

Artigo original

Lesão traumática e déficit elástico muscular

Traumatic lesion and muscular elastic deficit

Gian Nicola Bisciotti*, Nilton Petrone Vilardi Jr**, Eliane Fátima Manfio***

.....

PhD, Departamento de Treinamento e Performance, Faculdade de Ciências do Esporte, Universidade de Claude Bernard, Lyon (França), Escola Universitária de Ciência Motora, Torino (Itália), Consultor Científico da Internazionale de Milão (Itália), **Diretor do curso de Fisioterapia da Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, Fisioterapeuta da Internazionale de Milão (Itália), *Coordenadora do Laboratório de Biomecânica da Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro*

Palavras-chave:

lesão, músculo,
energia elástica, força.

Resumo

Na análise de um movimento com uma fase de pré-estiramento (excêntrico), quando comparado com um movimento sem uma fase de pré-estiramento (puramente concêntrico), verifica-se que ocorre uma modificação, do ponto de vista temporal, nos parâmetros de força, velocidade e potência do movimento, modificando positivamente a totalidade dos parâmetros biomecânicos deste movimento. Observa-se que, devido aos fenômenos ligados a energia elástica, ocorre modificações das características mecânicas da Unidade Músculo-Tendínea, ao nível da força, onde no início da fase concêntrica do movimento com pré-estiramento, a força é significativamente maior do que no início do mesmo tipo de movimento executado sem pré-estiramento. Conseqüentemente consegue-se um aumento na velocidade e uma potência inicial maior. Verifica-se um aumento significativo na potência média do movimento executado com pré-estiramento, sendo que os valores da potência máxima não diferem estatisticamente. Com um

Artigo recebido em 2 de julho de 2002; aprovado em 15 de julho de 2002.

Endereço para correspondência: Eliane Fátima Manfio, Laboratório de Biomecânica – LABBIO, Universidade Estácio de Sá – UNESA, Av. Prefeito Dulcídio Cardoso, 2900, Barra da Tijuca - 22631-052 Rio de Janeiro – RJ, Tel: (21) 3089-5012, E-mail: labbiobarra@estacio.br

continuo e sistemático monitoramento das características essenciais do movimento, tais como a força, a velocidade de contração e a produção de potência, e das características elásticas do músculo lesionado, contribui para a obtenção de informações importantes e indispensáveis para garantir a eficiência de qualquer protocolo fisioterapêutico de reabilitação. A possibilidade de utilizar um equipamento específico, com um simples protocolo de teste, podendo obter dados fidedignos e precisos, contribui para diferenciar o empirismo da rigorosidade científica.

Abstract

In an analysis of a movement with a pre-stretchiness phase (eccentric) when compared to a movement with no pre-stretchiness (concentric), we can notice that there is a change, from the temporal point of view, in the force, speed and power parameters of the movement, changing positively the biomechanic parameters totality of this movement. It can be noticed, due to the phenomena linked to the elastic energy, that there is a change in the mechanic characteristics of the muscle-tendon unit, in terms of force, when in the beginning of the concentric phase of a movement with pre-stretchiness, the force is significantly higher than in the beginning of a similar movement without pre-stretchiness. Consequently there is an increase of the speed and an initial higher power. It can be noticed a significant increase in the average power of the movement with pre-stretchiness, and the values of the maximum power are statistically similar. The continuous and systematic monitoring of the essential characteristics of the movement, such as force, contraction speed and power production, as well as elastic characteristics of the injured muscle, are important and essential to guarantee the efficacy any physiotherapeutic protocol of rehabilitation. A possibility to use specific equipment with simple test protocol, obtaining precise data, to contribute differentiate the empiricism form scientific accuracy.

Key-words:

injure, muscle, elastic energy, force.

.....

Introdução

A elasticidade é definida como a propriedade do corpo de suportar uma deformação através de uma solicitação externa, e de retornar, ao menos parcialmente, a forma e o volume inicial, ao término desta solicitação. O músculo humano possui notável propriedade elástica: na fase concêntrica do movimento, o músculo armazena energia elástica, que depois é restituída sobre forma de trabalho mecânico, na sucessiva fase excêntrica.

Na análise do comportamento muscular, efetuada através da adoção de um modelo mecânico com três componentes [13, 20], o papel de estocagem e restituição da energia elástica, durante um movimento que comporta uma fase de alongamento muscular, imediatamente seguida de uma fase de encurtamento, a qual devemos atribuir ao elemento elástico em série (SEC). Do ponto de vista anatômico, é identificável essencialmente no tendão (parte passiva), a responsabilidade de estocar 72% da energia elástica total e na parte ativa do músculo, principalmente na porção S2 da cabeça miosinica, armazena o restante, ou seja, 28% da energia elástica total. Sempre no âmbito do mesmo modelo muscular, o papel de gerador de força é ao invés atribuído ao componente contrátil (CC), identificável anatomicamente ao nível das pontes de actino-miosina. Assim, durante a fase excêntrica da corrida, por exemplo, o tendão de Aquiles é alongado em cerca de 6%, igual à cerca de 1,5 cm em relação ao seu comprimento inicial, e restitui cerca de 90% da energia elástica potencial armazenada, sob a forma de trabalho mecânico, na sucessiva fase concêntrica do movimento.

Portanto, o rendimento muscular passa de 25% a 40%, a energia elástica constitui assim, efetivamente, energia metabolicamente gratuita e por este motivo tem um papel essencial, na potencialização ou na economia do gesto. A economia metabólica, devido ao acúmulo e a conseqüente restituição de energia elástica, têm por base o fato que parte do trabalho positivo, resulta no desenvolvimento de energia elástica

armazenada nos elementos elásticos e também na diminuição da velocidade de encurtamento (durante a fase positiva de trabalho muscular), reduzindo assim a despesa energética [11]. Ao contrário, em um trabalho muscular que não realize uma fase de alongamento anteriormente, a energia necessária à realização do trabalho positivo, provém essencialmente da transformação de energia química ao nível do componente contrátil do mesmo músculo. Todavia é interessante notar que esta economia energética seria redimensionada se considerássemos o efetivo custo da fase de trabalho excêntrico [11].

É importante salientar que alguns autores atribuem ao aumento de trabalho concêntrico, obtido imediatamente depois de uma fase excêntrica, o fato que esta última provoca um incremento da rigidez do complexo músculo-tendineo, que de tal modo, consegue transmitir na fase inicial da contração concêntrica, mais eficazmente a força [11,29]. Além disso, a fase excêntrica inicial, permitiria ao componente contrátil de trabalhar na porção excêntrica da relação força-velocidade [13].

O potenciamento da fase concêntrica concorreria também, com a ação do reflexo miotático de estiramento, que se manifestaria depois de cerca de 40 – 70 ms do início da fase de pré-estiramento [21,17,12,24]. Em todo caso, o fato de executar um movimento através de um ciclo estiramento-encurtamento (SSC), obtêm-se como resultado um aumento da força, da velocidade e da potência expressa durante a fase concêntrica do mesmo. O aumento destes três parâmetros é em ultima análise o verdadeiro significado do termo “restituição de energia elástica”.

Como resultado de uma prévia fase de alongamento muscular, verificaremos um aumento da ativação neuromuscular, devido ao aumento do número de ligações ativas ao nível das pontes de actino-miosina, fator que determinaria um aumento dos valores de força registrados no início da fase de contração do movimento [4, 5, 11].

Todavia, a intervenção da restituição de energia elástica, influenciará o andamento da produção de força, velocidade e potência somente durante a primeira parte da fase

concêntrica do movimento [4, 30]. Além disso, é interessante notar que os valores da potência máxima alcançada em um movimento efetuado em uma fase SSC, não diferem estatisticamente do valor de potencia máxima registrado durante a execução do mesmo movimento, executado sem uma fase de estiramento. Efetivamente somente a potência média do movimento tem um resultado maior em um movimento executado em SSC, se confrontarmos com o mesmo, sendo executado em um ciclo puramente concêntrico, este graças ao aumento da produção de potência na primeira parte da fase concêntrica [4]. Em conclusão, o potenciamento da fase concêntrica de um movimento, devido ao efeito de uma precedente condição de pré-estiramento, poderia ser imputado ao fenômeno ligado ao acúmulo e restituição da energia elástica da parte do SSC ou a fatores concernentes a otimização da característica mecânica da unidade músculo tendínea (UMT). Ambos, estes parâmetros obtidos como resultado ao aumento do nível de força, que tem início na fase concêntrica, fator que por sua vez influencia positivamente os outros parâmetros biomecânicos relativos à fase de impulso. Todos estes aspectos são, entretanto, caracterizados por uma forte transitoriedade, que se traduz em uma modificação limitada, do ponto de vista temporal, dos parâmetros de força, velocidade e potência, do movimento considerado, modificando positivamente a totalidade dos parâmetros biomecânicos do mesmo movimento.

Assim podemos afirmar, que o comportamento elástico do músculo não é em última análise uma “estratégia comportamental” ao aumento de energia do músculo, mas o resultado muito eficaz afim de aumentar, nem que transitoriamente, a produção de potência, melhorando assim, a sensibilidade ao rendimento muscular. A figura 1 esclarece este efeito de “transitoriedade” na modificação dos parâmetros biomecânicos do movimento (força, velocidade e potência do mesmo movimento), devido à restituição de energia elástica.

Na figura 1, é possível observar o comportamento da produção de força durante

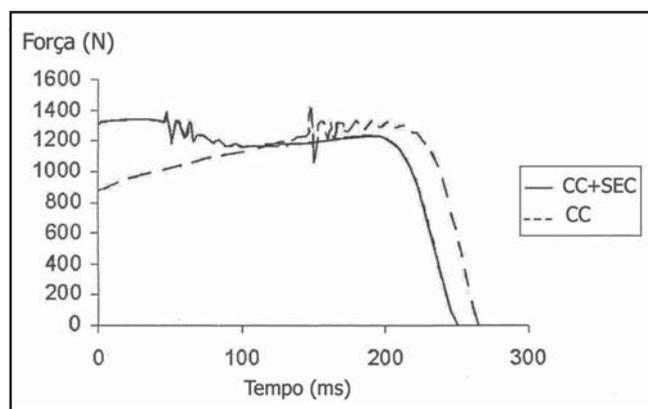


Fig. 1- Comportamento da força durante o movimento de extensão da perna com pré-estiramento (CC+SEC) e sem pré-estiramento (CC).

a fase concêntrica de um movimento de extensão da perna. A curva CC se refere ao movimento efetuado sem uma preventiva fase excêntrica de alongamento (pré-estiramento), onde a força é produzida essencialmente pelo componente contrátil. Ao contrário, a curva CC+SEC é referente ao mesmo tipo de movimento efetuado, porém com a existência da fase inicial de pré-estiramento. Podemos observar que, devido aos fenômenos ligados à energia elástica ocorre modificações das características mecânicas da UMT, ao nível da força, onde no início da fase concêntrica do movimento da curva CC+SEC (com pré-estiramento), a força é significativamente maior do que no início do mesmo tipo de movimento executado sem uma fase de pré-estiramento (curva CC).

Conseqüentemente, consegue-se um maior aumento na velocidade do movimento, evidenciado, sobretudo, maior inclinação da curva de velocidade do movimento CC+SEC em relação à curva do movimento CC (figura 2). O aumento dos valores de força e velocidade permite, como era de se esperar, um aumento da potência desenvolvida no mesmo movimento. Observando as duas curvas de potência, na figura 3, é interessante notar como as duas curvas diferem somente na parte inicial do movimento. A inclinação da curva CC+SEC se apresenta efetivamente mais íngreme comparada à curva CC, determinando deste modo uma potência inicial maior, desenvolvida durante a fase concêntrica de um movimento com fase de pré-estiramento.

Todavia, observa-se que o pico de potência dos dois tipos de movimento não difere, determinando de certa forma que o efeito potenciativo da fase de pré-estiramento se exaure na primeira parte (cerca de 100 ms) da fase concêntrica do movimento [4, 30].

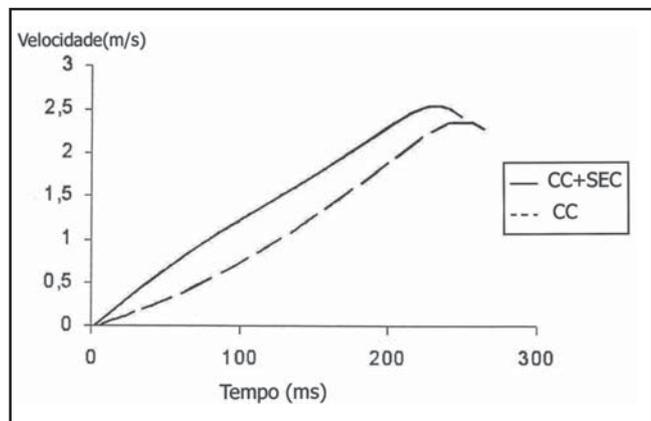


Fig. 2 - Comportamento da velocidade durante o movimento de extensão da perna com pré-estiramento (CC+SEC) e sem pré-estiramento (CC).

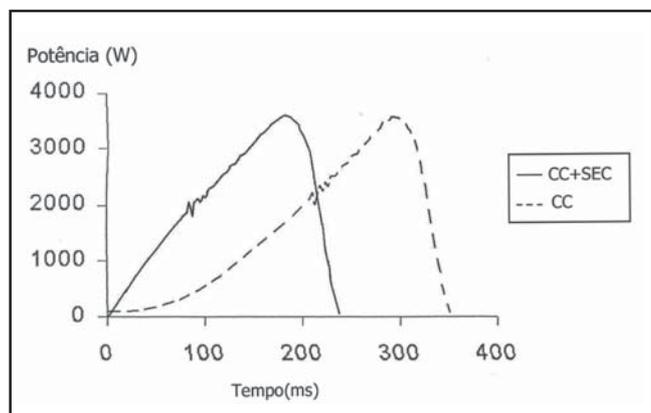


Fig. 3 - Comportamento da potência durante o movimento de extensão da perna com pré-estiramento (CC+SEC) e sem pré-estiramento (CC).

O papel de “proteção” da elasticidade músculo-tendinea

Vários estudos demonstram que durante um movimento balístico com uma fase de alongamento-encurtamento, a restituição de energia elástica acumulada durante a fase excêntrica, tem a possibilidade de deslocar a relação força-velocidade para cima e em

direção à direita. Em outras palavras, a intervenção da energia elástica restituída da SEC, permitiria ao músculo gerar, em uma velocidade de contração elevada, uma força muito superior aquela que ele poderia realizar, nas mesmas condições, só com o componente contrátil [3,28,6,30].

Além deste papel de “potenciamento” da produção de força, que devemos considerar, visto que o papel de estocagem da energia potencial pode ser da ordem de 40-60 joules por grupos musculares em condição de contração máxima, o elemento elástico em série (SEC) desenvolve também um papel de proteção, nos confrontos da estrutura articular e periarticular, em caso de brusca e repentina contração muscular (Figura 4) [8]. Desta forma, é interessante recordar como alguns atletas, por exemplo, os jogadores de futebol, que realizam trabalhos em terrenos mórvidos, que limitam fortemente a estocagem e a restituição de energia elástica da parte do SEC, podem registrar a perda das características elásticas musculares, que expõem a um risco maior de lesão em caso de eventos do tipo traumático [7] e principalmente na fase excêntrica do movimento [1,16].

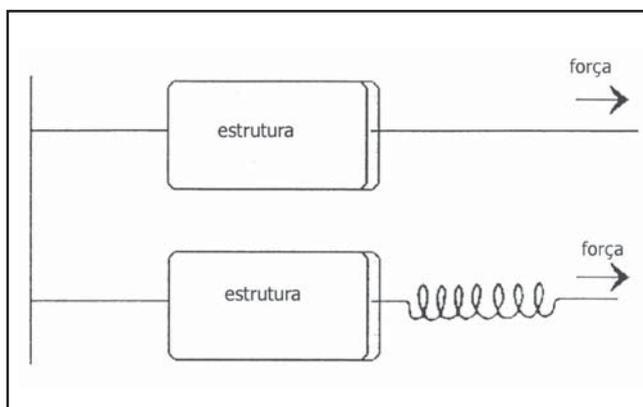


Fig. 4 - A interposição de uma mola longa com um cabo vinculado a uma estrutura, na qual uma força é aplicada de modo repentino, desenvolvendo um papel de “amortecedor”, que é capaz de preservar de possíveis danos à mesma estrutura. No âmbito biológico, a componente elástica em série, também desenvolve este segundo papel, além disso, a estocagem e restituição de energia elástica para as estruturas articulares e periarticulares.

O trauma e a perda da característica mecânica do músculo

Após um trauma é possível registrar toda a série de eventos a nível muscular que possam ser substancialmente reconduzidos a uma degeneração da fibra muscular, caracterizada por destruição miofibrilar associada a um dano, a nível mitocondrial ou do retículo sarcoplasmático [9]. Além disso, neste estado de alteração da ultraestrutura muscular, podemos também verificar uma interrupção na continuidade do sarcolema [10]. A perda da integridade do sarcolema, unida ao dano do retículo sarcoplasmático, pode levar a uma elevação da concentração intracelular de Ca^{++} . A conseqüente alteração na capacidade de bombear Ca^{++} do sarcoplasma, comprometeria a homeostase do mesmo Ca^{++} , que teria como conseqüência uma contração não controlada dos sarcomeros [2, 27].

A força mecânica, causada por esta cadeia de eventos, que permanece ao nível da miofibrila após o trauma, poderia levar a um agravamento do dano estrutural súbito do componente contrátil [2].

Neste caso em que o dano do tecido muscular é de uma certa severidade, os sintomas clínicos encontrados referem-se a uma intensa sintomatologia mais ou menos dolorosa, em caso de alongamento passivo ou de contração ativa, edema, resposta inflamatória ou edematosa no interior do tecido muscular, diminuição da capacidade de força referente à região muscular acometida e alteração dos esquemas propriocetivos. Parece então, claro a exigência do controle durante a fase fisiote-

rápica da reabilitação do comportamento mecânico do músculo acometido, tendo como segundo termo de comparação o comportamento mecânico da musculatura do lado sadio.

A possibilidade de quantificar em que medida o trauma tenha diminuído a capacidade elástica da musculatura acometida, é um importante instrumento de parâmetros corretos para a alta do paciente. A importância na recuperação da característica elástica do músculo acometido é determinada pelo fato que no homem, assim como em outros animais, um movimento comporta uma ativação muscular puramente do tipo isométrico, excêntrico ou puramente concêntrico. A maior parte dos movimentos humanos, é caracterizada de uma ativação muscular que comporta uma fase de contração muscular do tipo excêntrica, imediatamente seguida de uma fase concêntrica. A situação mais típica é representada pela corrida, onde a primeira fase de impulso (contração concêntrica), os músculos extensores são contraídos, mas logo depois serão alongados, porque o centro de gravidade sobe durante a



Fig. 5 - Parâmetros biomecânicos do movimento de extensão da perna, efetuado em cadeia cinética aberta (leg extension), do segmento normal, não lesionado (A) e do segmento lesionado (B).

fase de contato, ocorrendo então uma desaceleração para baixo e para frente.

Como quantificar a característica elástica muscular através do teste de elasticidade

Na quantificação da característica elástica muscular, devemos primeiramente nos deter ao melhor posicionamento, que poderá ser em cadeia cinética aberta ou fechada, apropriado à ação biomecânica da musculatura acometida. O mesmo movimento deve ser executado pelo paciente, sem solução de continuidade, através de duas modalidades: o primeiro movimento deve ser efetuado partindo de uma posição estática, fazendo intervir então na produção de força somente o componente contrátil (CC). Ao final do primeiro movimento, o paciente continua a executar uma série de movimentos idênticos ao primeiro, mas efetuados agora devido ao ciclo estiramento-encurtamento (CC+SEC). Os parâmetros biomecânicos do exercício serão registrados em tempo real com um aparelho específico (*Real Power Total Rehabilitation*), através do qual é possível calcular os componentes da produção de força, potência e velocidade relativos a primeira fase da curva (normalmente os primeiros 100 ms), pelo que resguarda o movimento executado com a partida estática (CC), ou pelo melhor movimento executado na modalidade estiramento-encurtamento (CC+SEC). A diferença entre os vários valores permite calcular o aumento de força contrátil, da velocidade de contração e da produção de potência, devido à fase de pré-estiramento e depois em última análise, quantificar a característica elástica da musculatura do lado lesionado e do lado contralateral normal. Na figura 5, podemos observar a diminuição da velocidade de contração (4,7% lesionado e 22,7% não lesionado), da força contrátil (2,4% lesionado e 11,4% não lesionado) e da produção de potência (7,1% lesionado e 28,6% não lesionado) no segmento lesionado em comparação com o segmento não lesionado, nos dois tipos de movimentos testados (CC e CC+SEC). Trata-se de um quadro clássico pós-traumático (reconstrução de LCA -90 dias), que demonstra a importante perda das

características elásticas da musculatura extensora do segmento inferior após a lesão e a cirurgia de reconstrução do LCA.

Conclusão

O contínuo e sistemático monitoramento das características essenciais do movimento, tais como a força, a velocidade de contração e a produção de potência, e das características elásticas do músculo lesionado, contribui para a obtenção de informações importantes e indispensáveis para garantir a eficiência de qualquer protocolo fisioterapêutico de reabilitação. A possibilidade de utilizar um equipamento específico, com um simples protocolo de teste, podendo obter dados fidedignos e precisos, contribui para diferenciar o empirismo da rigorosidade científica.

Referências

1. Armstrong RB. Initial events in exercise induced muscular injury. *Med. Sci. Sports Exerc* 1990;22:429- 437.
2. Armstrong RB, Warren GL, Warren A. Mechanism of exercise induced fiber injury. *Sports Med* 1991;12:184-207.
3. Asmussen E, Bonde, Petersen F. Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand* 1974;91:385-392.
4. Bisciotti GN, Combi F, Forloni F. Per ritrovare la funzionalità. *Sport e Medicina* 2000;6:43-47.
5. Bobbert MF, Gerritsen KGM, Litjensen MCA, Vansoets AJ. Why is countermovement jump height greater than squat jump height. *Medicine & Science in Sport & Exercise* 1996;28 (11):1402-1412.
6. Bosco C. Elasticità muscolare e forza esplosiva nelle attività fisico sportive. *Società Stampa Sportiva*, 1985, Roma. pp. 11-47, 135 p.
7. Bosco C. La forza muscolare aspetti fisiologici ed applicazioni pratiche. *Società Stampa Sportiva*, Roma, 1997.
8. Bouisset S, Maton B. *Muscles, postures et mouvement*. Hermann Editeurs des Sciences et des Arts, Paris, 1995.

9. Byrd S. Alterations in the sarcoplasmic reticulum: a possible link to exercise-induced muscle damage. *Med. Sci. Sports Exerc* 1992;24:531-536.
 10. Carlson BM, Faulkner JA. The regeneration of skeletal muscle fibers following injury: a review. *Med. Sci. Sports Exerc* 1983;15:187-198.
 11. Cavagna GA, Komarek L, Citterio G, Margaria R. Power output of the previously stretched muscle. *Medicine and Sport* 1971;6: Biomechanics II: 159-167.
 12. Chan CWY, Keamey RE, Melville-Jones G. Electromyographic responses to sudden ankle displacement in normal and parkinsonian subjects. *Soc Neurosci* 1978; Abst. 4:292.
 13. Chapman AE. The mechanical properties of human muscle. *Exercise and Sport Science Reviews* 1985;13:443-501.
 14. Chapman AE, Caldwell GE. The use of muscle stretch in inertial loading. *Biomechanics IX-A*, Champaign, Illinois, Human Kinetics, pp 44-49, 1985.
 15. Garret WE, Rich FR, Nikolaou PK, Vogler JB. III. Computed tomography of hamstring muscle strains. *Med. Sci. Sports Exerc* 1989; 21:506-514.
 16. Garret WE. Muscle strain injury: clinical and basic aspects. *Med. Sci. Sports Exerc* 1990; 22: 439-443.
 17. Gottlieb GL, Agarwal GC. Response to sudden torques about ankle in man: myotatic reflex. *J Neurophysiol* 1979; 42:91-106.
 18. Goubel F. Muscle mechanics. *Med Sport Sci Series* 1987;26:24-35.
 19. Herring SA. Rehabilitation of muscle injuries. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 22:453-456.
 20. Huijing PA. Mechanical muscle models. In Komi PV (eds). *Strength power Blackwell Science*, Oxford, pp 130-150, 1992.
 21. Iles JF. Reponse in human pretibial muscles to sudden stretch and to nerve stimulation. *Exp Brain Res* 1977;30:451-470.
 22. Komi PV. Elastic potentiation of muscle and its influence on sport performance. In: Bauman W, *Biomechanics and performance in sport*. 59-70, 1987.
 23. Nikolaou PK, MacDonald BL, Glisson RR. Biomechanical and histological evaluation of muscle after controlled strain injury. *AM J Sports Med* 1987;15: 9-14.
 24. Prochazka A, Westerman RA, Ziccone SP. Afferent activity during a variety of voluntary movements in the cat. *J Physiol* 1977;268:423-448.
 25. Russell B, Dix DJ, Haller DL. Repair of injured skeletal muscle: a molecular approach. *Med. Sci Sports Exerc* 1992;24:189-196.
 26. Taylor DC, Dalton JD. Experimental muscle strain injury. *Am J Sports Med* 1993;21:190-194.
 27. Travell JG, Simons DG. *Myofascial Pain and Dysfunction: The Trigger Point Manual*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1983, p 35.
 28. Thys H, Faraggiana T, Margaria R. Utilization of muscle elasticity in exercise. *J Appl Physiol* 1975;32(4):491-494.
 29. Van Ingen Shenau GJ. An alternative view of the concept of utilisation of elastic energy in human movement. *Human Movement Science* 1984;3:301-336.
 30. Wilson GJ, Wood GA, Elliott BC. Optimal stiffness of series elastic component in a stretch-shorten cycle activity. *J Appl Physio* 1991;70:825-833.
-