

O DESENVOLVIMENTO DA FLEXIBILIDADE: UMA ANÁLISE TEÓRICA DE MECANISMOS NEURAI INTERVENIENTES

Ms. MARCOS BAGRICHEVSKY

Professor do Curso de Educação Física da Unicastelo/SP; Mestre em Educação Física (Unicamp) e
Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Saúde da Criança e do Adolescente pelo Centro de
Investigação em Pediatria (Ciped/FCM/Unicamp)
E-mail: bagrichevsky@hotmail.com

RESUMO

Este artigo objetivou apresentar e discutir os mecanismos reflexos da propriocepção por serem estes subjacentes ao desenvolvimento da flexibilidade. A literatura traz, de forma recorrente, que a melhoria dessa capacidade física é alcançada pela utilização sistemática dos exercícios (técnicas) de alongamento. Buscamos, portanto, elaborar um conjunto de interpretações teóricas de como tais mecanismos neurais podem interferir, especificamente, nas possíveis respostas adaptativas do tecido muscular, considerando a aplicação de três tipos de alongamento.

PALAVRAS-CHAVE: Flexibilidade; propriocepção; alongamento; adaptação muscular.

1. INTRODUÇÃO

A propriocepção pode ser conceituada como um conjunto de mecanismos, o qual nos permite manifestar a capacidade de perceber espacialmente cada segmento corporal em particular ou o corpo como um todo tanto em situações estáticas como nas atividades que demandam movimento (dinâmicas).

O sistema propioceptivo inclui, basicamente, *receptores sensoriais* que detectam e sinalizam as deformações mecânicas que ocorrem nos tecidos muscular e conjuntivo; *fibras aferentes*, responsáveis pela condução dos impulsos sensoriais até à medula; *neurônios distribuidores*, localizados em segmentos medulares e supramedulares, de onde partem os comandos excitatórios e inibitórios endereçados ao músculo; e *fibras eferentes*, que são as condutoras desses comandos (motores) até o músculo (Rothwell, 1994; Enoka, 1994; Kandel et al., 1995).

Experimentos com animais e humanos já evidenciaram que, durante a aplicação sistemática dos estímulos físicos funcionais para desenvolver a flexibilidade – chamados de “alongamentos” –, também acontecem alterações no estado mecânico do músculo e de tecidos adjacentes e, por conseguinte, no padrão de intensidade e frequência da atividade reflexa propioceptiva (Alter, 1996; Krivickas, 2001).

Apesar de tal correlação já estar bem estabelecida em investigações de caráter científico, parece que, na esfera da intervenção profissional, nem sempre esses conhecimentos têm sido devidamente incorporados e correlacionados às situações práticas, que envolvem a escolha das estratégias metodológicas para desenvolver a mobilidade músculo-articular. De fato, não é novidade afirmar que boa parte dos pressupostos relacionados ao treinamento físico de algumas capacidades, incluindo a flexibilidade, ainda se fundamenta sobre bases empíricas.

O panorama traçado impele-me então a recomendar uma apreciação mais detalhada de tais mecanismos neurais (proprioceptivos), uma vez que são eles os potenciais moduladores das respostas adaptativas do tecido músculo-esquelético no treinamento da capacidade muscular em questão.

Mapeado isso, tentarei estabelecer pistas que contribuam para a prescrição mais adequada dos exercícios de alongamento, considerando os diferentes objetivos e contextos para os quais podem ser recomendados.

2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA PROPRIOCEPTIVO

Sherrington (apud Everts, 1981), um dos pioneiros na pesquisa dessa temática, definiu proprioceptores como “receptores profundos que reconhecem as ações do próprio organismo, [...] desde que [...] o estímulo ao receptor seja provocado pelo organismo, [...]”. Por sua vez, Rothwell (1994) e Kandel et al. (1995) acrescentam

que “os órgãos proprioceptivos sinalizam ao sistema nervoso central (SNC) sobre a posição relativa das partes corporais”. Eles informam sobre as mudanças estáticas e dinâmicas de um segmento do corpo em relação a um outro sem, contudo, perceberem a influência da ação da gravidade. Também são capazes de sinalizar as tensões às quais são submetidos músculos e tecidos adjacentes.

Segundo Enoka (1994), a função básica dos receptores sensoriais é prover o sistema nervoso de informações sobre o estado interno das estruturas orgânicas e do ambiente externo. O papel específico desses receptores é converter energia de naturezas diversificadas em impulsos elétricos, processo conhecido como transdução. Tais impulsos são enviados ao SNC para este monitorar o funcionamento de vários sistemas orgânicos, dentre eles, o locomotor (músculo-esquelético).

Os principais parâmetros físicos da atividade muscular, regulados pelo sistema proprioceptivo, são uma modificação do comprimento das fibras e da tensão à qual elas são submetidas, além da velocidade na qual o tamanho dessas fibras se altera (Rothwell, 1994; Enoka, 1994; Kandel et al., 1995).

3. OS PROPRIOCEPTORES MUSCULARES E OS MECANISMOS REFLEXOS

O fuso muscular é um mecanoreceptor de estrutura complexa, com formato fusiforme, situado no perímio muscular e que varia de 0,5 mm a 13 mm de extensão. Compõe-se de quatro a dez fibras musculares intrafusais estriadas (FIF), envolvidas na sua parte mediana por uma cápsula de tecido conectivo, contendo líquido no interior (Wei et al., 1986; Lehmkuhl, Smith, 1987; Hunt, 1990). Essa cápsula isola mecanicamente as fibras intrafusais (FIF) das fibras musculares esqueléticas, também chamadas de extrafusais (FEF).

O fuso é sensível às deformações mecânicas sofridas pelo músculo quanto ao seu comprimento e quanto à velocidade de alteração desse comprimento, atuando como um comparador desses parâmetros, entre ele e as fibras musculares circunjacentes. A terminação primária do receptor sinaliza a velocidade do estiramento e a extensão de suas fibras, enquanto a terminação secundária informa apenas a extensão fusil. Em relação à sua sensibilidade, essa estrutura exhibe tanto propriedades fásicas (terminação Ia), quanto tônicas (terminações Ia e II) (Rothwell, 1994; Kandel et al., 1995; Hunt, 1990).

Ao se submeter a um alongamento, o músculo promove o estiramento do fuso muscular, devido à disposição em paralelo com as FEFs, estimulando, conseqüentemente, as terminações primárias e secundárias. Por contrapartida, quando há contração da musculatura extrafusil, há diminuição ou anulação de tais terminações. Esses receptores controlam tal parâmetro por meio de um meca-

nismo de *feedback*. A estimulação das terminações fusais (*input*) produz um efeito excitatório sobre os neurônios motores alfa na medula, os quais, por sua vez, geram a retroalimentação do sistema, enviando comandos motores (*output*) para que a contração muscular ocorra, reduzindo, dessa forma, o comprimento do músculo estirado e a seqüência de descarga do receptor fusil (reflexo de estiramento ou monossináptico) (Hasan, Stuart, 1988; Hunt, 1990; Rothwell, 1994).

O órgão tendinoso de golgi (OTG) é muito menos complexo que o fuso muscular, formado por delgadas ramificações neurais em forma de ramallete com pequenos botões, encontrado em quase todos os feixes dos músculos esqueléticos. Situa-se tipicamente nas junções miotendinosas das fibras musculares. As terminações Ib de cada receptor estão contidas dentro de uma cápsula fusiforme rodeada por feixes de colágeno. Acredita-se que ele fornece o *feedback* da tensão na regulação reflexa da contração muscular. Apesar de tal parâmetro ser monitorado por esse mecanoreceptor tendinoso, nem todas as fibras musculares possuem-no (Rothwell, 1994; Jami, 1992; Kandel et al., 1995). Sua forma de ativação apresenta maior sensibilidade às forças (tensões) ativas que às passivas.

Os impulsos emitidos pelo OTG são direcionados à medula por meio de axônios aferentes grossos (fibras Ib) de condução rápida. As informações alcançam essa estrutura, excitando os interneurônios inibitórios, que, por sua vez, inibem os neurônios motores alfa do músculo homônimo, o qual se contrai, limitando a força desenvolvida em relação àquela que pode ser tolerada pelos tecidos tensionados (reflexo de estiramento inverso ou tendinoso). Tal atividade pode ser considerada um mecanismo de proteção, limitante do excesso de força exercido contra o tecido muscular.

Durante a seqüência de movimentos articulares, o reflexo tendinoso (Ib) atua em mecanismo combinatório com o reflexo de estiramento (Ia), para a eficiência da atividade muscular¹.

4. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A FLEXIBILIDADE E AS TÉCNICAS DE ALONGAMENTO

O treinamento dessa capacidade tem sido amplamente empregado em campos de atuação diferenciados, demonstrando uma utilidade abrangente. Corroborando essa idéia, vários autores relatam a importância da inclusão de exercícios

1. Para obter mais detalhes sobre o sistema proprioceptivo, consultar, na íntegra, a dissertação de mestrado de Marcos Bagrichevsky intitulada "O papel da propriocepção no desenvolvimento da força muscular e da flexibilidade", defendida na FEF/Unicamp, em 1998.

dessa natureza para a manutenção da aptidão física (Fox, Mathews, 1991; Hamill, 1995; Blair et al., 1994; Esnault et al., 1986; Alter, 1996; Sharkey, 1998), para o desenvolvimento da condição desportiva (Esnault et al., 1986; Alter, 1996; Bompa, 1994; Hamill, 1995; Rosenbaum, Hennig, 1995), para as terapias de reabilitação e para a profilaxia física (Alter, 1996; Knott, Voss, 1968; Hamill, 1995; Rosenbaum, Hennig, 1995; Sullivan et al., 1992).

Alter (1996) e Krivickas (2001) dimensionam flexibilidade como mobilidade articular, liberdade de movimento ou, ainda, amplitude de movimento angular de uma articulação ou de um grupo de articulações. Já Hamill (1995) define-a como a faixa limítrofe do movimento de um segmento e afirma que ela é influenciada, principalmente, pelo tamanho efetivo dos músculos antagonistas e pelo nível de atividade neural do músculo, no momento que está sendo alongado.

A promoção de maiores níveis de flexibilidade ocorre pelo emprego sistematizado de estímulos denominados alongamentos, que são solicitações de aumento da extensibilidade do músculo e de outras estruturas, mantidas por determinado tempo. Os alongamentos baseiam-se no princípio de ativação de fusos musculares e órgãos tendinosos de golgi, sensíveis às alterações no comprimento e velocidade e na tensão dos músculos, respectivamente. Os impulsos desses receptores provocam respostas reflexas, que por sua vez induzem adaptações nas unidades musculotendíneas, as quais são benéficas para o ganho da mobilidade articular (Magnusson et al., 1996).

A flexibilidade tem sido caracterizada na literatura de duas maneiras: *estática* (manutenção de determinada faixa de alongamento, durante mais de cinco segundos, alcançada após lenta condução do músculo até o ponto especificado) e *dinâmica* ou *balística* (amplitude muscular aferida em movimento contínuo) (Alter, 1996; Sharkey, 1998; Blair et al., 1994).

As principais técnicas de desenvolvimento dessa capacidade abordadas na literatura (Alter, 1996; Barbanti, 1996; Blair et al., 1994; Moore, Hutton, 1980; Magnusson et al., 1996; Osternig et al., 1990; Sharkey, 1998; Sullivan et al., 1992; Esnault et al., 1986; Knott, Voss, 1968; Hamill, 1995) são:

- *alongamento ativo* – É estabelecido pela atividade muscular do próprio indivíduo envolvido na ação, sem ajuda externa (Figura 1a);
- *alongamento passivo* – Não ocorre contribuição ou contração ativa do sujeito submetido à ação, ou seja, o alongamento é totalmente promovido por forças externas, através do auxílio de um parceiro ou de um equipamento mecânico (Figura 1b);

- *facilitação neuromuscular proprioceptiva (fnp)* – Consiste basicamente de um processo seqüencial, iniciado por um alongamento passivo estático, seguido de uma contração isométrica de seis a dez segundos do músculo que é mantido alongado, e, imediatamente após, aplica-se outro alongamento assistido de maior amplitude que o primeiro. Abrange também outras variações, associando, alternadamente, contrações excêntricas, concêntricas e isométricas durante a estimulação de músculos agonistas e antagonistas. Segundo os autores citados no parágrafo anterior, tal técnica é baseada em importantes mecanismos neurofisiológicos, que incluem facilitação e inibição, resistência, irradiação, indução e reflexos. Knott e Voss (1968) concebem-na como um método que “promove ou ativa os mecanismos neuromusculares através da estimulação dos proprioceptores” (Figura 1c).

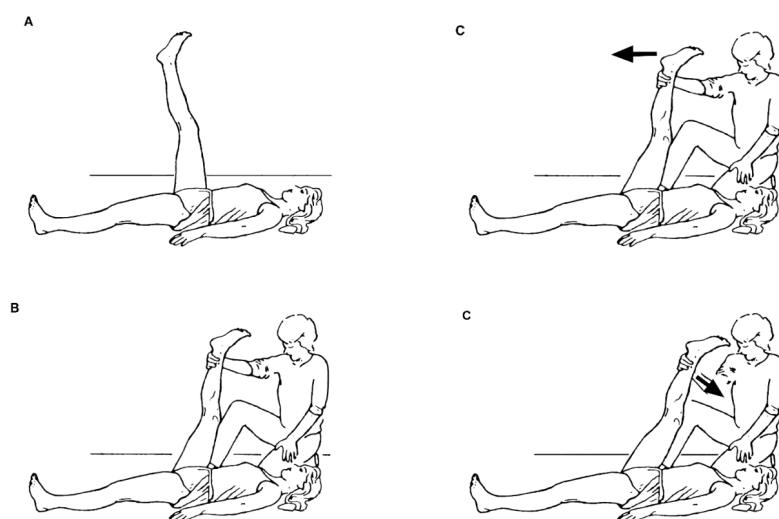


FIGURA 1 – As técnicas de alongamento: a) ativo; b) passivo; c) FNP
(modificado de Enoka, 1994 e Alter, 1996)

Em relação as técnicas descritas, é prudente e necessário afirmar que todas elas geram algum tipo de estimulação nos proprioceptores. Etnyre e Abraham (1986) confirmam tal argumento, ao revelarem que as influências neurais homônimas (relativas ao próprio músculo) e recíprocas (relativas ao músculo antagonista) de receptores fusais e tendíneos são habitualmente identificadas em todos os métodos

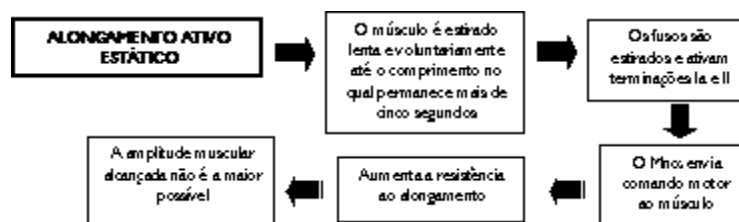
de alongamento conhecidos. Em nosso ponto de vista, parece que a FNP é a que mais potencializa essas ações reflexas, devido às formas combinadas de solicitação funcional, supostamente mais adequadas.

Fox e Mathews (1991), Manno e Nicolini (1987), Blair et al. (1994) comentam que no alongamento estático ocorre maior possibilidade de aumento do número de sarcômeros em série e, conseqüentemente, do comprimento muscular, devido ao maior tempo de exposição às tensões geradas no grau específico do estiramento, que se mantêm constante. Os mesmos autores preconizam também que, no alongamento balístico, a forma abrupta de solicitação muscular provocada pelo estiramento dinâmico ativa mais intensamente os fusos e, minimamente, os órgãos tendinosos. Com isso, estimula-se a contração dos músculos alongados, o que acarreta maior resistência na extensibilidade e provável aumento na dor durante o estímulo.

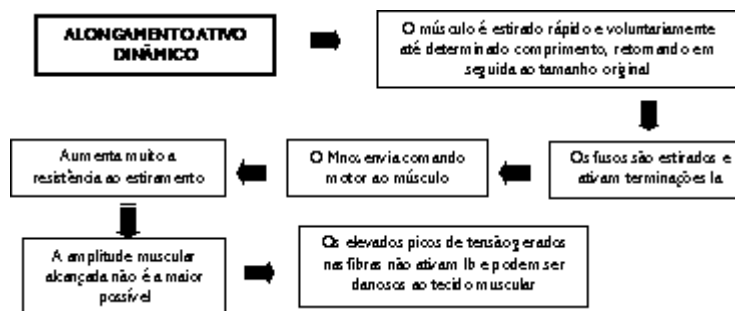
5. ANÁLISE RELACIONAL ENTRE AS TÉCNICAS DE ALONGAMENTO E OS MECANISMOS PROPRIOCEPTIVOS

Intenciono apresentar uma abordagem que tenta elucidar como cada estratégia de alongamento potencializa as respostas neurais proprioceptivas, as quais interferem nas propriedades musculares relacionadas ao aumento da flexibilidade. Essa descrição esquemática teórica observa a atividade reflexa das terminações Ia e Ib, ante as “manobras” metodológicas das técnicas de alongamento, já apresentadas e descritas (Figuras 1a, 1b e 1c).

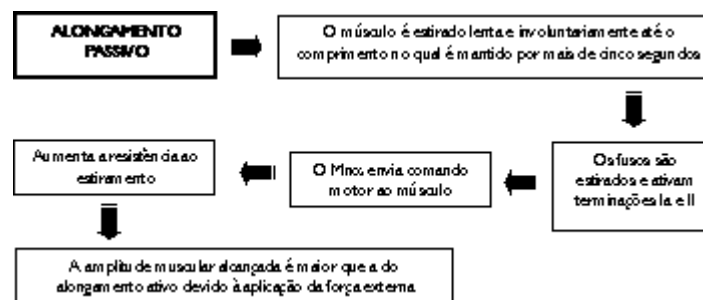
QUADRO 1 – ATIVIDADE NEUROMUSCULAR NO ALONGAMENTO ATIVO ESTÁTICO



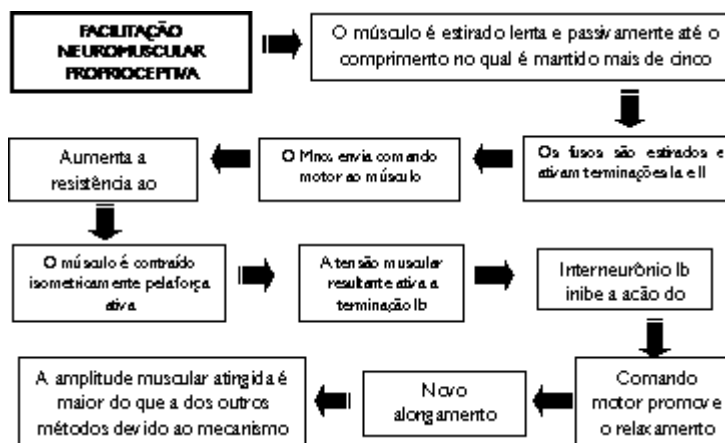
QUADRO 2 – ATIVIDADE NEUROMUSCULAR NO ALONGAMENTO ATIVO DINÂMICO



QUADRO 3 – ATIVIDADE NEUROMUSCULAR NO ALONGAMENTO PASSIVO



QUADRO 4 – ATIVIDADE NEUROMUSCULAR NO MÉTODO FN.P.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados levantados no trabalho permitem deduzir que, com o conhecimento a respeito da mediação dos reflexos proprioceptivos, durante as solicitações mecânicas do tecido muscular, a partir da aplicação dos diferentes métodos de alongamento, é possível interferir no processo de *inibição reflexa* do músculo, minimizando-o.

Esse fato, por sua vez, é crucial para a maximização das respostas adaptativas musculares desejáveis e dos ganhos específicos à capacidade, pois potencializa o aumento da amplitude articular através do incremento da extensibilidade do músculo e do número de sarcômeros em série e do relaxamento das fibras esqueléticas.

O emprego combinado dos vários tipos de alongamento pode produzir excelentes resultados para os grupos ou indivíduos que requisitam o envolvimento da flexibilidade em suas atividades, desde que os parâmetros metodológicos das técnicas escolhidas sejam ajustados aos praticantes.

A questão tratada no texto é bem específica e faz parte de um amplo conjunto de fatores, que constituem a complexa problemática relacionada ao modo seguro de prescrever exercícios de alongamento, ao mesmo tempo em que se consiga obter as respostas fisiológicas mais otimizadas, em termos da capacidade física em questão. Nessa perspectiva, outros aspectos também necessitam de maior número de pesquisas, como o tempo (duração) e o nível de esforço (intensidade) adequados em cada alongamento, bem como o número de vezes (séries) recomendado em cada sessão de treino.

É certo que as dúvidas em torno da prescrição do alongamento nos vários contextos de aplicação desse tipo de trabalho muscular não foram esgotadas por este estudo. Além disso, ao apresentar e conceituar os fenômenos neurais da propriocepção e princípios metodológicos das intervenções práticas para aprimoramento da flexibilidade (buscando correlacioná-los), objetivei construir uma abordagem que atentasse para além dos aspectos empíricos, que parecem ainda estar norteados parte do universo de profissionais da educação física e outras áreas ligadas à saúde que utilizam esse tipo de exercício em seu cotidiano.

The flexibility development: the theoretical analysis of intervenient neural mechanisms

ABSTRACT: This article aimed to present and discuss the reflex mechanisms of proprioception, because they are subjacent to the flexibility development. The literature informs that the improvement of this physical capacity occurs by stretching exercises. So we tried to elaborate an assemblage of theoretical interpretations, of how the neural mechanisms can interfere in the possible adaptive answers of muscular tissue, taking into consideration the use of three different kinds of stretching exercises.

KEY-WORDS: Flexibility; proprioception; stretching; muscular adaptation.

Desarrollo de la flexibilidad: Un análisis teórico de los mecanismos neurales intervinientes

RESUMEN: Este artículo objetivó presentar y discutir los mecanismos reflejos de la propiocepción, por ser estos subyacentes al desarrollo de la flexibilidad. La literatura trae, repetidamente, que la mejora de esa capacidad física es alcanzada por la utilización sistemática de los ejercicios (técnicas) de elongaciones. Buscamos, por lo tanto, elaborar un conjunto de interpretaciones teóricas de cómo tales mecanismos neurales pueden interferir, específicamente, en las posibles respuestas adaptativas del tejido muscular, considerando la aplicación de tres tipos de elongaciones.

PALABRAS CLAVE: Flexibilidad; propiocepción; elongaciones; adaptación muscular.

REFERÊNCIAS

- ALTER, M. J. *Science of stretching*. 4. ed. Champaign: Human Kinetics. 1996. 392p.
- BARBANTI, V. J. *Treinamento físico: bases científicas*. 3. ed. São Paulo: CLR Balieiro. 1996. 116p.
- BLAIR, S. N.; PAINTER, P. et al. *Prova de esforço e prescrição de exercício*. Rio de Janeiro: Revinter, 1994. 431p.
- BOMPA, T. O. *Theory and methodology of training*. 3. ed. Dubuque: Kendall/Hunt, 1994, 373p.
- BOSSAVIT, G. H-; JAMI, L. et al. Activation of golgi tendon organs by asynchronous contractions of motor units in cat leg muscles. *Neuroscience Letters*, v. 103, p. 44-49, 1989.
- ENOKA, R. M. *Neuromechanical basis of kinesiology*. 2. ed. Champaign: Human Kinetics. 1994. 336p.
- ESNAULT, M.; VIEL, E.; HARICHAUX, P. La pratique du "stretching", ou étirements raisonnés myo-tendineux et aponévrotiques, neuro-physiologie, anatomie et méthodologie. *Cinesiologie*, v. 25, n. 106, p.137-146, 1986.

- ETNYRE, B. R.; ABRAHAM, L. D. H-. Reflex changes during static stretching and two variations of proprioceptive neuromuscular facilitation techniques. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, v. 63, p. 174-179, 1986.
- EVARTS, E. V. Sherrington's concept of proprioception. *Trends in Neuroscience*, v. 4, p. 44-46, 1981.
- FOX, E. L.; MATHEWS, D. K. *Bases fisiológicas da educação física e dos desportos*. 5. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1991. 488p.
- GREGORY, J. E.; MORGAN, D. L.; PROSKE, U. The discharge of cat tendon organs during unloading contractions. *Experimental Brain Research*, v. 61, p. 222-226, 1986.
- HAMILL, J. Neurological considerations for movement. In: HAMILL, J. *Biomechanical basis of human movement*. Baltimore: Williams e Wilkins. p. 11-137, 1995.
- HASAN, Z.; STUART, D. G. Animal solutions to problems of movements control: the role of proprioceptors. *Annual Reviews of Neuroscience*, v. 11, p. 199-223, 1988.
- HUNT, C. C. Mammalian muscle spindle: peripheral mechanisms. *Physiological Reviews*, v. 70, n. 3, p. 643-663, 1990.
- JAMI, L. Golgi tendon organs in mammalian skeletal muscle: functional properties and central actions. *Physiological Reviews*, v. 72, n. 3, p. 623-666, 1992.
- KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSEL, T. M. *Essentials of neural science and behavior*. Stamford: Appleton e Lange, 1995, 717p.
- KNOTT, M.; VOSS, D. E. *Facilitación neuromuscular propioceptiva*. Buenos Aires: Panamericana, 1968, 413p.
- KRIVICKAS, L. S. Treinamento de flexibilidade. In: FRONTERA, W.R.; DAWSON, D.M.; SLOVIK, D.M. *Exercício físico e reabilitação*. São Paulo: Artmed. p. 95-112, 2001.
- LEHMKUHL, L. D.; SMITH, L. K. Alguns aspectos da fisiologia e neurofisiologia muscular. In: LEHMKUHL, L. D.; SMITH, L. K. *Cinesiologia clínica*. São Paulo: Manole, p. 95-115, 1987.
- MAGNUSSON, S. P.; SIMONSEN, E.B. et al. A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *Journal of Physiology*, v. 497, n. 1, p. 291-298, 1996.
- MOORE, M. A.; HUTTON, R. S. Electromyographic investigation of muscle stretching techniques. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, v. 12, n. 5, p. 322-329, 1980.
- OSTERNIG, L. R.; ROBERTSON, R. N. et al. Differential responses to proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretch techniques. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, v. 22, n. 1, p. 106-111, 1990.

ROSENBAUM, D.; HENNIG, E. M. The influence of stretching and warm-up exercises on Achilles tendon reflex activity. *Journal of Sports Sciences*, v. 13, p. 481-490, 1995.

ROTHWELL, J. *Control of human voluntary movement*. 2. ed. London: Chapman e Hall, 1994, 502p.

SHARKEY, B. J. *Condicionamento físico e saúde*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed Sul, 1998, 397p.

SOUZA, M. B. *O papel da propriocepção no desenvolvimento da força muscular e da flexibilidade*. 125p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

SULLIVAN, M. K.; DEJULIA, J. J.; WORRELL, T. W. Effect of pelvic position and stretching method on hamstring muscle flexibility. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, v. 24, n. 12, p. 1383-1389, 1992.

WEI, J. Y.; KRIPKE, B. R.; BURGESS, P. R. Classification of muscle spindle receptors. *Brain Research*, v. 370, p. 119-126, 1986.

Recebido: 15 jun. 2002

Aprovado: 10 jul. 2002

Endereço para correspondência

Rua Adolfo Caminha, 104

Jardim Santa Genebra

Campinas – São Paulo

CEP 13080-390