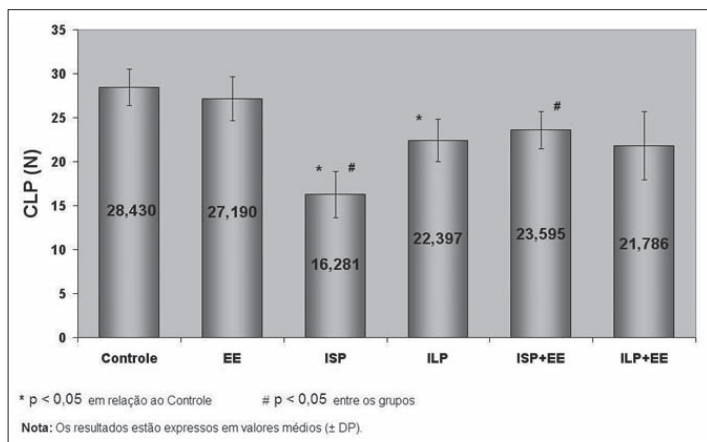


Figura 4 – Propriedade mecânica de carga no limite de proporcionalidade dos grupos Controle, Eletroestimulado (EE), Imobilizado SP, Imobilizado LP, Imobilizado SP + Eletroestimulado e Imobilizado LP + Eletroestimulado.

Carga no limite de proporcionalidade (CLP)

As médias e desvios-padrão referentes à CLP dos seis grupos estão apresentados na figura 4.

Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) dos grupos Controle e EE para os grupos Imobilizados, tanto SP como LP. Na comparação entre os grupos Imobilizado SP e Imobilizado SP + EE, também foi observada diferença significativa ($p < 0,05$), o que não ocorreu na comparação entre os grupos Imobilizado LP e Imobilizado LP + EE ($p > 0,05$).

Não foi observada diferença significativa entre os grupos Imobilizado SP + Eletroestimulado e Imobilizado LP + Eletroestimulado ($p > 0,05$).

Rigidez (R)

As médias e desvios-padrão referentes à rigidez dos seis grupos estão apresentados na figura 5.

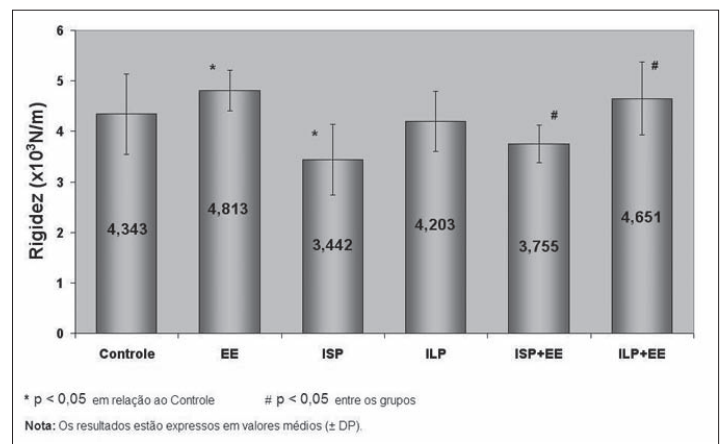


Figura 5 – Propriedade mecânica de rigidez dos grupos Controle, Eletroestimulado (EE), Imobilizado SP, Imobilizado LP, Imobilizado SP + Eletroestimulado e Imobilizado LP + Eletroestimulado.

Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) do grupo Controle para os grupos EE e Imobilizado SP ($p < 0,05$). Entre os grupos Controle e Imobilizado LP não foi possível observar diferença significativa ($p > 0,05$). Já entre os grupos Imobilizado SP + Eletroestimulado e Imobilizado LP + Eletroestimulado, foi observada diferença significativa ($p < 0,05$).

DISCUSSÃO

Os achados deste estudo demonstraram que a imobilização gessada do músculo gastrocnêmio por um período de sete dias promoveu reduções biomecânicas significativas e que a posição em que ele foi mantido imobilizado atuou diretamente na intensidade dessas alterações. Neste estudo, assim como no estudo de Järvinen *et al.*⁽⁵⁾, os músculos gastrocnêmios imobilizados em encurtamento (SP) tiveram redução maior das propriedades que os imobilizados em alongamento (LP). Já Tabary *et al.*⁽⁹⁾ não encontraram diferenças significativas entre os músculos *soleus* imobilizados em SP e LP de seu estudo.

Segundo Williams e Goldspink⁽¹⁰⁾, os músculos imobilizados LP estão constantemente submetidos à tensão, o que estimula o acréscimo no número de sarcômeros em série e reduz a intensidade em que ocorre a atrofia. Como visto em nosso estudo, a imobilização LP provocou menores alterações musculares que a SP.

Por outro lado, pode-se identificar que o músculo retraído (SP) apresenta duas características básicas: diminuição dos sarcômeros em série e aumento na densidade de tecido conjuntivo. Assim, é possível entender que os músculos imobilizados encurtados tenham menor elasticidade⁽¹¹⁾, fato observado em nosso estudo.

Outro fator que pode ter contribuído para a redução das propriedades dos músculos imobilizados foi a diminuição no diâmetro das fibras musculares, já descrito por Appell⁽¹²⁾.

Alguns autores afirmam que é possível prevenir o acúmulo do tecido conjuntivo⁽¹³⁾ e a ocorrência de atrofia⁽¹⁴⁾ por meio da contração muscular induzida pela estimulação elétrica.

Em relação às propriedades de ALP e CLP, os músculos do grupo Imobilizado SP + EE responderam melhor à estimulação elétrica que os do grupo Imobilizado LP + EE. Acreditamos que a ocorrência de maior perda das propriedades no grupo Imobilizado SP que no Imobilizado LP tenha contribuído para isso.

Na propriedade mecânica de rigidez foi encontrada menor média no grupo Imobilizado LP + EE que no grupo Imobilizado SP + EE. Segundo Järvinen *et al.*⁽⁵⁾, a rigidez dos músculos é uma importante propriedade a ser estudada, pois sua redução indica que o músculo está se alongando mais na presença de uma carga menor, o que o torna mais suscetível a lesões. Assim, parece adequado supor que os músculos imobilizados em alongamento e eletroestimulados estejam em melhores condições, após a retirada do gesso, que aqueles imobilizados em encurtamento e eletroestimulados.

Algumas limitações e observações no presente estudo precisam ser mencionadas. A maior dificuldade encontrada no teste-piloto foi referente à imobilização e a permanência dos animais no gesso. O método de enfaixamento pela malha tubular, adotado inicialmente, não permitia a permanência do animal imobilizado por período superior a dois dias. Após algumas mudanças na metodologia de confecção, adotamos um modelo de imobilização semelhante ao descrito por Booth e Kelso⁽⁸⁾, que é bastante aceito pela comunidade científica, porém, ao invés dos dois membros, somente o membro posterior direito esteve contido no gesso. Além disso, a escassez de literatura científica atual a respeito das propriedades mecânicas do músculo esquelético e do uso da eletroestimulação como ferramenta nos processos de reabilitação dificulta a discussão dos resultados.

Diversos animais têm sido empregados em estudos experimentais. Neste, optamos pelo rato, pois, segundo alguns autores^(5,8), apresenta estrutura músculo-esquelética semelhante à do ser humano. No entanto, os resultados obtidos nesses estudos não podem ser totalmente extrapolados para seres humanos; devem, sim, nortear novas pesquisas para uma futura aplicação prática.

Portanto, os resultados deste estudo sugerem que a imobilização dos músculos em alongamento retarda o processo de atrofia e que a estimulação elétrica, realizada durante a imobilização, contribui para a prevenção das propriedades mecânicas durante o período de imobilismo.

AGRADECIMENTOS

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro e concessão da bolsa de mestrado.

A empresa Bioset® – Indústria de Tecnologia Eletrônica Ltda – que, em nome do Sr. Júlio César Bucalon, concedeu o empréstimo do aparelho de estimulação elétrica.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Wills CA. Effects of immobilization of human skeletal muscle. *Orthopaedic Review*. 1982;11:57-64.
2. Appell HJ. Morphology of immobilized skeletal muscle and the effects of a pre and postimmobilization training program. *Int J Sports Med*. 1986;7(1):6-12.
3. Booth FW. Physiologic and biochemical effects of immobilization on muscle. *Clin Orthop Relat Res*. 1987;(219):15-20.
4. Mercier J. Muscle plasticity and metabolism: effects of exercise and chronic diseases. *Mol Aspects Med*. 1999;20:319-73.
5. Järvinen MJ, Einola SA, Virtanen EO. Effect of the position of immobilization upon the tensile properties of the rat gastrocnemius muscle. *Arch Phys Med Rehabil*. 1992;73(3):253-7.
6. Herbert RD, Balnave RJ. The effect of position of immobilization on resting length, resting stiffness, and weight of the soleus muscle of the rabbit. *J Orthop Res*. 1993;11:358-66.
7. Stevens JE, Mizner RL, Snyder-Mackler L. Neuromuscular electrical stimulation for quadriceps muscle strengthening after bilateral total knee arthroplasty: a case series. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2004;34(1):21-9.
8. Booth FW, Kelso JR. Production of rat muscle atrophy by cast fixation. *J Appl Physiol*. 1973;34(3):404-6.
9. Tabary JC, Tabary C, Tardieu C, Tardieu G, Goldspink G. Physiological and structural changes in the cat's soleus muscle due to immobilization at different lengths by plaster casts. *J Physiol*. 1972;224(1):231-44.
10. Williams PE, Goldspink G. Connective tissue changes in immobilized muscle. *J Anat*. 1984;138(2):343-50.
11. Salvini TF. Plasticidade e adaptação postural dos músculos esqueléticos. In: Marques AP, editor. *Cadeias musculares: um programa para ensinar avaliação fisioterapêutica global*. São Paulo: Manole, 2000;3-14.
12. Appell HJ. Muscular atrophy following immobilization. A review. *Sports Med*. 1990;10(1):42-58.
13. Williams PE, Catanese T, Lucey EG, Goldspink G. The importance of stretch and contractile activity in the prevention of connective tissue accumulation in muscle. *J Anat*. 1988;158:109-14.
14. Qin L, Appell HJ, Chan KM, Maffulli N. Electrical stimulation prevents immobilization atrophy in skeletal muscle of rabbits. *Arch Phys Med Rehabil*. 1997;78(5):512-7.