

# PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MÚSCULO DE RATOS ADULTOS E IDOSOS, EXERCITADO PÓS-IMOBILIZAÇÃO

MUSCLE MECHANICAL PROPERTIES OF ADULT AND OLDER RATS SUBMITTED TO EXERCISE AFTER IMMOBILIZATION

FÁBIO YOSHIKAZU KODAMA, REGINA CELI TRINDADE CAMARGO, ALDO ELOIZO JOB, GUILHERME AKIO TAMURA OZAKI, TATIANA EMY KOIKE, JOSÉ CARLOS SILVA CAMARGO FILHO

## RESUMO

**Objetivos:** Descrever os efeitos da imobilização, da remobilização livre e por meio de exercício físico sobre as propriedades mecânicas do músculo esquelético de ratos de duas faixas etárias. **Métodos:** 56 ratos Wistar divididos em dois grupos etários, um grupo adulto (cinco meses) e um idoso (15 meses). Estes foram subdivididos em: controle, imobilizado, remobilizado livre e remobilizado por meio de exercício físico. Os membros posteriores dos ratos foram imobilizados por período de sete dias. O protocolo de exercícios foi composto por cinco sessões de natação, uma vez por dia e 25 minutos por sessão. O músculo gastrocnêmio foi submetido a ensaios de tração, sendo avaliadas as propriedades: carga (CLM), alongamento no limite máximo (ALM) e rigidez. **Resultados:** A imobilização reduziu os valores de CLM e os protocolos de remobilização não foram suficientes para restabelecer aos níveis controle tanto nos animais adultos como nos idosos. O ALM apresentou diferença somente no grupo idoso. **Conclusões:** A imobilização reduz a capacidade do músculo de suportar cargas e protocolo de exercício físico apresenta uma tendência a restabelecer os valores ao padrão controle, tanto nos animais adultos como nos idosos. O fator idade interferiu somente no ALM gerando redução desta propriedade no período pós-imobilização. **Nível de Evidência II, Investigação dos Resultados do Tratamento.**

**Descritores:** Músculo esquelético. Imobilização. Biomecânica. Fatores etários.

## ABSTRACT

**Objectives:** To describe the effects of immobilization, free remobilization and remobilization by physical exercise about mechanical properties of skeletal muscle rats of two age groups. **Methods:** 56 Wistar rats divided into two groups according to age, an adult group (five months) and an older group (15 months). These groups were subdivided in: control, immobilized, free remobilized and remobilized by physical exercise. The pelvic limb of rats was immobilized for seven days. The exercise protocol consisted by five swimming sessions, once per day and 25 minutes per session. The gastrocnemius muscle was subjected to tensile tests, and evaluated the properties: load at the maximum limit, stretching at the maximum limit and stiffness. **Results:** The immobilization reduced the values of load at the maximum limit and the remobilization protocols were not sufficient to restore control levels in adult group and older rats. The stretching at the maximum limit differs only in the older group. **Conclusions:** The immobilization reduces the muscle's ability to bear loads and exercise protocol tends to restore the default at control values in adult and older rats. The age factor only interfered in the stretching at the maximum limit, inducing a reduction this property in the post-immobilization. **Level of Evidence II, Investigating the Results of Treatment.**

**Keywords:** Muscle, skeletal. Immobilization. Biomechanics. Age factors.

**Citação:** Kodama FY, Camargo RCT, Job AE, Ozaki GAT, Koike TE, Camargo Filho JCS. Propriedades mecânicas do músculo de ratos adultos e idosos, exercitado pós-imobilização. *Acta Ortop Bras.* [online]. 2012;21(4): 218-22. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>.

**Citation:** Kodama FY, Camargo RCT, Job AE, Ozaki GAT, Koike TE, Camargo Filho JCS. Muscle mechanical properties of adult and older rats submitted to exercise after immobilization. *Acta Ortop Bras.* [online]. 2012;21(4): 218-22. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>.

## INTRODUÇÃO

A imobilização de um segmento corpóreo é um procedimento geralmente utilizado para o tratamento de lesões musculoesqueléticas, embora possa incorrer em alterações estruturais indesejáveis<sup>1</sup> como atrofia muscular,<sup>2</sup> alteração do número de sarcômeros em série,<sup>2</sup> redução da reserva de glicogênio,<sup>3</sup> aumento do tecido

conjuntivo, diminuição da força<sup>2,3</sup> e peso muscular.<sup>4</sup>

Trabalhos prévios mostraram alterações após duas ou três semanas de imobilização,<sup>3,4</sup> porém há estudos que mostram que algumas dessas adaptações já podem ser observadas em menos de sete dias.<sup>2,5</sup>

Williams *et al.*<sup>6</sup> afirmam que a partir de seis horas da imobilização,

Todos os autores declaram não haver nenhum potencial conflito de interesses referente a este artigo.

Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP – Presidente Prudente, SP, Brasil.

Trabalho realizado no Laboratório de Histologia e Histoquímica do Departamento de Fisioterapia, Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP, Presidente Prudente. Correspondência: José Carlos Silva Camargo Filho - Departamento de Fisioterapia - FCT/UNESP Laboratório de Histologia e Histoquímica. Rua Roberto Simonsen, 305 - 19060-900 Presidente Prudente, SP, Brasil. E-mail: [camargo@fct.unesp.br](mailto:camargo@fct.unesp.br)

Artigo recebido em 18/04/2011, aprovado em 17/05/2011.

pode-se observar perda de proteínas. Existem relatos que após 48 horas de imobilização o músculo desenvolve atrofia e que após sete dias ocorre redução em 37% de sua massa.

A intensidade em que as adaptações musculares ocorrem é diretamente influenciada pela posição em que o membro é imobilizado.<sup>7</sup> Herbert e Balnave<sup>8</sup> estudaram os efeitos de diferentes posições de imobilização desde a flexão plantar até a dorsiflexão completa e concluíram que a imobilização de um músculo em alongamento retarda o processo de atrofia por desuso; no entanto, o músculo imobilizado em encurtamento, induz alterações de maneira mais intensa.

Em relação ao envelhecimento, sabe-se que este processo é caracterizado por uma diminuição funcional dos tecidos, órgãos e sistemas do organismo, com redução da capacidade de adaptação a estímulos internos e externos.<sup>9</sup>

No músculo esquelético, o envelhecimento provoca uma progressiva diminuição da massa, geração de força e capacidade de regeneração, juntamente com aumento da suscetibilidade à lesão, estresse oxidativo, e processo inflamatório.<sup>10,11</sup>

O envelhecimento também está associado à redução progressiva de motoneurônios, gerando uma inervação deficiente na musculatura. Apesar de muitas fibras serem re-inervadas por outros neurônios motores, esse processo é insuficiente para compensar totalmente as alterações ocorridas pela desnervação, resultando na atrofia de fibras musculares.<sup>12</sup>

Os efeitos deletérios da imobilização associados às alterações provocadas pelo processo de senescência sobre a musculatura esquelética podem resultar em maior suscetibilidade a lesões, o que torna interessante o estudo de suas respostas frente a estímulos externos.

Poucos estudos avaliam como se processa a recuperação da resistência do músculo após a imobilização e, principalmente, imobilização seguida de remobilização.<sup>13-17</sup> Desta forma, a avaliação das propriedades mecânicas do tecido muscular torna-se importante, consistindo numa ferramenta de grande utilidade para o estabelecimento de protocolos clínico/cirúrgicos e programas de reabilitação, pois fornece conhecimento relevante sobre as possíveis adaptações e alterações musculares frente a estímulos externos.<sup>17</sup> Existe também uma dificuldade de encontrar trabalhos que abordem esses processos no músculo esquelético envelhecido. Face às considerações supracitadas, este estudo pretende descrever os efeitos da imobilização, remobilização livre e por meio de exercício físico sobre as propriedades mecânicas do tecido muscular de ratos de duas faixas etárias.

## MATERIAL E MÉTODO

### Animais de experimentação

Foram utilizados 56 ratos machos Wistar (*Rattus norvegicus*) fornecidos pelo Biotério Central da Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Campus de Botucatu, SP, e mantidos no biotério do Laboratório de Histologia e Histoquímica de Presidente Prudente (FCT/UNESP). Os animais foram acondicionados em gaiolas coletivas de polipropileno com quatro animais cada, sob condições controladas de temperatura ( $22 \pm 2^\circ\text{C}$ ) e umidade ( $50 \pm 10\%$ ) e ciclo claro/escuro de 12 horas (7-19h), com a água e ração *ad libitum*.

Todos os procedimentos adotados foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente (FCT/UNESP) sob protocolo nº 05/2010.

### Grupos experimentais

Os animais foram divididos em dois grupos de acordo com a faixa etária, sendo um grupo adulto com cinco meses de idade (*Grupo A*) e um grupo idoso com idade de 15 meses (*Grupo B*). Estes foram aleatoriamente subdivididos em quatro grupos experimentais:

- Adulto controle (A1, n = 7) e Idoso controle (B1, n = 7)

Animais que permaneceram no biotério durante o período experimental e foram eutanasiados de forma pareada com os grupos remobilizados.

- Adulto imobilizado (A2, n = 7) e Idoso imobilizado (B2, n = 7)

Animais que foram submetidos à imobilização gessada, sendo eutanasiados logo após a retirada da mesma.

- Adulto remobilizado livre (A3, n = 7) e Idoso remobilizado livre (B3, n = 7).

Animais que foram submetidos à imobilização gessada, seguida de remobilização livre, sendo posteriormente eutanasiados.

- Adulto remobilizado por meio de exercício físico (A4, n = 7) e Idoso remobilizado por meio de exercício físico (B4, n = 7).

Animais que foram submetidos à imobilização gessada seguida de dois dias de remobilização livre e exercício físico de natação por período de cinco dias, sendo posteriormente eutanasiados.

### Técnica de imobilização

Os animais foram anestesiados com cloridrato de ketamina (80mg/kg) e cloridrato de xilazina (15mg/kg) via intraperitoneal<sup>15</sup> e após a efetivação do plano anestésico, tiveram os tornozelos envolvidos por uma malha tubular, seguida da aplicação de atadura gessada de secagem rápida com aproximadamente três centímetros de largura, para a imobilização bilateral dos membros posteriores, desde a pelve até o tornozelo. Optou-se pelo posicionamento dos membros posteriores em extensão (pelve, quadril e joelho) e o tornozelo em flexão plantar máxima, o que manteve o músculo gastrocnêmio em posição de encurtamento.

Os animais permaneceram imobilizados por sete dias consecutivos<sup>2,5,16,18</sup> e foram mantidos em gaiolas individuais com livre acesso a água e ração.

O gesso foi substituído quando necessário, respeitando o mesmo procedimento.

### Remobilização livre

Após a retirada da imobilização, os animais dos grupos A3 e B3 foram colocados em gaiolas coletivas para remobilização livre, permanecendo no biotério por período de sete dias, sendo posteriormente eutanasiados.

Os animais dos grupos A4 e B4 também foram submetidos ao mesmo procedimento, porém por período de dois dias, antes da aplicação do protocolo de exercício físico.

### Adaptação ao meio líquido

Anteriormente à aplicação da técnica de imobilização gessada nos animais dos grupos A4 e B4, estes foram submetidos a um processo de adaptação ao meio líquido.

A adaptação ocorreu em um tanque cilíndrico com superfície lisa, medindo 120 cm de diâmetro por 75 cm de altura, nível da água a 10 cm e temperatura da água mantida a  $31 \pm 1^\circ\text{C}$ . Os animais foram colocados neste tanque permanecendo 15 minutos/dia por 10 dias consecutivos.

O propósito da adaptação foi reduzir o estresse do animal sem, entretanto, promover adaptações fisiológicas decorrentes do exercício físico.

## Protocolo de exercício físico

Após dois dias de remobilização livre, os animais dos subgrupos A4 e B4 foram submetidos a cinco sessões (diárias) individuais de natação em um tanque medindo 120cm de diâmetro x 75cm de altura, divididos em oito compartimentos cilíndricos de PVC (30cm de diâmetro x 120cm de altura) contendo água a 70cm de profundidade com temperatura de  $31 \pm 1^\circ\text{C}$ . Não houve adição de carga nos animais e cada sessão teve duração de 25 minutos.

## Coleta e preparo do material

Os animais foram submetidos à eutanásia por meio de uma dose excessiva de cloridrato de ketamina e cloridrato de xilazina via intraperitoneal,<sup>17,19</sup> seguindo os princípios éticos em pesquisa animal. O músculo gastrocnêmio direito de cada animal foi retirado por meio da remoção da pele e de algumas partes moles sendo tomada a precaução para manter sua integridade, preservando-se a origem no terço distal do fêmur e a inserção no calcâneo para facilitar a fixação da peça à máquina de ensaio.

Após a dissecação, o músculo foi colocado em solução de lactato de Ringer, em temperatura ambiente, até o momento da realização dos ensaios de tração, período este inferior à uma hora.<sup>5</sup>

## Ensaio mecânico de tração muscular

Para o ensaio de tração foi utilizado uma máquina universal de ensaios (EMIC®, modelo DL2000) do Departamento de Física, Química e Biologia da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente – FCT/UNESP, 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.

Dois conjuntos de 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  $90^\circ$  de angulação.

Após a fixação do músculo à máquina de ensaios, este foi submetido à tração axial com uma pré-carga de 300g<sup>17</sup> durante o tempo de 30 segundos, com o intuito de promover a acomodação do sistema. Após a pré-carga, o ensaio prosseguiu com velocidade preestabelecida de 10 mm/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: - carga no limite máximo (CLM): maior valor de carga registrado antes da ruptura muscular. É representada em Newton (N).

- alongamento no limite máximo (ALM): alongamento máximo atingido antes da ruptura muscular. Representado em metros ( $\times 10^{-3}\text{m}$ ).

- rigidez relativa: representada a resistência passiva do músculo, sendo determinada pela tangente do ângulo ( $\theta$ ) formada pela reta traçada na fase elástica, expressa em newtons/metro (N/m).

## ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk aplicado por meio do programa estatístico SPSS 17.0 for Windows.

Os dados de carga no limite máximo (CLM) e rigidez apresentaram-se normais, sendo assim para comparação entre os subgrupos dentro de cada grupo (A e B) foi utilizada a análise de variância (ANOVA-One-Way), seguido do pós-teste de Tukey realizados por meio do programa estatístico SPSS.

Os dados de alongamento no limite máximo (ALM) apresentaram-se não normais tanto no grupo A quanto no grupo B. Sendo assim, para comparar os subgrupos, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis seguido pelo pós-teste de Dunn por meio do programa InStat. Para todas as análises utilizou-se nível de significância de 5%.

## RESULTADOS

A imobilização reduziu os valores de carga no limite máximo (CLM) tanto nos animais adultos como nos idosos (Tabelas 1 e 2). Pode-se notar que embora o protocolo de remobilização por meio de exercício físico demonstre uma tendência a aumentar o valor desta propriedade, este não foi suficiente para restabelecer a CLM aos níveis de controle. A remobilização livre gerou resultados próximos aos dos subgrupos imobilizados não demonstrando efeitos positivos no curto período pós-imobilização.

Em relação ao alongamento no limite máximo (ALM) não foram encontradas diferenças significantes entre os grupos experimentais adultos.

Nos resultados obtidos nos animais idosos houve uma diminuição da ALM nos subgrupos B3 e B4.

Os protocolos estudados não geraram alterações significantes quanto à propriedade de rigidez.

Os valores médios e desvios-padrão das propriedades mecânicas obtidos dos diferentes grupos experimentais estudados são observados na Tabela 1 (grupo adulto) e Tabela 2 (grupo idoso).

**Tabela 1. Valores de médias e respectivos desvios-padrão das propriedades mecânicas de rigidez, carga e alongamento no limite máximo dos subgrupos adultos.**

Grupos	Alongamento no Limite Máximo ( $\times 10^{-3}\text{m}$ )	Carga no Limite Máximo (N)	Rigidez ( $\times 10^3\text{N/m}$ )
A1	16,67 $\pm$ 4,05	53,49 $\pm$ 2,40 <sup>b,c,d</sup>	4,88 $\pm$ 0,84
A2	12,22 $\pm$ 2,40	41,99 $\pm$ 3,19 <sup>a</sup>	5,21 $\pm$ 1,42
A3	12,46 $\pm$ 1,43	39,59 $\pm$ 4,25 <sup>a</sup>	4,31 $\pm$ 0,78
A4	13,28 $\pm$ 3,02	45,38 $\pm$ 6,21 <sup>a</sup>	4,64 $\pm$ 1,88

<sup>a</sup>p<0,05 (comparado com A1); <sup>b</sup>p<0,05 (comparado com A2); <sup>c</sup>p<0,05 (comparado com A3); <sup>d</sup>p<0,05 (comparado com A4). A1 = Adulto controle; A2 = Adulto imobilizado; A3 = Adulto remobilizado livre e A4 = Adulto remobilizado por meio de exercício físico.

**Tabela 2. Valores de médias e respectivos desvios-padrão das propriedades mecânicas de rigidez, carga e alongamento no limite máximo dos subgrupos idosos.**

Grupos	Alongamento no Limite Máximo ( $\times 10^{-3}\text{m}$ )	Carga no Limite Máximo (N)	Rigidez ( $\times 10^3\text{N/m}$ )
B1	15,65 $\pm$ 3,14 <sup>c,d</sup>	60,33 $\pm$ 3,96 <sup>b,c,d</sup>	5,03 $\pm$ 1,39
B2	13,07 $\pm$ 2,18	43,86 $\pm$ 2,81 <sup>a</sup>	4,43 $\pm$ 1,22
B3	10,92 $\pm$ 2,05 <sup>a</sup>	42,73 $\pm$ 5,78 <sup>a</sup>	5,43 $\pm$ 1,20
B4	10,94 $\pm$ 2,23 <sup>a</sup>	46,60 $\pm$ 4,81 <sup>a</sup>	5,99 $\pm$ 1,02

<sup>a</sup>p<0,05 (comparado com B1); <sup>b</sup>p<0,05 (comparado com B2); <sup>c</sup>p<0,05 (comparado com B3); <sup>d</sup>p<0,05 (comparado com B4). B1 = Idoso controle; B2 = Idoso imobilizado; B3 = Idoso remobilizado livre e B4 = Idoso remobilizado por meio de exercício físico.

## DISCUSSÃO

O presente estudo buscou descrever os efeitos da imobilização sobre as propriedades mecânicas do músculo gastrocnêmio de ratos de duas faixas etárias (cinco meses e 15 meses), assim como as respostas aos protocolos de remobilização livre e por meio de exercício físico.

Vários modelos matemáticos foram desenvolvidos para compreender a biomecânica muscular, porém a utilização destes não permite a compreensão do comportamento biomecânico da musculatura

frente a variáveis intervenientes. Sendo assim, a análise por meio do ensaio mecânico de tração se torna interessante, pois permite a avaliação da resposta adaptativa do músculo frente a diferentes estímulos, além de simular cargas impostas à estrutura musculoesquelética, que é constantemente acometida por atuação de forças externas, principalmente sob forma de tensão.

O músculo gastrocnêmio foi utilizado por sua localização anatômica, que permite preservar as características fisiológicas quanto à origem e inserção musculares após dissecação, possibilitando sua fixação à máquina de tração para realização dos ensaios. Isto é importante, pois a análise do tecido biológico como estrutura inteira reflete de maneira mais fidedigna a solicitação mecânica fisiológica,<sup>20</sup> além do que, o músculo gastrocnêmio trabalha sob condições de atividade física extrema e tem um risco aumentado para lesões e rupturas.<sup>1,21,22</sup>

Uma vez que a imobilização é precursora de significativas alterações musculares, o interesse de estudar protocolos que possam minimizar ou reverter tais alterações torna-se importante. Outro ponto que merece análise é a escolha de animais com faixa etária distinta (adultos e idosos). Essa opção se baseou no fato que a idade tanto em humanos, como em animais influencia a força e a alteração da medida da secção transversa de um músculo.

Apesar de se conhecer relativamente bem o processo fisiológico muscular, o total de dias de imobilização, a dificuldade dos animais para deslocamento nas caixas de contenção e o tempo de remobilização foram ponderados na escolha do modelo. Diante do exposto a definição do protocolo de imobilização e de remobilização do membro pélvico, parece estar justificada

As propriedades mecânicas do músculo por serem obtidas sem a ação da ativação neural dependem apenas de sua composição estrutural, uma vez que não há variação do número de pontes cruzadas de actina e miosina que iriam interferir nos valores dessas propriedades.<sup>23</sup>

No presente estudo, o local de ruptura dos músculos submetidos ao ensaio mecânico de tração foi no ventre muscular. Segundo Järvinen<sup>19</sup>, quando o músculo gastrocnêmio é submetido a ensaios de tração, a ruptura muscular ocorre quase sempre no mesmo local, sendo que em seu trabalho em 94% dos teste, a ruptura ocorreu no ventre muscular. Os resultados encontrados por Lima *et al.*<sup>2</sup> e Sene *et al.*<sup>1</sup> corroboram esses achados, uma vez que apresentaram a mesma característica quanto ao local de ruptura muscular.

Lima *et al.*<sup>2</sup> sugerem que o fato da região ventral do músculo apresentar maior concentração de tecido muscular do que de tecido conjuntivo possa torná-la mais susceptível a ruptura.

O fato da impossibilidade de se mensurar adequadamente a área de secção transversa durante a realização dos ensaios fez com que optássemos por avaliar os dados utilizando a carga ao invés de *tensão*.

A avaliação do alongamento no limite máximo (ALM) demonstra que o protocolo de imobilização não induziu alterações estatisticamente significativas no grupo adulto. Pode-se observar apenas uma tendência à redução verificada por meio dos valores menores de média dos subgrupos que foram submetidos a esse processo quando comparados ao controle.

Carvalho *et al.*<sup>20</sup> observaram redução significativa dos valores de alongamento no limite máximo no músculo gastrocnêmio, após 14 dias de imobilização.

No grupo idoso, foram observadas diferenças significativas entre o controle (B1) e os subgrupos remobilizado livre (B3) e remobilizado por meio de exercício físico (B4), apresentando uma

redução do ALM. Observa-se uma tendência à diminuição do ALM no grupo imobilizado (B2), porém não significativa. Desse modo, pode-se sugerir que os efeitos deletérios causados por este procedimento teriam persistido no período pós-imobilização, resultando em menores valores desta propriedade. Embora não tenha sido possível determinar quais fatores poderiam influenciar diretamente tal achado, podemos sugerir que o fator idade possa interferir de maneira negativa na resposta de recuperação do organismo, uma vez que o processo de envelhecimento está relacionado com a diminuição funcional dos tecidos biológicos, especificamente em relação a redução progressiva de motoneurônios.

Os resultados de carga no limite máximo (CLM) demonstraram diminuição significativa nos músculos submetidos à imobilização, tanto no grupo adulto como no idoso. A redução dos valores dessa propriedade indica que o músculo imobilizado suporta menos carga e, portanto torna-se mais susceptível a lesões.

Järvinen *et al.*<sup>21</sup> demonstraram alterações na organização e nas características estruturais das fibras de colágeno, como aumento do número de fibras orientadas perpendicularmente, fibras mais estreitas, numerosas e menos resistentes à tensão. De um modo geral, as alterações quantitativas e qualitativas no tecido conjuntivo intramuscular, decorrentes da imobilização, podem contribuir para a redução das propriedades biomecânicas do músculo esquelético imobilizado.

Segundo Abdalla *et al.*<sup>22</sup>, o exercício induz o alinhamento funcional das fibras colágenas e Stone<sup>23</sup> afirma que o exercício físico pode aumentar a resistência do tecido conjuntivo e a massa muscular, tornando o músculo mais resistente.

No presente estudo, os resultados demonstraram que o protocolo de remobilização por meio de exercício físico não foi suficiente para determinar o restabelecimento da carga no limite máximo ao nível do controle, porém podemos observar uma tendência ao aumento, tanto no grupo adulto como no idoso.

Em relação aos subgrupos submetidos à remobilização livre, estes apresentaram valores bastante próximos aos dos subgrupos imobilizados, sendo assim, este protocolo não apresentou respostas positivas no curto período experimental de pós-imobilização.

Carvalho *et al.*<sup>13</sup> realizaram imobilização gessada do membro posterior de ratos por um período de três semanas, seguida ou não de remobilização livre e remobilização por meio de exercício físico por quatro semanas. Os autores observaram que ambos os protocolos de remobilização obtiveram respostas eficientes quanto ao restabelecimento da CLM aos níveis de controle. Possivelmente, estes achados diferem do presente estudo devido ao tempo de exposição aos processos de remobilização que foram superiores ao deste estudo e de seu período da imobilização.

A rigidez dos músculos representa uma importante propriedade a ser estudada, pois a redução de seus valores indica que o músculo está se alongando mais na presença de uma carga menor, o que também o torna mais susceptível a lesões.<sup>5,7</sup>

Considerando a deformação de proteínas estruturais da fibra muscular durante o ensaio mecânico, dentre as estruturas que respondem por esse comportamento de resistência à tração destacam-se a matriz extracelular e a titina<sup>24</sup>, uma proteína estrutural do sarcômero que auxilia na resistência passiva natural do músculo, sendo estas duas estruturas consideradas responsáveis pela resistência viscoelástica do complexo músculo-tendíneo.<sup>17</sup>

A imobilização reduz a extensibilidade de proteínas sarcoméricas (titina) e suas isoformas ( $\alpha$  e  $\beta$ )<sup>2</sup>, além de promover modificações na matriz extracelular.<sup>17</sup>

Entretanto, no presente estudo, o protocolo de imobilização provavelmente não foi suficiente para provocar alterações desta propriedade tanto no grupo adulto como no idoso.

Já Carvalho *et al.*<sup>15</sup> encontraram redução da rigidez, carga e alongamento no limite máximo decorrentes da imobilização por 14 dias. Sendo que o processo de remobilização livre por período de 10 dias foi suficiente para restabelecer esses valores.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que a imobilização é capaz de induzir alterações nas propriedades mecânicas, reduzindo a capacidade do músculo de suportar cargas tanto nos animais adultos como nos idosos.

E em ambos os grupos etários, a remobilização livre não demonstrou efeitos no curto período pós-imobilização e a remobilização

por meio de exercício físico apresentou uma tendência ao aumento da CLM, que não foi suficiente para restabelecê-la aos níveis de normalidade.

Pode-se concluir que o fator idade ou envelhecimento pode interferir de maneira negativa na resposta de recuperação do tecido muscular no que diz respeito à propriedade mecânica de ALM no período pós-imobilização.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES e a Pró-reitoria de Pós-graduação da UNESP pela concessão de bolsa de Mestrado, o Prof. Dr. Antônio Carlos Shimano e o Prof. Rodrigo Okubo, o técnico do Laboratório de Histologia e Histoquímica, Sidney Siqueira Leirião, e a coordenação do curso de Mestrado em Fisioterapia da FCT/UNESP.

## REFERÊNCIAS

1. Sene GL, Shimano AC, Picado CHF. Recuperação mecânica muscular com laser. *Acta Ortop Bras.* 2008;17(2):46-9.
2. Lima SC, Caierão QM, Durigan JLQ, Schwarzenbeck A, Silva CA, Minamoto VB et al. Curto período de imobilização provoca alterações morfofométricas e mecânicas no músculo de rato. *Rev Bras Fisioter.* 2007;11(4):297-302.
3. Durigan JLQ, Cancelliero KM, Dias CKN, Silva CA, Guirro RRJ, Polacow MLO. Efeitos da estimulação elétrica neuromuscular sobre o membro posterior imobilizado de ratos durante 15 dias: análises metabólicas e morfofométricas. *Rev Bras Fisioter.* 2006;10(3):297-302.
4. Menon T, Casarolli LM, Cunha NB, Souza L, Andrade PHM, Albuquerque CE et al. Influência do alongamento passivo em três repetições de 30 segundos a cada 48 horas em músculo sóleo imobilizado de ratos. *Rev Bras Med Esporte.* 2007; 13(6):407-10.
5. Matheus JP, Gomide LB, Oliveira JGP, Volpon JB, Shimano AC. Efeito da estimulação elétrica neuromuscular durante a imobilização nas propriedades mecânicas do músculo esquelético. *Rev Bras Med Esporte.* 2007;13(1):55-9.
6. 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.
7. 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.
8. Herbert RD, Balnave RJ. The effect of position of immobilisation on resting length, resting stiffness, and weight of the soleus muscle of the rabbit. *J Orthop Res.* 1993;11(3):358-66.
9. Figueiredo PA, Ferreira RM, Appell HJ, Duarte JA. Age-induced morphological, biochemical, and functional alterations in isolated mitochondria from murine skeletal muscle. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2008;63(4):350-9.
10. Kayani AC, Close GL, Jackson MJ, McArdle A. Prolonged treadmill training increases HSP70 in skeletal muscle but does not affect age-related functional deficits. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2008;294(2):R568-76.
11. Song W, Kwak HB, Kim JH, Lawler JM. Exercise training modulates the nitric oxide synthase profile in skeletal muscle from old rats. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2009;64(5):540-9.
12. Degens H. Age-related skeletal muscle dysfunction: causes and mechanisms. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2007;7(3):246-52.
13. Carvalho CMM, Shimano AC, Volpon JP. Efeitos da imobilização e do exercício físico em algumas propriedades mecânicas do músculo esquelético. *Rev Bras Eng Biomédica.* 2002;18(2):65-73.
14. Oliveira Milani JG, Matheus JP, Gomide LB, Volpon JB, Shimano AC. Biomechanical effects of immobilization and rehabilitation on the skeletal muscle of trained and sedentary rats. *Ann Biomed Eng.* 2008;36(10):1641-8.
15. Carvalho LC, Polizello JC, Padula N, Freitas FC, Shimano AC, Mattiello-Sverzut, AC. Propriedades mecânicas do gastrocnêmio eletroestimulado pós-imobilização. *Acta Ortop Bras.* 2009;17(5):269-72.
16. Polizello JC, Carvalho LC, Freitas FC, Padula N, Shimano AC, Mattiello-Sverzut AC. Propriedades mecânicas do músculo gastrocnêmio de ratas, imobilizado e posteriormente submetido a diferentes protocolos de alongamento. *Rev Bras Med Esporte.* 2009;15(3):195-9.
17. Matheus JPC, Milani JGPO, Gomide LB, Volpon JB, Shimano AC. Análise biomecânica dos efeitos da crioterapia no tratamento da lesão muscular aguda. *Rev Bras Med Esporte.* 2008;14(4):372-5.
18. Rocha MND. Propriedades mecânicas do músculo esquelético de ratas Wistar pós-imobilização e exercício físico em esteira [dissertação]. Ribeirão Preto: Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto; 2006.
19. Järvinen M. Healing of a crush injury in rat striated muscle. 4. Effect of early mobilization and immobilization on the tensile properties of gastrocnemius muscle. *Acta Chir Scand.* 1976;142(1):47-56.
20. Carvalho LC, Shimano AC, Picado CHF. Estimulação elétrica neuromuscular e o alongamento passivo manual na recuperação das propriedades mecânicas do músculo gastrocnêmio imobilizado. *Acta Ortop Bras.* 2008;16(3):161-4.
21. Järvinen TA, Józsa L, Kannus P, Järvinen TL, Järvinen M. Organization and distribution of intramuscular connective tissue in normal and immobilized skeletal muscles. An immunohistochemical, polarization and scanning electron microscopic study. *J Muscle Res Cell Motil.* 2002;23(3):245-54.
22. Abdalla DR, Bertoncello D, Carvalho LC. Avaliação das propriedades mecânicas do músculo gastrocnêmio de ratas imobilizado e submetido à corrente russa. *Fisioterapia e Pesquisa, São Paulo.* 2009;16(1):59-64.
23. Stone MH. Implications for connective tissue and bone alterations resulting from resistance exercise training. *Med Sci Sports Exerc.* 1988;20(5 Suppl):S162-8.
24. Goto K, Okuyama R, Honda M, Uchida H, Akema T, Ohira Y, Yoshioka T. Profiles of connectin (titin) in atrophied soleus muscle induced by unloading of rats. *J Appl Physiol.* 2003;94(3):897-902.