

- TABARY, J. C.; TABARY, C.; TARDIEU, C.; TARDIEU, G.; GOLDSPIK, G. "Physiological and structural changes in the cat's soleus muscle due to immobilization at different lengths by plaster casts". *J. Physiol.*, 224: 231-44, 1972.
- TARDIEU, C.; TARDIEU, G.; GAGNARD, L.; TABARY, C. "Les rétractions musculaires. Étude expérimentale. Conséquences thérapeutiques". *Rev. Pratn.*, 19: 1535-43, 1969.
- THOREN, P.; FLORAS, J. S.; HOFFMANN, P.; SEALS, D. R. "Endorphins and exercise: physiological mechanisms and clinical implications". *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22(4): 417-28, 1990.
- WARREN, G. L.; HAYES, D. A.; LOWE, D. A.; PRIOR, B. M.; ARMSTRONG, R. B. "Materials fatigue initiates eccentric contraction-induced injury in rat soleus muscle". *J. Physiol. (Lond)*, 464: 477-89, 1993.
- WERNIG, A.; SALVINI, S. T.; IRINTCHEV, A. "Axonal sprouting and changes in fibre types after running-induced muscle damage". *J. Neurocytol.* 20: 03-13, 1991.
- WILLIAMS, P. E.; GOLDSPIK, G. "Longitudinal growth of striated muscle fibres". *J. Cell Sci.*, 9: 751-61, 1971.
- WILLIAMS, P. E.; GOLDSPIK, G. "The effect of immobilization on the longitudinal growth of striated muscle fibres". *J. Anat.*, 116: 45-55, 1973.
- WILLIAMS, P. E.; GOLDSPIK, G. "Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle". *J. Anat.*, 127: 459-68, 1978.
- WILLIAMS, P. E.; GOLDSPIK, G. "Connective tissue changes in immobilised muscle". *J. Anat.*, 138 (2): 343-50, 1984.
- WILLIAMS, P. E.; CATANESE, T.; LUCEY, E. G.; GOLDSPIK, G. "The importance of stretch and contractile activity in the prevention of connective tissue accumulation in muscle". *J. Anat.*, 158: 109-14, 1988.
- WINEGRAD, S.; ROBINSON, T. F. "Force generation among cells of the relaxing heart". *Eur. J. Cardiol.*, 7: 63-70, 1978.
- YANG, H.; ALNAQEEB, M.; SIMPSON, H.; GOLDSPIK, G. "Changes in muscle fibre type, muscle mass and IGF-I gene expression in rabbit skeletal muscle subjected to stretch". *J. Anat.*, 190 (4): 613-22, 1997.

CADEIA RESPIRATÓRIA

Compreende os músculos:

Peitoral Menor
Escalenos
Intercostais
Diafragma

O músculo esternocleidomastóideo, embora não citado em algumas referências, tem participação importante nesta cadeia.

LIVRO: CADEIAS MUSCULARES

UM PROGRAMA P/ ENSINAR AVALIAÇÃO FISIOTERAPEUTICA GLOBAL

AUTOR: AMÉLIA PASQUAL MARQUES 1ª EDIÇÃO
ED. MANOLE

INTRODUÇÃO

PLASTICIDADE E ADAPTAÇÃO POSTURAL DOS MÚSCULOS ESQUELÉTICOS

*Prof. Dr. Tania de Fátima Salvini **

Dominar os conceitos científicos básicos que permitem entender a estrutura, a função e a capacidade de adaptação dos músculos esqueléticos é essencial para uma adequada avaliação postural, bem como para a elaboração de programas de intervenção fisioterápica. O objetivo desta introdução é contribuir nesse sentido, apresentando uma revisão sucinta de alguns dos principais aspectos morfológicos e funcionais dos músculos esqueléticos e, principalmente, como esses conceitos básicos podem ser utilizados pelo terapeuta no seu dia-a-dia.

A literatura científica tem apresentado importantes estudos sobre a adaptação morfofuncional dos músculos esqueléticos, relacionada à postura e à atividade física. Esses resultados permitem uma melhor elaboração e fundamentação teórica dos programas terapêuticos freqüentemente utilizados. É importante que o fisioterapeuta entenda por que um grupo muscular adapta-se a determinadas condições e quais as variáveis envolvidas nesse mecanismo.

Como toda abordagem teórica que tenta subsidiar uma intervenção terapêutica subsequente, o conteúdo deste texto apresenta também suas limitações. Seria impossível apresentar, em detalhes, todos os aspectos básicos envolvidos na plasticidade dos músculos esqueléticos em uma revisão.

Inicialmente, pensou-se em incluir uma breve revisão sobre a fisiologia do fuso muscular e do órgão tendinoso de Golgi, pela importância de ambos na fisiologia muscular. Porém, como há diversos livros didáticos da área de Fisiologia e Neurociências, com excelentes textos sobre esses receptores musculares, decidiu-se indicá-los como sugestão para leitura complementar.

*Prof. adjunta do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos.

O conteúdo desta introdução reflete um pouco da valiosa cooperação que recebemos, nos últimos anos, da Prof. Dr^a. Amélia Pasqual Marques, que gentilmente auxiliou no desenvolvimento do módulo *Retração e Alongamento das Cadeias Musculares*, junto à disciplina Cinesioterapia, que temos ministrado no curso de graduação em Fisioterapia. Felizmente, o excelente material didático por ela produzido poderá agora ser amplamente divulgado por este livro.

Aspectos Morfológicos e Funcionais Envolvidos na Retração e no Alongamento dos Músculos Esqueléticos

A avaliação postural, bem como a elaboração e aplicação de programas de cinesioterapia, é uma atividade de rotina executada pelo fisioterapeuta. Por outro lado, muitas vezes esse profissional não domina os conceitos básicos relacionados à capacidade de adaptação dos músculos esqueléticos. Por exemplo, embora o fisioterapeuta esteja habituado a identificar uma retração muscular e a orientar exercícios de alongamento, com o objetivo de impedir a instalação de uma retração ou como tratamento de um encurtamento muscular já estabelecido, ele não entende os mecanismos envolvidos na resposta muscular conseqüente à sua intervenção. Assim, sua avaliação e intervenção ficam limitadas.

São freqüentes questões como por que determinados grupos musculares encurtam-se mais que outros; por que indivíduos submetidos a treinamento com exercícios contra-resistidos concêntricos apresentam grandes encurtamentos nos grupos musculares hipertrofiados; qual a melhor forma de promover um alongamento muscular pela cinesioterapia; se é procedente a realização de exercícios de "aquecimento" antes da execução de exercícios de alongamento; se o exercício pode lesar o músculo e qual o seu limite; quais as relações entre exercício, dor e analgesia etc.

Para entender o mecanismo da retração muscular, bem como o porquê de um grupo muscular retraído ter a capacidade de recuperar ou mesmo ampliar seu comprimento anterior por meio de exercícios de alongamento, é fundamental que se compreendam os processos envolvidos na adaptação dos músculos esqueléticos dos mamíferos.

É importante esclarecer que "retração" e "encurtamento" das fibras musculares serão considerados termos sinônimos, ambos significando diminuição no comprimento e na elasticidade muscular.

Já está devidamente comprovado na literatura científica que as fibras musculares esqueléticas apresentam plasticidade, ou seja, capacidade de adaptação a determinados estímulos, como exercício físico, imobilização, alterações das condições hormonais, condições de nutrição, inervação, eletroestimulação etc.

A capacidade de adaptação dos músculos esqueléticos, quando submetidos a diferentes graus de extensão ou comprimento, foi observada pela primeira vez após transplante do tendão distal do tríceps sural para a região inferior do calcâneo (Marey, 1887), ou seja, produzindo-se um alongamento no músculo como um todo. Em poucas semanas após a cirurgia, observou-se a adaptação do músculo a seu novo comprimento funcional. Outro estudo, realizado posteriormente, mostrou que o músculo esquelético pode também diminuir o comprimento e a extensibilidade quando mantido em posição encurtada (Alder e cols., 1958). Resultados similares, mostrando a adaptação dos músculos a diferentes posições, foram observados em diferentes mamíferos (Tardieu e cols., 1969).

Na época desses últimos estudos, já havia grande interesse em entender como ocorria o processo de crescimento muscular durante o desenvolvimento. Trabalhos experimentais realizados nas décadas de 60 e 70 identificaram que o músculo aumentava seu comprimento por meio da adição

de sarcômeros ao longo das fibras musculares (Goldspink, 1968; Williams e Goldspink, 1971). Nesse período, já era considerada a hipótese da adaptação das fibras musculares esqueléticas a diferentes graus de extensão, com provável remoção ou adição no número de sarcômeros em série, conforme a demanda funcional e o grau de extensão a que o músculo é submetido.

Estudos posteriores mostraram que a imobilização dos músculos em posição alongada acarreta aumento no comprimento muscular pela adição no número de sarcômeros em série, particularmente nas duas regiões terminais das fibras musculares (Tabary e cols., 1972; Williams e Goldspink, 1973, 1978). Comportamento similar também foi observado nos músculos esqueléticos de diversos mamíferos durante o crescimento normal pós-natal (Williams e Goldspink, 1971).

Um dos trabalhos fundamentais para o entendimento do mecanismo de adaptação dos músculos esqueléticos a diferentes graus de extensão foi realizado por Tabary e colaboradores (1972). Nesse trabalho, pôde-se observar, em gatos, que o músculo sóleo aumentou em 20% o número de sarcômeros em série após quatro semanas de imobilização em *posição de alongamento*. Por outro lado, quando esse mesmo músculo foi imobilizado em *posição de encurtamento*, houve redução de 40% no número de sarcômeros em série e conseqüente diminuição de sua extensibilidade. Quatro semanas após a suspensão da imobilização, o músculo em posição de encurtamento apresentou extensibilidade e número de sarcômeros similar ao grupo controle não-imobilizado. Ou seja, um músculo retraído pode readquirir seu comprimento normal de acordo com a demanda funcional. Nesse caso, a própria marcha produziu no músculo sóleo o estímulo necessário para seu alongamento.

Outros estudos identificaram que, enquanto a imobilização do músculo em *posição de encurtamento* acarreta diminuição no número de sarcômeros e atrofia na fibra muscular, a imobilização em *posição alongada* leva à adição de sarcômeros com conseqüente ganho de peso e aumento da síntese protéica (Williams e Goldspink, 1978; Yang e cols., 1997). Estudos mais recentes, realizados em músculos de coelhos, identificaram, seis dias após imobilização em posição alongada, hipertrofia, aumento no conteúdo total de Insulin Grow Factor-I (IGF-I) e aumento no percentual de fibras que expressam miosina do tipo I e miosina neonatal (Goldspink, 1996; Yang e cols., 1997). O IGF-I é um hormônio envolvido tanto no processo de hipertrofia muscular como na adaptação das fibras desencadeada pelo alongamento e por exercícios contra-resistidos (Goldspink, 1996; Yang e cols., 1997).

Todos os estudos que tiveram por objetivo compreender o mecanismo de desenvolvimento e adaptação do músculo esquelético permitiram algumas importantes conclusões:

- o músculo adapta-se a alterações em seu comprimento por meio da regulação do número de sarcômeros em série;
- a *posição* (encurtada ou alongada) em que o músculo é mantido é fator determinante na regulação do número de sarcômeros em série (diminuindo ou aumentando, respectivamente);
- embora a adaptação das fibras musculares ocorra tanto em posição de encurtamento como de alongamento, a resposta em relação ao número de sarcômeros é mais intensa na posição encurtada (redução de 40% do número de sarcômeros em série) do que na posição alongada (aumento de 20% no número de sarcômeros em série);
- o grau de atrofia muscular observado durante a imobilização depende da posição de imobilização e é maior no grupo encurtado;
- a posição de alongamento, além de impedir o encurtamento e a atrofia musculares, ativa a síntese protéica e a adição de sarcômeros em série.

É evidente que a imobilização utilizada nesses estudos experimentais em animais não deve ser utilizada como tratamento clínico em humanos. O procedimento foi utilizado apenas para

permitir o estudo detalhado da adaptação muscular. A imobilização em si não deve ser adotada como recurso terapêutico quando o objetivo é alongar determinado grupo muscular, pois o fisioterapeuta dispõe de outras técnicas igualmente efetivas e que não limitam a atividade funcional do indivíduo. O alongamento dos diversos grupos musculares, com aumento do número de sarcômeros em série e conseqüente aumento no comprimento e na elasticidade musculares, pode ser facilmente obtido pela realização de exercícios físicos.

Por Que a Adaptação da Fibra Muscular à Posição Envolve a Adaptação do Número de Sarcômeros?

A análise dos resultados experimentais obtidos sobre a adaptação dos músculos esqueléticos à demanda funcional também suscitou importantes questões como, por exemplo, por que a fibra muscular é tão sensível e adapta-se tão rapidamente às alterações em seu comprimento? Os estudos que avaliaram a relação entre a força produzida pelo músculo e seu comprimento contribuíram para elucidar questões como essa.

O primeiro trabalho a demonstrar que a força desenvolvida pelo músculo durante a contração isométrica (contração muscular sem alteração de comprimento) varia com seu comprimento foi realizado por Blix, em 1895. Apesar disso, somente na década de 60 foi possível identificar as bases morfofuncionais da relação tensão-comprimento da fibra muscular. Em um experimento cuidadoso e sofisticado, realizado por Gordon e colaboradores (1966), verificou-se que, em fibras musculares isoladas, a força isométrica máxima é produzida quando o sarcômero atinge um comprimento próximo ao comprimento de sua posição em repouso. Essa força diminui quando o sarcômero é alongado ou encurtado (figuras 1 e 2).

As figuras 1 e 2 mostram que a força isométrica dos sarcômeros atinge níveis máximos quando há uma sobreposição ótima entre os filamentos de actina e miosina, o que ocorre quando o comprimento do sarcômero está entre 2,0-2,25 μ . Esse estudo permitiu identificar que a força gerada pela contração muscular depende da quantidade de "pontes" entre os filamentos de actina e miosina no interior dos sarcômeros. A identificação da relação entre a tensão muscular e as alterações no comprimento do sarcômero subsidiou a proposição da teoria do deslizamento dos miofilamentos na contração muscular (Gordon e cols., 1966).

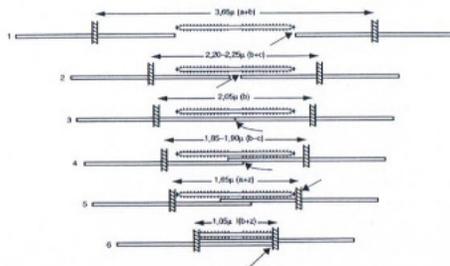


Figura 1 Relação entre as alterações da tensão desenvolvida e as alterações do comprimento do sarcômero. As setas indicam os estágios críticos de interação entre os filamentos de actina e miosina (ver também figura 2). (Figura obtida de: Gordon, A.M.; Huxley, A.F.; Julian, F.J. "The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibers". *Journal of Physiology*, (184):170-192, 1966.)

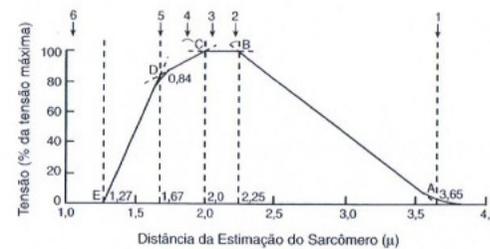


Figura 2 Estágios críticos na sobreposição entre os filamentos de actina e miosina, em diferentes posições do sarcômero (alongamento e encurtamento). Os números apresentados nesta figura correspondem também aos da figura 1. (Figura obtida de: Gordon, A.M.; Huxley, A.F.; Julian, F.J. "The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibers". *Journal of Physiology*, (184):170-192, 1966.)

Considerando que os filamentos de actina e miosina têm comprimento constante, a adaptação dos músculos adultos a diferentes comprimentos funcionais, pela remoção ou adição de sarcômeros em série, ocorreria com o objetivo de manter um comprimento fisiológico e funcional dos sarcômeros na fibra muscular (para maiores detalhes, ver Williams e Goldspink, 1978).

Na posição encurtada, o comprimento funcional do músculo encontra-se diminuído. Como nessa posição também apresentam comprimento diminuído, os sarcômeros não podem desenvolver força contrátil máxima, pois se perdeu a sobreposição fisiológica ideal entre os filamentos de actina e miosina (ver figuras 1 e 2). A redução do número de sarcômeros em série poderia então restabelecer o comprimento ideal aos sarcômeros restantes. Provavelmente, o mecanismo oposto explicaria o aumento do número de sarcômeros em série, identificado em músculos mantidos em posição de alongamento. Na posição de alongamento, haveria uma redução da sobreposição fisiológica entre os filamentos de actina e miosina, o que impediria o desenvolvimento da contração muscular máxima. A adição de sarcômeros em série permitiria o restabelecimento do comprimento funcional dos sarcômeros.

É importante ressaltar que a força contrátil ativa, produzida pelo músculo esquelético, depende também da integridade do sistema nervoso central e do periférico, sendo influenciada por diversos fatores, como a composição e o diâmetro da fibra muscular, as mudanças no comprimento do músculo, o padrão de recrutamento das unidades motoras etc.

Adaptação do Tecido Conjuntivo no Músculo Esquelético

O perimísio, devido à sua organização, é considerado o tecido que mais contribui para a resistência passiva extracelular no músculo esquelético. Como já foi descrito anteriormente, a perda de sarcômeros e a redução no comprimento da fibra muscular estão associadas ao aumento na resistência passiva do músculo durante o alongamento. Sabe-se também que a força passiva imposta ao músculo durante um alongamento lhe é transmitida como um todo através do tecido conjuntivo intramuscular (Winegrad e Robinson, 1978).

Músculos imobilizados em *posição encurtada* apresentaram maior abundância e remodelação do tecido conjuntivo nos períodos subsequentes à imobilização (Tabary e cols., 1972;

Williams e Goldspink, 1984). Evidências da remodelação do perímio foram observadas no músculo sóleo de camundongos, duas semanas após imobilização em posição de encurtamento (Williams e Goldspink, 1984). No mesmo trabalho, constatou-se que as fibras de colágeno do perímio apresentavam um ângulo de fixação mais agudo que o observado nos músculos normais, acarretando diminuição na elasticidade muscular e aumento na tensão passiva.

Apenas dois dias após a imobilização do músculo sóleo em *posição encurtada*, houve um rápido aumento na quantidade de tecido conjuntivo no perímio. A figura 3 mostra claramente que o aumento do tecido conjuntivo ocorreu antes que se iniciasse a perda significativa do número de sarcômeros em série. Nesse período, imediatamente após a imobilização, também não houve atrofia significativa.

Por outro lado, quando o músculo foi imobilizado em *posição alongada*, não se observou alteração no tecido conjuntivo.

Pode-se identificar, então, que o músculo retraído apresenta duas características básicas: diminuição dos sarcômeros em série e aumento na densidade de tecido conjuntivo. Assim, foi possível entender por que os músculos mais encurtados têm menor elasticidade.

Esses estudos permitiram comprovar que, de modo similar ao que ocorre na regulação dos sarcômeros, não é a imobilização em si que altera o tecido conjuntivo, mas sim a *posição* do músculo.

Embora esses trabalhos tenham elucidado uma relação importante entre a posição de imobilização do músculo e a adaptação do tecido conjuntivo, seus resultados suscitaram novos questionamentos, pois outras variáveis, além da posição, poderiam estar relacionadas com a adaptação do conjuntivo. Sabia-se, por exemplo, que o músculo imobilizado em posição encurtada estaria submetido a menor alongamento funcional e redução na atividade contrátil. Por outro lado, sabia-se também que músculos submetidos à atividade com redução de seu comprimento funcional (como nos exercícios contra-resistidos concêntricos) também apresentavam redução no número de sarcômeros em série, similar à observada nos músculos imobilizados em posição encurtada.

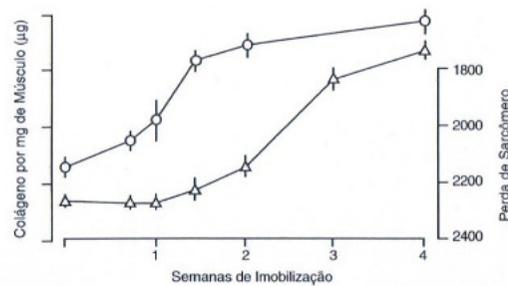


Figura 3 Relação entre a perda de sarcômeros em série (Δ) e o conteúdo de hidroxiprolina (\circ) em músculos imobilizados em posição encurtada durante 4 semanas. (Figura obtida de: Williams, P.E.; Goldspink, G. "Connective tissue changes in immobilised muscle". *Journal of Anatomy*, 138 (2): 343-350, 1984.)

Assim, era pertinente avaliar se o aumento de tecido conjuntivo ocorria devido à *posição de encurtamento do músculo* ou se seu acúmulo estaria relacionado com a *diminuição da atividade contrátil*. Seria importante, então, entender o papel da atividade contrátil do músculo no acúmulo de tecido conjuntivo, observado em músculos imobilizados em posição encurtada.

Com o objetivo de contribuir para o esclarecimento dessa questão, Williams e colaboradores (1988) realizaram um experimento aplicando diferentes combinações de imobilização e eletroestimulação. Foi observado que é possível *prevenir* o acúmulo de tecido conjuntivo, identificado no músculo imobilizado em posição encurtada, ou pelo alongamento passivo ou pela contração muscular induzida por eletroestimulação (figura 4). Por outro lado, pode-se observar que a eletroestimulação aplicada em músculos encurtados acentuou ainda mais a redução de sarcômeros em série (figura 4).

Esses resultados permitiram concluir que a *atividade contrátil do músculo previne a proliferação do conjuntivo, mas não a perda de sarcômeros em série*.

Tais informações são muito úteis ao fisioterapeuta, pois justificam, por exemplo, a utilização de recursos que estimulem a contração muscular durante as imobilizações, particularmente no grupo muscular imobilizado em posição encurtada. Já que o terapeuta não poderá impedir o encurtamento do músculo devido à posição da imobilização, a realização da contração muscular ativa, realizada pelo próprio indivíduo com exercícios isométricos ou obtida por eletroestimulação, pode ser extremamente eficaz no sentido de amenizar ou impedir a proliferação de tecido conjuntivo e a atrofia muscular.

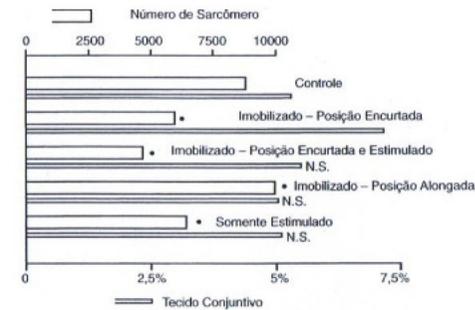


Figura 4 Proporção de tecido conjuntivo e número de sarcômeros em série em músculos imobilizados em posição de alongamento e encurtamento, com ou sem eletroestimulação. (Figura obtida de: Williams, P.E.; Catanese, T.; Lucey, E.G.; Goldspink, G. "The importance of stretch and contractile activity in the prevention of connective tissue accumulation in muscle". *Journal of Anatomy*, 158: 109-114, 1988.)

Hipertrofia e Alongamento Muscular

Os resultados apresentados permitem também entender por que é tão comum observar encurtamento de determinados grupos musculares em indivíduos que realizam programas de treinamento físico baseados exclusivamente na realização de exercício concêntrico contra-resistido. Como usualmente a maioria desses programas não inclui uma série efetiva de exercícios ou

posturas que promovam o alongamento muscular, o resultado final pode ser uma excelente hipertrofia, mas, infelizmente, muitas vezes associada ao encurtamento do músculo.

Diversos professores de Educação Física têm relatado a grande dificuldade em conscientizar os indivíduos que freqüentam as academias de ginástica, com o objetivo de hipertrofiar determinados grupos musculares, de que é necessário realizar simultaneamente um programa adequado de alongamento muscular. A idéia de muitos alunos é a de que o alongamento seria uma *perda de tempo* e poderia também *prejudicar* a obtenção da hipertrofia tão desejada ou *competir* com ela. Os resultados apresentados na literatura mostram exatamente o oposto, ou seja, o músculo adapta-se de acordo com a demanda funcional à qual é submetido. Assim, embora estimule a síntese protéica na fibra muscular e leve à hipertrofia, o treinamento contra-resistido não impede o encurtamento do músculo, pois é executado predominantemente em posição encurtada. Por outro lado, os exercícios de alongamento, de preferência os isométricos excêntricos, além de ativar também a síntese protéica, estimulam a adição de sarcômeros em série, impedindo o encurtamento do músculo. Assim, seria recomendado que ambos os tipos de exercício fossem utilizados quando se tem por objetivo promover a hipertrofia e, ao mesmo tempo, manter o comprimento adequado e extensibilidade de determinado grupo muscular.

Exercício Excêntrico e Alongamento Muscular

O *exercício ativo excêntrico* é aquele em que há, ao mesmo tempo, aumento da tensão muscular, obtido através da ativação das fibras musculares extra-fusais, e realização do movimento voluntário de alongamento do músculo. Vários estudos já demonstraram que esse tipo de exercício pode causar lesão, devido ao alto grau de tensão produzido nas fibras musculares (Armstrong e cols., 1983; Warren e cols., 1993; para revisão, ver Clarkson, 1997).

Todos os trabalhos experimentais apresentados até hoje mostraram que o exercício excêntrico é o que mais rapidamente estimula a adição de sarcômeros em série, promovendo também hipertrofia muscular e remodelação do tecido conjuntivo. Assim, esse tipo de exercício seria mais indicado para quando se pretende promover o alongamento de determinado grupo muscular. O fato de esse exercício ser também ativo e livre permite que, de modo geral, não se ultrapassem os limites morfofuncionais do indivíduo, o que poderia causar lesões teciduais e dor.

Por que se deve tomar muito cuidado ao utilizar o exercício excêntrico para fins terapêuticos, particularmente para a obtenção do alongamento muscular? Por um motivo muito simples: apesar de sua eficiência em promover o alongamento da fibra muscular e o rearranjo no tecido conjuntivo, o exercício excêntrico é o que mais facilmente lesa a fibra. Por essa característica, tem sido amplamente utilizado como modelo de indução de lesão em estudos realizados em humanos (Clarkson, 1997) e em animais de laboratório (Armstrong e cols., 1983; Lieber e cols., 1996; Wernig e cols., 1991).

Como o exercício excêntrico apresenta um poderoso efeito sobre os músculos esqueléticos, com atuação tanto na regulação do número de sarcômeros quanto na hipertrofia, podendo também acarretar lesão estrutural, dor e disfunção neuromuscular (para revisão, ver Clarkson e Newham, 1995; Clarkson, 1997), diversos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de identificar que fatores poderiam amenizar essa capacidade de indução de lesão e, assim, tornar mais seguro seu uso clínico.

Resultados obtidos em seres humanos indicaram que, quando o músculo é submetido a *aquecimento* prévio, pela realização de exercício ativo concêntrico, há uma significativa diminuição na capacidade de indução de lesão provocada pelo exercício excêntrico utilizado posteriormente (Nosaka e Clarkson, 1997).

A maioria dos indivíduos que já se submeteram a um programa de exercícios excêntricos, para promover o alongamento muscular, relata uma sensação desagradável, porém suportável, durante sua execução. O que poderia ser feito para amenizar tal sensação? Uma questão muito debatida sobre esse tema relaciona-se à necessidade ou não de se realizar um conjunto de exercícios prévios com objetivo de promover certo "aquecimento" no grupo muscular a ser alongado. Confirmando os resultados da literatura científica, de modo geral a experiência clínica mostra que a realização de exercício ativo intenso, previamente à sessão de alongamento, ameniza a sensação dolorosa muscular.

Outro aspecto importante, que deve ser considerado quando são indicados exercícios ou posturas de alongamento para grupos musculares muito encurtados e com baixa elasticidade, é que esse alongamento deve ser executado de forma lenta e progressiva, respeitando-se sempre o limite do próprio indivíduo. Diversos estudos justificam essa conduta (ver Simpson e cols., 1995).

Dor e Lesão Muscular Induzidas pelo Exercício Físico

É comum alguns indivíduos relatarem sensação desagradável ou dor quando iniciam uma sessão de exercícios excêntricos. A sensação de dor pode ocorrer também algumas horas após o término da sessão. É importante que o fisioterapeuta conheça as características da dor associada ao exercício.

Uma excelente revisão, realizada por Miles e Clarkson (1994) sobre os tipos de dor relacionados com o exercício, constatou que há, pelo menos, três tipos distintos:

- a) a dor que ocorre durante ou imediatamente após a realização do exercício;
- b) a sensação de dor que se manifesta entre 24 e 48 horas após exercício intenso, e
- c) a dor induzida por câimbra muscular.

Cada um deles apresenta diferenças tanto no período em que se manifesta quanto na etiologia.

A dor observada *durante o exercício* é considerada resultante de uma combinação de fatores, incluindo ácidos, íons, proteínas e hormônios. Embora se tenha creditado ao ácido láctico a responsabilidade pela ocorrência dessa dor, as evidências experimentais sugerem que ele não seja o único fator envolvido.

A dor que se manifesta entre *24 e 48 horas após exercício intenso* ou *após exercício excêntrico* está associada à lesão estrutural no músculo esquelético com perda da integridade dos elementos contráteis. Embora não se saiba a exata causa desse tipo de dor, há evidências de que esteja associada à reação inflamatória desencadeada pela lesão. É importante ressaltar que essa dor está relacionada com o processo inflamatório decorrente da lesão muscular, pois pode ser um indicativo seguro de que a intensidade do exercício foi excessiva. Nesse caso, é comum que o indivíduo apresente os seguintes sinais e sintomas: diminuição da força muscular; dor à palpação, à contração e ao alongamento do ventre muscular; hipertonía local reflexa e diminuição do ângulo articular devido ao encurtamento reflexo do grupo muscular lesado.

A *câimbra* pode ser conceituada como uma ocorrência de dor intensa e repentina, desencadeada pela hiperexcitabilidade do motoneurônio. Embora alguns trabalhos tenham sugerido que sua ocorrência esteja relacionada à alteração no balanço eletrolítico, o mecanismo de ação desse tipo de dor também é desconhecido.

Assim, embora a manifestação da dor seja um sintoma comum associado ao exercício, o mecanismo de ação de cada um dos principais tipos de dor ainda não foi elucidado.

Analgesia Induzida pelo Exercício Físico

A realização de exercício físico tem sido associada também à sensação de bem-estar e à diminuição da ansiedade. De modo geral, a redução dos níveis de ansiedade persiste por duas ou cinco horas após a realização de atividade física intensa. O treinamento físico regular tem sido frequentemente associado à redução da ansiedade e da depressão, bem como à melhora da auto-estima e do humor (para revisão, ver Morgan, 1985; Sforzo, 1989; Schwarz e Kindermann, 1992).

Sabe-se que diversos neuromoduladores, entre eles as endorfinas, são capazes de mediar a analgesia. Diversos trabalhos demonstraram que o exercício físico aumenta a concentração plasmática de opióides endógenos, particularmente de β -endorfina e β -lipotrofina (para revisão, ver Farrell e cols., 1982; Harber e Sutton, 1984; Farrell, 1985). Um aumento significativo nos níveis desses opióides foi observado em humanos 30 minutos após corrida em esteira, utilizando-se de 60% a 80% do $\dot{V}O_2$ máximo (Farrell e cols., 1982). A maioria dos estudos realizados em seres humanos também identificou grandes variações individuais nos níveis desses opióides em resposta ao exercício.

Apesar de o mecanismo de ação desses mediadores associados à realização do exercício não estar completamente elucidado, tem sido sugerido que a ativação do sistema opióide pelo exercício poderia também regular a secreção de vários hormônios (por exemplo, a epinefrina), durante e após a realização do exercício (Farrell e cols., 1986; Thoren e cols., 1990). É interessante observar que o aumento dos níveis plasmáticos de opióides ocorre tanto em indivíduos treinados como em sedentários, e a resposta é maior quanto maior a intensidade do exercício realizado (Farrell e cols., 1987 a, b).

Estudos mais recentes confirmam que o exercício aeróbio submáximo produz analgesia e sugerem que sua aplicação possa ser extremamente útil nas intervenções terapêuticas (Gurevich e cols., 1994; Bartholomew e cols., 1996).

Assim, a realização de um programa prévio de exercícios aeróbios submáximos, que envolvam o recrutamento do maior número possível de unidades motoras, poderia ser utilizada pelo fisioterapeuta com o objetivo de amenizar tanto a possível ocorrência de microlesões no músculo como a sensação de dor produzida pelo exercício excêntrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDER, A. B.; CRAWFORD, G. N. C.; EDWARDS, R. G. "The effect of limitation of movement on longitudinal muscle growth". *Proc. R. Soc. B*, 150: 554-62, 1958.
- ARMSTRONG, R. B.; OLGIVIE, R. W.; SCHWANE, J. A. "Eccentric exercise-induced injury to rat skeletal muscle". *J. Appl. Physiol.*, 54: 80-93, 1983.
- BARTHOLOMEW, J. B.; LEWIS, B. P.; LINDER, D. E.; COOK, D. B. "Post-exercise analgesia: replication and extension". *J. Sports Sci.*, 14(4): 329-34, 1996.
- BLIX, M. "Die Lang und die Spannung des Muskels". *Vierte Abhandlung Skank Arch Physiol.*, 5: 173-206, 1895.
- CLARKSON, P. M. "Eccentric exercise and muscle damage". *Int. J. Sports Med.*, 18 (4): S314-S317, 1997.
- CLARKSON, P. M.; NEWHAM, D. J. "Associations between muscle soreness, damage, and fatigue". *Adv. Exp. Med. Biol.*, 384: 457-69, 1995.
- FARRELL, P. A. "Exercise and endorphins-male responses". *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17(1): 89-93, 1985.
- FARRELL, P. A.; GATES, W. K.; MAKSDUD, M. G.; MORGAN, W. P. "Increases in plasma beta-endorphin/beta-lipotropin immunoreactivity after treadmill running in humans". *J. Appl. Physiol.*, 52(5): 1245-49, 1982.
- FARRELL, P. A.; GUSTAFSON, A. B.; GARTHWAITE, T. L.; KALKHOFF, R. K.; COWLEY, A. W. JR.; MORGAN, W. P. "Influence of endogenous opioids on the response of selected hormones to exercise in humans". *J. Appl. Physiol.*, 61 (3): 1051-7, 1986.
- FARRELL, P. A.; KJAER, M.; BACH, F. W.; GALBO, H. "Beta-endorphin and adrenocorticotropin response to supramaximal treadmill exercise in trained and untrained males". *Acta Physiol. Scand.*, 130(4): 619-25, 1987a.
- FARRELL, P. A.; GUSTAFSON, A. B.; MORGAN, W. P.; PERT, C. B. "Enkephalins, catecholamines, and psychological mood alterations: effects of prolonged exercise". *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19(4): 347-53, 1987b.
- GOLDSPIK, G. "Sarcomere length during post natal growth of mammalian muscle fibres". *J. Cell Sci.*, 3: 539-48, 1968.
- GOLDSPIK, G. "Muscle growth and muscle function: a molecular biological perspective". *Res. Vet. Sci.*, 60(3): 193-204, 1996.
- GORDON, A. M.; HUXLEY, A. E.; JULIAN, F. J. "The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibers". *J. Physiol. (Lond)*, 184: 170-92, 1966.
- GUREVICH, M.; KOHN, P. M.; DAVIS, C. "Exercise-induced analgesia and the role of reactivity in pain sensitivity". *J. Sports Sci.*, 12 (6): 549-59, 1994.
- HARBER, V. J.; SUTTON, J. R. "Endorphins and exercise". *Sports Med.*, 1(2): 154-71, 1984.
- LIEBER, R. L.; THORNEL, L. E.; FRIDEN, J. "Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cyclic eccentric contraction". *J. Appl. Physiol.*, 80(1): 278-84, 1996.
- MAREY, E. "Recherches experimentales sur la morphologie des muscles". *C. R. Hebd. Séanc. Acad. Sci. (Paris)*, 105: 446-51, 1887.
- MILES, M. P.; CLARKSON, P. M. "Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps". *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 34(3): 203-16, 1994.
- MORGAN, W. P. "Affective beneficence of vigorous physical activity". *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17 (1): 94-100, 1985.
- NOSAKA, K.; CLARKSON, P. M. "Influence of previous concentric exercise on eccentric exercise-induced muscle damage". *J. Sports Sci.*, 15 (5): 477-83, 1997.
- SIMPSON, A. H.; WILLIAMS, P. E.; KYBERD, P.; GOLDSPIK, G.; KENWRIGHT, J. "The response of muscle to leg lengthening". *J. Bone Joint Surg. Br.*, 77(4): 30-6, 1995.
- SFORZO, G. A. "Opioids and exercise. An update". *Sports Med.*, 7 (2): 109-24, 1989.
- SCHWARZ, L.; KINDERMANN, W. "Changes in beta-endorphin levels in response to aerobic and anaerobic exercise". *Sports Med.*, 13(1): 25-36, 1992.