

Artigo Original

recebido em 03/09/2001 e aceito em 12/08/2002

Efeitos da imobilização e do exercício físico em algumas propriedades mecânicas do músculo esquelético.

Effects of immobilization and physical training on the mechanical properties of the striated muscle.

Claudia Mathias Marcos de Carvalho

Universidade de Ribeirão Preto
Curso de Fisioterapia
Rua Triunfo, nº629/154 - 14020-670 - Ribeirão Preto, SP
e-mail: ccarvalho@online.unaerp.br

Antonio Carlos Shimano

Engenheiro Mecânico
Laboratório de Bioengenharia da FMRP-USP
e-mail: ashimano@fmrp.usp.br

José Batista Volpon

Professor Associado
Departamento de Biomecânica, Medicina e
Reabilitação do Aparelho Locomotor da FMRP-USP.
e-mail: jbvoldpon@fmrp.usp.br

Resumo

Foi estudada a influência da imobilização, remobilização livre e remobilização com treinamento físico sobre as propriedades mecânicas do músculo esquelético. O limite máximo, limite proporcional, rigidez e resiliência foram obtidos a partir de ensaio de tração axial. Foram utilizados os músculos gastrocnêmios de 37 ratas fêmeas albinas, da variedade Wistar, divididas em 4 grupos. Um grupo foi utilizado como controle. Três grupos tiveram o membro posterior direito imobilizado com aparelho de gesso por três semanas. Destes, um grupo foi sacrificado logo após a retirada da imobilização, outro foi submetido a período de remobilização livre e o terceiro à remobilização com treinamento físico com natação por quatro semanas. Houve redução estatisticamente significativa para os valores das propriedades mecânicas para os músculos submetidos à imobilização. A remobilização constituída por exercitação não produziu a recuperação da resiliência. Houve aumento estatisticamente significativo da rigidez para os músculos submetidos ao treinamento físico. A remobilização livre devolveu ao músculo suas propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Exercícios, Imobilização, Músculo, Propriedades mecânicas, Rato.

Abstract

The influence of immobilization, free remobilization and remobilization followed by physical training on the mechanical properties of the striated muscle was studied in rats. The right gastrocnemius was tested in traction and the following mechanical parameters were obtained: ultimate limit, elastic limit, stiffness and resilience. Thirty-seven adult female Wistar rats were used and divided in four groups. One group was kept as a control and consisted of non-immobilized animals. In the three other groups the right hind limb was immobilized in a spica cast during three weeks. In the last group the animals were exercised with swimming after the immobilization period, during four weeks. Our results showed that there was a remarkable decrease of mechanical parameters with the immobilization. In the group with immobilization followed by exercise there was not recovery for the resilience. All trained animals showed a statistically significant recovery of the stiffness. With the mobilization the muscle recovered its normal mechanical properties.

Keywords: Exercise, Immobilization, Mechanical properties, Muscle, Rat.

Extended Abstract

Introduction

The muscle is the basic motor unit of the human body. The muscular tissue is a plastic biological structure and displays functional and morphological changes in order to adapt to different demands. Bone fractures, ligament ruptures, muscular injuries, degenerative joint disease and intra-articular affections may require either conservative or operative procedures, followed by resting and immobilization periods. The muscular response both to inactivity and increased physical demand has been extensively investigated from the morphological, physiological and biochemical point of view. On the other hand, a few studies are focused on the mechanical recovery of the muscle after a period of immobilization followed or not by physical therapy. Nevertheless, such knowledge is very important when rehabilitation is concerned. Based on this premise, we designed an investigation to study the mechanical behavior of the striated muscle after a period of immobilization and treated by physical exercises.

Material and Methods

We used 37 female Wistar rats with an average weight of 209 g. The animals were randomly distributed in four experimental groups: Control, Immobilization, Immobilization – exercitation and Immobilization – free activity. The immobilization was achieved with a spica cast from the pelvis to the right leg, keeping the knee in flexion. The control animals were not submitted to any treatment and were killed 3 weeks later. The immobilized – exercised animals were submitted to swimming for 4 weeks after cast removal, starting with 15 minutes up to 35 minutes a day. The immobilized – free activity animals were set free for cage activities after cast removal. All the animals

were killed with ether inhalation, the muscles gastrocnemius were cleaned of surrounding soft tissue and removed but maintaining the osseous insertion on the femur and calcaneus to facilitate specimen fixation. Mechanical testing consisted of longitudinal traction on a test machine equipped with a load cell of 200 kgf. Velocity was set at 5 mm per minute. From the load – deformation curves the following parameters were obtained: ultimate limit, yield limit, stiffness and resilience (absorbed energy during the elastic phase). The Tukey test was used for statistical comparison.

Results

Thirty-two muscles were available for analysis. The ultimate load decreased 50% for the immobilized animals but was equivalent for the remaining groups. The ultimate strain was not different for immobilized and trained muscles. The load in the yield limit decreased for the immobilized muscles but no difference was found among other groups. The deformation in the yield point was smaller for animals submitted to exercise. Stiffness was very reduced for immobilized animals and increased in the exercised groups even when it was compared with the control group. The free remobilization restituted the muscle mechanical characteristics similar to the control group. Resilience was greater for Control and Immobilization – free activity animals.

Conclusion

Immobilization caused a decrease in the mechanical properties of the gastrocnemius in the rat. The free mobilization restituted a mechanical behavior more similar to the control animals than did the exercise. Therefore, the exercise after a period of immobilization must be scheduled to permit muscular recovery without damaging the muscular structure.

Introdução

O músculo é o elemento motor do corpo humano, acionando voluntária ou reflexamente os segmentos corpóreos. A função do músculo esquelético depende de atividade proprioceptiva intacta, inervação motora, carga mecânica e mobilidade articular. O músculo é o mais mutável dentre os tecidos biológicos e responde a demandas normais ou alteradas com adaptações morfológicas e funcionais (Appell, 1986a; Rose & Rothstein, 1982; Lieber, 1992; Silveira *et al.*, 1994).

As fraturas ósseas, rupturas ligamentares, lesões musculares, como também doenças degenerativas ou articulares, podem exigir cirurgia ou tratamento conservador com subsequente imobilização dos membros. Os efeitos da imobilização sobre os aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos do músculo esquelético têm sido amplamente estudados (Thompson, 1934; Booth & Kelso, 1973; Booth, 1977; Herbison *et al.*, 1978; Fournier *et al.*, 1983; Fitts *et al.*, 1986; Appell, 1986a; Musacchia *et al.*, 1988; Heslinga *et al.*, 1992; Kasper *et al.*, 1993; Ansved, 1995; Vandeborne *et al.*, 1998), bem como os efeitos da remobilização e exercício físico sobre os mesmos aspectos (Cooper, 1972; Booth, 1978; Booth & Seider, 1979; Macdougall *et al.*, 1980; Appell, 1986b; Maeda *et al.*, 1993; Fitts & Widrick, 1996; Vandeborne *et al.*, 1998; Zarzhevsky, 1999).

Por outro lado, poucos foram os trabalhos encontrados na literatura que enfatizam em seus objetivos e conclusões, como se processa a recuperação da resistência do músculo após a imobilização e, imobilização seguida de exercício (Järvinen, 1976; Järvinen, 1977; Järvinen *et al.*, 1992; Järvinen, 1993). O conhecimento e o entendimento dessas adaptações permitem que os profissionais da reabilitação sejam mais efetivos em avaliação e tratamento, compreendendo os efeitos fisiológicos da intervenção imposta e respondendo melhor às necessidades individuais do paciente (Rose & Rothstein, 1982).

Sabendo que a imobilização e a remobilização exercem influência na capacidade funcional do músculo, a proposta deste trabalho foi determinar e comparar algumas propriedades mecânicas do músculo gastrocnêmio de ratas submetidos à imobilização, remobilização livre e treinamento físico, obtidas em ensaio de tração axial.

Meios e Métodos

Foram utilizadas 37 ratas da variedade Wistar, adultas jovens, com peso corporal médio de 209 g (variação de 170 a 250 g). Os animais foram mantidos em gaiolas

plásticas, em número de dois, com livre acesso à água e alimentação padrão e divididos em quatro grupos experimentais. No grupo Controle 9 animais, no início do experimento, foram separados dos demais e, uma vez atingidos os pesos dentro da faixa selecionada, foram deixados nas gaiolas por três semanas e depois, sacrificados. O grupo Imobilização foi composto por 10 animais com as mesmas características físicas do grupo controle. Ao atingirem o peso entre 170 e 250 g tiveram o membro posterior direito imobilizado durante três semanas, sendo depois sacrificados. O grupo Imobilização-Exercitação foi composto por 9 animais com as mesmas características físicas e a mesma imobilização que o grupo anterior. Após três semanas de imobilização, esta foi retirada. Depois de três dias sem a imobilização, os animais foram submetidos ao exercício de natação por um período de quatro semanas e, então, sacrificados. O quarto grupo, Imobilização-Liberação, também foi composto por 9 animais com as mesmas características e imobilização do grupo anterior, porém, após a retirada da imobilização, foram deixados livres nas gaiolas durante quatro semanas e, depois, sacrificados.

Técnica de Imobilização

Para os grupos imobilizados o membro posterior direito foi imobilizado com aparelho gessado, que incluiu a pelve, quadril e joelho (ambos em extensão). Previamente, os animais foram anestesiados com inalação de éter sulfúrico, tendo o tronco e membro posterior direito envolvidos por uma malha tubular e ataduras de algodão com 4 cm de largura, para prevenir a formação de úlceras de pressão. Foi utilizada atadura gessada de secagem rápida, 4 cm de largura, aplicada de maneira circular. O aparelho gessado foi substituído quando danificado (Figura 1).



Figura 1. Animal de experimentação com o membro posterior direito imobilizado com atadura gessada.
Figure 1. Experimental animal with the right hind limb immobilized with a spica cast.

Técnica de Exercitação

A exercitação foi realizada por meio da natação em um reservatório com 500 litros de água, circular, fabricado em plástico e com profundidade de 60 cm. A temperatura da água foi mantida em 32° C, por meio de um aquecedor, e em agitação leve, com uma bomba de água. Para o treinamento, os animais foram submetidos a um trabalho de adaptação ao exercício. No primeiro dia de treinamento, foram colocados na água por um período de 15 minutos, sem carga, com incremento diário de 5 minutos, chegando a 35 minutos de treinamento no quinto dia. Após esse período, os ratos passaram para o treinamento de adaptação progressiva ao esforço. Foram utilizados pesos de chumbo, previamente calibrados, iniciando-se com carga de 5% do peso corporal presos a uma cinta elástica. A cinta foi colocada no tórax do rato de modo a não prejudicar a movimentação. A carga foi aumentada progressivamente até 8% do peso corporal em um período de 3 semanas e chegando à duração de 60 minutos dos exercícios nos últimos cinco dias. O exercício foi realizado no período da manhã, 5 dias da semana com descanso aos sábados e domingos. As cargas foram colocadas como um estímulo ao exercício, dentro dos limites de condições aeróbicas, inclusive para o tempo estabelecido. Após o término de cada sessão de natação, os animais foram secos com jato de ar quente e recolocados nas gaiolas.

Preparação do músculo gastrocnêmio

Finda a fase experimental, todos os animais foram sacrificados por inalação excessiva de éter sulfúrico.

De cada animal foi retirado o membro posterior direito por desarticulação do quadril. A pele foi removida e o músculo gastrocnêmio dissecado, mantendo-se sua origem presa ao terço distal do fêmur e a inserção no calcâneo, e, em seguida, colocado em solução de lactato de Ringer, em temperatura ambiente para prevenir o ressecamento, até a realização do ensaio mecânico. A origem e inserção óssea foram mantidas para facilitar a fixação da peça à máquina de ensaio.

O diâmetro do músculo foi medido na região do ventre muscular com um cordonê que foi alçado em torno da parte mais volumosa do ventre muscular e tracionado de modo a ficar apenas em contato com o músculo, sem provocar compressão. Depois disto, o cordonê foi tracionado e o comprimento medido com um paquímetro.

Ensaio mecânico de tração

Para o ensaio de tração do músculo gastrocnêmio foi utilizada máquina universal de ensaio, equipada com célula de carga com capacidade de 200 kgf (Kratos®). 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. O comprimento inicial do músculo gastrocnêmio foi medido. Após a fixação do músculo nos acessórios da máquina universal de ensaios, ele foi submetido à tração axial a uma velocidade de 5 mm/minuto. Os detalhes da fixação podem ser observados na figura 2. Os ensaios foram realizados até a décima leitura após o limite máximo,

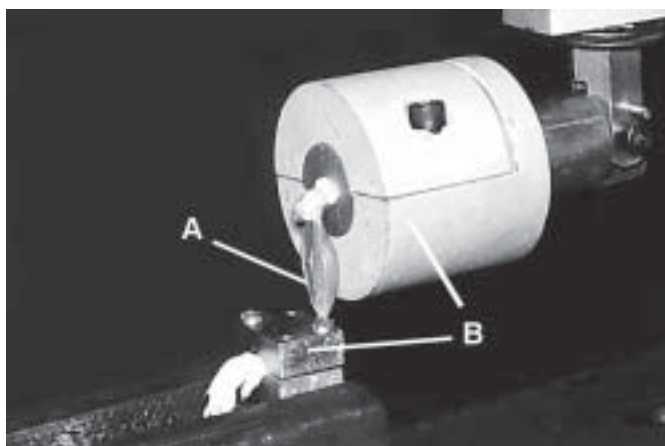


Figura 2. Montagem para a realização do ensaio de tração axial na máquina universal de ensaios. Músculo (A), acessórios para fixação do músculo (B). *Figure 2.* Assembled set up to perform a muscular axial traction. Muscle (A), accessories for the muscle fixation (B).

e durante sua realização os músculos foram borrifados com solução de lactato de Ringer para manter a hidratação. Após o ensaio, foi realizada inspeção do local de ruptura da peça.

Com os gráficos *carga x deformação*, foram obtidos o limite máximo, limite de proporcionalidade, rigidez e energia absorvida pelo músculo na fase elástica (resiliência).

Os dados foram somados e calculadas as médias aritméticas. Para análise estatística foi utilizado o Teste de Tukey. O nível de significância foi estabelecido em 5%. Os testes foram processados utilizando-se o programa *Sigma Stat v.2.03*[®].

Os experimentos foram realizados de acordo com as normas do Colégio Brasileiro de Experimentação Animal.

Resultados

Os valores médios do peso das peças e do diâmetro dos músculos obtidos para os ensaios, estão na tabela 1. Na comparação dos valores obtidos do peso das peças e do diâmetro dos músculos para o grupo Imobilização com os demais grupos, houve diferença estatisticamente significativa, com $p < 0,05$. Não foram encontradas diferenças significantes nas comparações Controle x Imobilização-Exercitação, Controle x Imobilização-Liberação e Imobilização-Exercitação x Imobilização-Liberação.

Curvas carga x deformação

Foram ensaiados 37 músculos sendo que, destes, 32 foram aproveitados para análise. Cinco peças foram excluídas por falhas técnicas durante o ensaio.

As curvas carga x deformação obtidas nos grupos Controle, Imobilização, Imobilização-Exercitação e Imobilização-Liberação são apresentados nas figuras 3 a 6.

Carga máxima

O valor médio de carga máxima para o Controle foi $(37,27 \pm 2,04)$ N, para o grupo Imobilização foi

$(19,09 \pm 2,48)$ N, para Imobilização-Exercitação $(33,67 \pm 2,46)$ N e para os Imobilização-Liberação $(37,64 \pm 3,75)$ N. A comparação entre as cargas máximas mostrou que houve diferença significativa entre eles com $p < 0,05$, exceto Controle x Imobilização-Exercitação e Controle x Imobilização-Liberação.

Deformação máxima

O valor médio para a deformação máxima foi $(14,69 \pm 1,62) 10^{-3}$ m para o Controle, $(11,81 \pm 1,85) 10^{-3}$ m para o grupo Imobilização, $(10,75 \pm 0,85) 10^{-3}$ m para o grupo Imobilização-Exercitação, e $(15,31 \pm 2,36) 10^{-3}$ m para o grupo Imobilização-Liberação. A comparação entre os grupos mostrou que houve diferença significativa entre eles com $p < 0,05$, exceto Controle x Imobilização-Liberação e Imobilização x Imobilização-Exercitação.

Carga no Limite de Proporcionalidade

O valor médio para a carga proporcional foi $(34,00 \pm 1,94)$ N para o grupo Controle, $(18,21 \pm 2,20)$ N para o grupo Imobilização, $(31,32 \pm 2,87)$ N para o grupo Imobilização-Exercitação, e $(34,96 \pm 3,86)$ N para o grupo Imobilização-Liberação. A comparação entre os grupos Controle x Imobilização, Imobilização-Exercitação x Imobilização e Imobilização-Liberação x Imobilização mostrou que houve diferença significativa com $p < 0,05$. A comparação entre Controle x Imobilização-Exercitação, Controle x Imobilização-Liberação e Imobilização-Exercitação x Imobilização-Liberação, evidenciou que não houve diferença significativa.

Deformação no limite de proporcionalidade

O valor médio para a deformação proporcional foi $(12,19 \pm 2,10) 10^{-3}$ m para o grupo Controle, $(10,69 \pm 1,53) 10^{-3}$ m para o grupo Imobilização, $(8,69 \pm 0,75) 10^{-3}$ m para o grupo Imobilização-Exercitação e $(12,75 \pm 2,39) 10^{-3}$ m para o grupo Imobilização-Liberação. A comparação entre os grupos Controle x Imobilização-Exercitação e Imobiliza-

Tabela 1. Valores médios do peso da peça e do diâmetro do músculo gastrocnêmio. **Table 1.** Mean weight and diameter of the gastrocnemius muscle

Grupos	Controle	Imobilização	Imobilização Exercitação	Imobilização Liberação
Peso da peça (gramas)	$4,67 \pm 0,40$	$3,69 \pm 0,41$	$4,92 \pm 0,46$	$5,48 \pm 0,93$
Diâmetro do ventre muscular (mm)	$32,82 \pm 1,64$	$25,38 \pm 1,67$	$32,68 \pm 1,47$	$33,85 \pm 1,48$

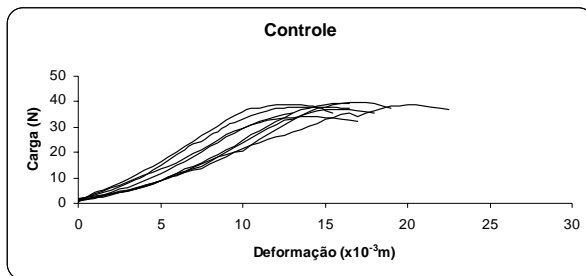


Figura 3. Curvas carga x deformação para os músculos analisados no grupo Controle. **Figure 3.** Load-deformation curves for the Control group muscles.

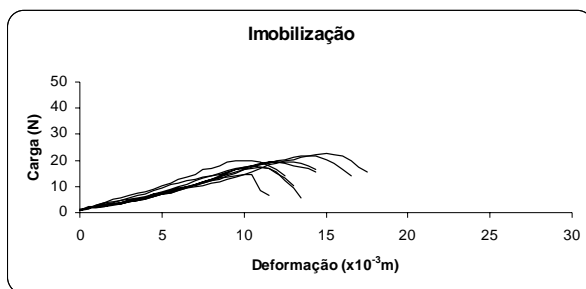


Figura 4. Curvas carga x deformação para os músculos analisados no grupo Imobilização. **Figure 4.** Load-deformation curves for the Immobilized group muscles.

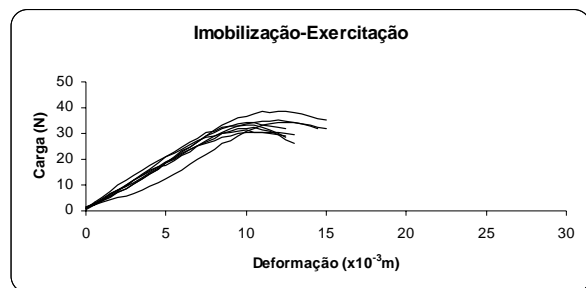


Figura 5. Curvas carga x deformação dos músculos analisados no grupo imobilizado e exercitado após a retirada da imobilização. **Figure 5.** Load-deformation curves for the immobilized and exercised group muscles after immobilization

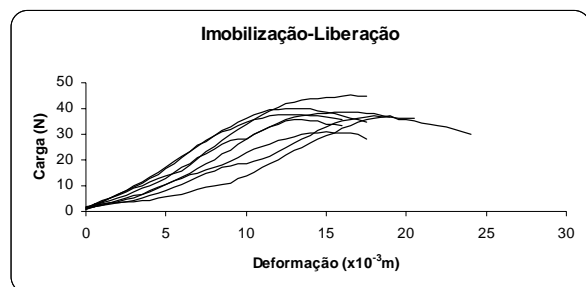


Figura 6. Curvas carga x deformação dos músculos analisados no grupo imobilizado e não exercitado após a retirada da imobilização. **Figure 6.** Load-deformation curves for the immobilized and non exercised group muscles after immobilization.

ção-Exercitação x Imobilização-Liberação mostrou que houve diferença significativa entre as médias com $p < 0,05$. A comparação entre os grupos Controle x Imobilização, Controle x Imobilização-Liberação, Imobilização x Imobilização-Liberação e Imobilização x Imobilização-Exercitação não apresentou diferença significativa.

Resiliência

O valor médio para a resiliência foi $(190,59 \pm 32,27) 10^{-3}J$ para o grupo Controle, $(96,52 \pm 22,89) 10^{-3}J$ para o grupo Imobilização, $(131,75 \pm 22,86) 10^{-3}J$ para o grupo Imobilização-Exercitação e $(203,99 \pm 30,12) 10^{-3}J$ para o grupo Imobilização-Liberação. A comparação entre os grupos mostrou que houve diferença significativa entre eles com $p < 0,05$, exceto nos Controle x Imobilização-Liberação e Imobilização-Exercitação x Imobilização.

Rigidez

O valor médio para a rigidez foi $(3,09 \pm 0,41) 10^3N/m$ para o grupo Controle, $(1,68 \pm 0,17) 10^3N/m$ para o grupo Imobilização, $(3,47 \pm 0,18) 10^3N/m$ para o grupo Imobilização-Exercitação e $(3,00 \pm 0,48) 10^3N/m$ para o grupo Imobilização-Liberação. Comparando-se os grupos, verificou-se que houve diferença significativa entre eles ($p < 0,05$), com exceção de Controle x Imobilização-Exercitação e Controle x Imobilização-Liberação.

Discussão e Conclusões

Os profissionais que trabalham com lesões do sistema músculo-esquelético precisam compreender como são as relações entre força, movimento e morfologia do músculo. De todas as ciências básicas, a Mecânica possui uma aplicação direta para a terapia de lesões e recuperação funcional de problemas músculo-esqueléticos. O conhecimento de princípios mecânicos é essencial para a compreensão do diagnóstico, tratamento e prevenção de lesões ortopédicas e esportivas (Gould, 1993).

Neste trabalho o músculo gastrocnêmio foi selecionado para o estudo por sua localização e função. Geralmente este músculo trabalha sob condições de atividade física extrema, tendo risco aumentado para lesões ou rupturas e o tratamento requer períodos de imobilização (Järvinen *et al.*, 1992). Além disto, esse músculo apresenta a vantagem de poder ser facilmente ensaiado devido à preservação da origem e inserção ósseas, o que facilita a fixação.

Com relação ao peso da peça verificamos que houve redução significativa após três semanas de imobilização.

O peso foi recuperado após a retirada da imobilização e período de remobilização, independentemente da exercitação ou liberação.

O diâmetro de ventre muscular pode ser utilizado como indicativo do trofismo. Houve redução de 23% do diâmetro do músculo com a imobilização. Os dados estão de acordo com os reportados por Appell (1990). Com a retirada da imobilização e o período de quatro semanas de remobilização, o trofismo foi recuperado, não havendo diferença estatisticamente significante entre os grupos.

Utilizamos o gráfico carga x deformação para avaliação dos dados obtidos. O ideal seria a correlação com a tensão. Entretanto, a área de secção transversal necessária para o cálculo não poderia ser medida pois o ensaio do músculo foi destrutivo e a ruptura não acontece linearmente. Com esta limitação substituímos o cálculo do módulo de elasticidade pela rigidez, conforme preconizado por Järvinen (1977).

Em nosso material encontramos que a carga máxima foi semelhante para os grupos controle, imobilização-exercitação e imobilização-liberação, estando acentuadamente diminuída para os músculos imobilizados. A deformação máxima para os músculos imobilizados foi semelhante aos valores obtidos para os exercitados. Estes resultados sugerem uma menor capacidade do músculo exercitado em alongar-se embora suportasse carga semelhante aos músculos controle.

A fase elástica reflete uma etapa de deformação reversível, mais próxima do funcionamento do músculo em condições normais. Nesta fase, a carga no limite de proporcionalidade foi reduzida significativamente para os músculos imobilizados em relação aos grupos Controle, Imobilização-Exercitação e Imobilização-Liberação, não sendo encontradas diferenças nas comparações entre os grupos Controle, Imobilização-Exercitação e Imobilização-Liberação. A deformação no mesmo limite não foi diferente nos músculos controle e imobilizados-liberados. Observamos que, apesar do valor da deformação no limite de proporcionalidade ser 19% maior para os músculos imobilizados que os exercitados, a carga aplicada para a deformação sofrida nos músculos imobilizados foi 42% menor que a verificada para os músculos exercitados.

Houve redução significativa na rigidez para os músculos imobilizados, ou seja, o músculo deformou mais, a uma carga menor. Estas alterações devem ser levadas em consideração no processo de reabilitação para evitar complicações resultantes da sobrecarga muscular. A rigidez foi maior para os músculos que foram exercitados após a retirada da imobilização,

provavelmente devido ao treinamento físico aplicado e aumento de tecido conjuntivo.

Os dados mostram que a remobilização, independentemente da aplicação de um exercício físico específico, devolveu ao músculo suas propriedades elásticas pré-existentes. Porém, a liberação foi melhor que a exercitação dentro dos parâmetros estabelecidos para o estudo. Nesse caso, o músculo recuperou suas propriedades mecânicas comportando-se de forma semelhante ao controle.

A energia absorvida na fase elástica ou resiliência foi maior no grupo controle e imobilização-liberação. Não houve diferença significativa na comparação entre os músculos imobilizados e imobilizados-exercitados. Acreditamos que a menor capacidade do músculo exercitado em absorver energia de deformação na fase elástica esteja relacionada à posição de imobilização do membro, onde o músculo foi mantido predominantemente em posição encurtada. Segundo Järvinen *et al.* (1992) há aumento na quantidade de tecido conjuntivo no músculo quando imobilizado em posição encurtada, o que poderia deixá-lo menos elástico. Ao realizar o exercício de natação, o músculo gastrocnêmio também foi trabalhado em posição encurtada devido aos movimentos natatórios dos membros posteriores. Por outro lado, a habilidade dos músculos em absorver energia sem se romper é importante para a prevenção de lesões. Quando muita energia é absorvida, o material poderá romper-se, como ocorre em algumas distensões e fraturas (Gould, 1993). Neste caso um músculo mais resistente teria menor probabilidade para romper-se em esforços extremos.

Outro dado interessante observado foi que o desvio padrão nos valores médios obtidos para as propriedades mecânicas foi consideravelmente menor para os músculos exercitados comparados aos imobilizados-liberados. O mesmo aconteceu com os músculos imobilizados. Podemos inferir que uma demanda específica, em nosso caso a imobilização e o exercício de natação, proporcionaram ao músculo um comportamento mais homogêneo, enquanto que os outros grupos mostraram maior variabilidade biológica em seu comportamento.

Concluindo, observamos que a imobilização provocou reduções significativas nos valores das propriedades mecânicas do músculo estudado. A remobilização constituída por exercitação produziu aumento na rigidez do músculo, porém não houve recuperação da resiliência e a remobilização livre após período de imobilização devolveu ao músculo suas proprie-

dades mecânicas. Estes dados podem sugerir que a introdução de exercícios físicos após períodos de imobilização deve ser feita de forma gradual ou não representará vantagens em relação a liberação simples. Outro detalhe é que talvez seja melhor introduzir exercícios mais tardiamente, no processo de reabilitação. Cremos que estas idéias devam ser investigadas especificamente em outros trabalhos.

Referências

- Ansved, T (1995), "Effects of immobilization on the rat soleus muscle in relation to age", *Acta Physiol Scand*, v. 154, p. 279-290.
- Appell, H.J. (1986a), "Skeletal muscle atrophy during immobilization", *Int J Sports Med*, v.7, n. 1, p. 01-05, Feb.
- Appell, H.J. (1986b), "Morphology of immobilized skeletal muscle and the effects of a pre-and postimmobilization training program", *Int J Sports Med*, v. 7, p. 6-12.
- Appell, H.J. (1990), "Muscular atrophy following immobilization. A review", *Sports Med*, v. 10, n. 1, p. 42-58.
- Booth, F.W. (1977), "Time course of muscular atrophy during immobilization of hindlimbs in rats", *J Appl Physiol*, v. 43, p. 656-661.
- Booth, F.W. (1978), "Regrowth of atrophied skeletal muscle in adult rats after ending immobilization", *J Appl Physiol*, v. 44, n. 2, p. 225-230, Feb.
- Booth, F.W.; Kelso, J.R. (1973), "Protection of rat muscle atrophy by cast fixation", *J Appl Physiol*, v. 34, n. 3, p. 404- 406, March.
- Booth, F.W.; Seider, M.J. (1979), "Recovery of skeletal muscle after 3 mo of hindlimb immobilization in rats", *J Appl Physiol*, v. 47, p. 435- 439.
- Cooper, R.R. (1972), "Alterations during immobilization and regeneration of skeletal muscle in cats", *J Bone Joint Surg*, v. 54 (A), n. 5, p. 919- 953, Jul.
- Fitts, R.H.; Metzger, J.M.; Riley, D.A.; Unsworth, B.R. (1986), "Models of disuse: A comparison of hindlimb suspension and immobilization", *J Appl Physiol*, v. 60, n. 3, p. 1946-1953.
- Fitts, R.H.; Widrick, J.J. (1996), "Muscle mechanics: adaptations with exercise-training", *Exerc Sports Sci Rev*, v. 24, p. 427-473.
- Fournier, M.; Roy, R.R.; Perham, H.; Simard, C.P.; Edgerton, V.R. (1983), "Is limb immobilization a model of muscle disuse?", *Exp Neurol*, v. 80, p. 147-156.
- Gould III, J.A. (1993), "Biomecânica básica na terapia esportiva e ortopédica", In: *Fisioterapia na ortopedia e na medicina do esporte*. São Paulo: Manole, p. 65-83.
- Herbison, G.J.; Jaweed, J.F.; Ditunno, J.F. (1978), "Muscle fiber atrophy after cast immobilization in the rat", *Arch Phys Med Rehabil*, v. 59, p. 301-305, Jul.
- Heslinga, J.W.; Rozendal, R.H.; Huijing, P.A. (1992), "Unilateral immobilization affects contralateral rat gastrocnemius muscle architecture", *Acta Anat*, v. 143, p. 231- 235.
- Järvinen, M. (1976), "Healing of a crush injury in rat striated muscle", *Acta Chir Scand*, v. 142, p. 47-56.

- Järvinen, M. (1977), "Immobilization effect on the tensile properties of striated muscle: an experimental study in the rat", *Arch Phys Med Rehabil*, v. 58, p. 123- 127.
- Järvinen, M.; Einola, S.A.; Virtanen, E.O. (1992), "Effect of the position of immobilization upon the tensile properties of the rat gastrocnemius muscle", *Arch Phys Med Rehabil*, v. 73, n. 3, p. 253-257, Mar.
- Järvinen, M.J. (1993), "The effects of early mobilization and immobilization on the healing process following muscle injuries", *Sports Med*, v.15, n .2, p. 78-89, Feb.
- Kasper,E.C.; McNulty,A.L.; Otto,A.J.; Thomas,D.P. (1993), "Alterations in skeletal muscle related to impaired physical mobility: an empirical model", *Res Nurs Health*, v. 16, p. 265-273.
- Lieber, R.L. (1992), "Skeletal muscle adaptation to decreased use", In: *Skeletal muscle structure and function. Implications for rehabilitation and sports medicine*, Baltimore: Willians & Wilkins. Cap. 5, p. 210-259
- Maddougall,J.D.; Elder,G.C.D.; Sale,D.G.; Moroz,J.R.; Sutton,J.R. (1980), "Effects of strength training and immobilization on human muscle fibres", *Eur J Appl Physiol*, v. 43, p. 25-34.
- Maeda,H.; Kimmel,D.B.; Raab,D.M.; Lane,N.E. (1993), "Musculoskeletal recovery following hindlimb immobilization in adult female rats", *Bone*, v.14, p. 153-159.
- Musacchia.X.J.; Stefen,J.M.; Fell,R.D. (1988), "Disuse atrophy of skeletal muscle: animal models", *Exerc Sport Sci Rev*, v. 16, p. 61-87.
- Ramos, R.S. (1979), "Biomecânica. Conceito atual", *Rev Bras Ortop*, v. 14, n.4, p. 141-143.
- Rose, S.J.; Rothstein, J.M. (1982), "Muscle biology and physical therapy", *Phys Ther*, v.62, p.1754-1756.
- Silveira, M.I.A.; Pérot, C.; Goubel, F. (1994), "Plasticidade muscular", *CCS*, v. 13, n. 3, p. 23-32, jul-set.
- Souza, S.A. (1974), "Ensaio de tração", In: *Ensaio mecânicos de materiais metálicos*, São Paulo: Edgard Blücher, p. 3-58.
- Thompson, C. (1934), "Experimental muscular atrophy", *J Bone Joint Surg*, v. 16, p. 564-571, Jul.
- Vandenborne,K.; Elliott,M.A.; Walter,G.A.; Abdus,S.; Okereke,E.; Shaffer, M.; Tahernia,D.; Esterhai,J.L. (1998), "Longitudinal study of skeletal muscle adaptations during immobilization and rehabilitation", *Muscle Nerve*, v. 21, p. 1006-1012.
- Zarzhovsky,N.; Coleman,R.; Volpin,G.; Fuchs,D.; Stein,H.; Reznick,A.Z. (1999)., "Muscle recovery after immobilization by external fixation", *J Bone Joint Surg*, v. 81-B, p. 896-901.