

Journal of Exercise and Sport Sciences

A ATUAÇÃO DO CICLO ALONGAMENTO-ENCURTAMENTO DURANTE AÇÕES MUSCULARES PLIOMÉTRICAS

THE PERFORMANCE OF THE STRETCH SHORTENING CYCLE DURING PLIOMETRIC MUSCULAR ACTIONS

Carlos Luiz Guedes Neto¹
Cleverson Luiz Mocraski¹
Paulo José Abreu de Andrade¹
Alex Souto Maior^{1,2}
Roberto Simão^{1,2,3}

RESUMO

O treinamento pliométrico baseia-se no ciclo alongamento e encurtamento (CEF), mecanismo fisiológico cuja função é aumentar a eficiência mecânica dos movimentos que se utilizam ações musculares excêntricas seguidas, imediatamente, por explosivas ações concêntricas. Sua principal contribuição é desenvolver a capacidade de gerar potência máxima em um movimento. O objetivo desta revisão foi ditado pela necessidade de conectar o conhecimento do alicerce fisiológico do CEF à compreensão de sua aplicação no desenvolvimento da potência muscular, entendendo a participação das variáveis intervenientes. O embasamento fisiológico pode ser encontrado em três diferentes mecanismos: a) o acúmulo de energia potencial elástica durante as ações musculares excêntricas utilizadas sob a forma de energia cinética na fase concêntrica; b) o padrão de recrutamento das unidades motoras e; c) o reflexo miotático originado da ativação das estruturas proprioceptivas quando do estiramento. Para a manifestação ótima desses mecanismos, evidenciou-se a importância do entendimento da participação de variáveis componentes do Ciclo como a amplitude do movimento articular, velocidade de pré-extensão, carga de alongamento, altura de queda ou arremesso, tempo de transição, flexibilidade e ação das fibras rápidas e lentas, bem como de que forma os fatores limitantes – fadiga e potencial de lesões, influenciariam os resultados desejados. Concluiu-se não haver um consenso quer quanto a ação dos mecanismos fisiológicos, quer no tocante à contribuição das variáveis à aplicação do CEF, recomendando-se mais estudos para a correta definição do papel de cada um dos aspectos abordados.

Palavras-chave: Pliometria; Ciclo estende-flexiona; Saltos com contra-movimento.

¹Programa de Pós-Graduação Lato-sensu em Musculação e Treinamento de Força - Universidade Gama Filho.

²Departamento de Pós-Graduação em Educação Física - Universidade Gama Filho.

³Departamento de Educação Física - Universidade Gama Filho.

ABSTRACT

Plyometric training is based upon the stretch shortening cycle (SSC). The SSC is a physiological mechanism that aims to enhance mechanical efficiency by maximizing the concentric phase of the muscle movement through the storage and utilization of potential elastic energy from the eccentric phase. Its main contribution is to develop the ability to generate the maximal power output. The objective of this study is to understand the application of SSC on power training from the knowledge of its theoretical framework and its interaction with the intervening variables. The theoretical framework can be found in three mechanisms: a) the storage of potential elastic energy during the eccentric phase and its immediate utilization as kinetic energy during the concentric stage; b) the pattern of motor units activation; c) the potential reflex from proprioceptive structures. This study highlights the importance of variables such as the range of joint movements, velocity of stretching, stretching loads, heights of drop jumping and throwing, transition time, flexibility and action of fast, fibers or slow, fast motor units and slow twitches concerning the proper manifestation of those mechanisms. Fatigue and injury potential are also studied in order to find out their influence on the training is. So far there is no agreement concerning the exact action of the physiological mechanisms and the contribution of variables to SSC. Further studies and research are recommended to define their role.

Keywords: Plyometric; Stretch shortening cycle; Counter movement jumps.

Introdução

O ciclo alongamento-encurtamento (CAE) é um mecanismo fisiológico que tem como função aumentar a eficiência mecânica e, em consequência, o desempenho motor de um gesto atlético. O CAE ocorre quando as ações musculares excêntricas são seguidas imediatamente por uma explosiva ação concêntrica (WILK et al., 1993). Este fato resulta em uma forte ação concêntrica, por exemplo, durante um salto em altura, o atleta flexiona os joelhos e os quadris (ação excêntrica dos extensores), rapidamente muda de direção e salta (ação isométrica por ação concêntrica), com a realização de uma flexão plantar (FLECK e KRAEMER, 1999). O CAE é regulada, essencialmente, pela quantidade do padrão de ativação nervosa dos músculos envolvidos, pela quantidade de energia elástica armazenada e pelo equilíbrio entre os fatores nervosos facilitadores e inibidores da contração muscular (KOMI, 1983). No cotidiano, grande parte das atividades mais corriqueiras como correr, andar (KOMI e BOSCO, 1978), arremessar e saltar enquadra-se como ações do CAE (KUBO et al., 1999). Quando as partes componentes do ciclo (fases excêntrica e concêntrica, mediadas por rápida transição) são sistematizadas, procurando-se caracterizar seu efeito por meio da manipulação das variáveis intervenientes, tem-se o tipo de treinamento muscular denominado pliométrico.

O objetivo desta revisão foi ditado pela necessidade de conectar o conhecimento do alicerce fisiológico do CAE, e a compreensão de sua aplicação no desenvolvimento da potência muscular, entendendo a participação das variáveis intervenientes. O embasamento

fisiológico pode ser encontrado em três diferentes mecanismos: a) o acúmulo de energia potencial elástica durante as ações musculares excêntricas utilizadas sob a forma de energia cinética na fase concêntrica; b) o padrão de recrutamento das unidades motoras e; c) o reflexo miotático originado da ativação das estruturas proprioceptivas quando do estiramento.

Bases Fisiológicas do CAE

Os modelos mecânicos para o estudo da função do CAE subdividem-se em: contrátil, elásticos em série e em paralelo. Os componentes elásticos em série (pontes cruzadas e os tendões) são aqueles pertinentes à apreciação da geração de energia elástica presentes no CAE (BOSCO et al., 1982). Segundo FARLEY (1997), durante a ação muscular excêntrica produz-se um trabalho negativo, o qual tem parte da sua energia mecânica absorvida e armazenada sob a forma de energia potencial elástica nos elementos elásticos em série. Quando ocorre a passagem da fase excêntrica para a concêntrica, os músculos podem utilizar parte desta energia rapidamente, aumentando a geração de força na fase subsequente, com menor gasto metabólico e maior eficiência mecânica (KUBO et al., 1999). Porém, se a passagem de uma fase para outra for lenta, a energia potencial elástica será dissipada sob forma de calor, não sendo convertida em energia cinética (CAVAGNA, 1977; GOUBEL, 1997). KREIGHBAUM e BARTHELIS (1990) verificaram que a capacidade de geração de força pode aumentar em até 20% com a participação do CAE. Em relação ao consumo de oxigênio, KOMI (1983) citou que em duas atividades idênticas, em que uma delas utiliza o

CEF, o consumo de oxigênio será menor naquela que utilizar o CEF.

Estudos destinados a quantificar a contribuição da energia potencial elástica, em relação ao seu acúmulo na melhoria do desempenho, partiram da comparação da resposta motora observado em diferentes técnicas de execução de salto ("*squat jump*", "*counter movement jump*", "*drop jump*" e saltitamentos). A análise dos arremessos supinos, desenvolvimentos supinos e arremessos de "*medicine ball*", também foram mensurados. Os arremessos supinos diferem do desenvolvimento supino comumente praticado, pois, normalmente são executados com barra guiada (derivando força, trabalho e potência durante o lançamento), por questões de segurança, e sua técnica se beneficia dos efeitos do CAE.

Para a realização da primeira técnica, chamada de *squat jump* (SJ) ou salto agachado, o executante parte de uma posição estática de meio-agachamento, flexão dos joelhos a 90°, mãos na cintura, pés paralelos, não se permitindo novo abaixamento do centro de gravidade (CG) sendo, o movimento somente ascendente. Assim, a energia potencial elástica acumulada é perdida sob forma de calor devido à manutenção da posição estática inicial, e o salto é realizado somente por uma ação concêntrica da musculatura agonista sem a utilização do CEF (GOUBEL, 1997; KOMI e BOSCO, 1978).

No "*counter movement jump*" (CMJ) ou salto contramovimento é permitido ao sujeito efetuar a fase excêntrica, em que o indivíduo executa o mais rápido possível a transição para a fase concêntrica. Durante a ação explosiva, verifica-se o maior benefício do CAE, utilizando alta geração de força, conseqüentemente, com ocorre à elevação do CG e aumento da eficiência mecânica.

No "*drop jump*" (DJ) ou salto em profundidade, o executante salta de uma plataforma. Durante esta fase passa-se por uma rápida transição, e entra em contato com o solo para lançar-se explosivamente em um salto vertical, tentando fazê-lo com potência máxima.

Os multi-saltos, como nome define a técnica, apresentam-se sob duas formas básicas: os saltos horizontais e verticais, utilizando-se ou não sobrecargas (coletes ou cintos lastrados e corda de 1,36 kg) (BLATTNER e NOBLE, 1979) com uma ou ambas as pernas. Na execução dos saltos horizontais e verticais é importante ter cuidado no estabelecimento de um tempo ótimo para a transição, pois se muito curto não colherá a correta ativação dos grupos musculares envolvidos e, se longo, dissipar-se-á a energia elástica.

As evidências científicas dos ganhos do trabalho pliométrico estão evidenciadas em várias pesquisas,

contudo sem apresentar consenso em alguns resultados. AURA e KOMI (1986) avaliaram os efeitos da intensidade do pré-alongamento sobre a eficiência mecânica do trabalho positivo (fase concêntrica) e sobre o comportamento dos músculos esqueléticos nos exercícios do CAE. Foram utilizadas amostras de 25 indivíduos jovens, do sexo masculino, investigados em 92 diferentes situações de intensidade de contrações excêntricas. Os resultados confirmaram suposição prévia que a elasticidade muscular pura tem importante papel na potencialização do desempenho em exercícios do CAE, pelo acúmulo de energia potencial elástica.

A análise da atividade mioelétrica dos músculos extensores das pernas mostrou que o sistema nervoso contribui eficazmente na regulação da tensão (*stiffness*) muscular e, portanto na utilização da elasticidade muscular em exercícios balísticos. "*Stiffness*," termo adotado mais comumente, foi definido por GANS (1982) como sendo a resistência oposta, pelo complexo músculo-tendão, à deformação devido a um alongamento rápido. HUIJING (1992) e COOK e MCDONAGH (1996) o definiram matematicamente "*stiffness*" como sendo a variação da força sobre a variação do comprimento da estrutura tendinosa (Df/Dc) podendo quantificar o "*stiffness*" em valores numéricos. Tem-se então, que o grau de "*stiffness*" da estrutura músculo-tendinosa e o acúmulo de energia elástica estão ligados em razão direta.

NEWTON et al. (1999) observaram dois grupos de jogadores de elite de voleibol. O grupo experimental executou um treinamento balístico (SJ) e o outro grupo realizando apenas agachamentos e *leg press*. Testados em salto vertical os resultados apontaram que o treinamento balístico foi superior. Importante notar que, embora balístico, o CAE não foi utilizado. Comparação entre a eficiência mecânica de trabalhos puramente concêntricos ou excêntricos e o CAE efetuados em um grupo de 20 mulheres, foi realizado por KYRULAINEN et al. (1990) que concluiu no trabalho negativo puro, o aumento da velocidade de alongamento correspondeu ao aumento da eficiência mecânica; na fase concêntrica do CAE a atividade eletromiográfica dos músculos estudados (vastos lateral e medial) foi menor que na ação concêntrica pura, quando o trabalho mecânico era o mesmo. Durante o trabalho excêntrico puro a eletromiografia integrada foi menor em comparação com a fase excêntrica do exercício com o uso do CAE, contrapondo-se ao observado por KOMI (1983) que mencionou em sua literatura maior atividade eletromiográfica do movimento excêntrico puro.

As características eletromiográficas e de produção de força dos músculos extensores das pernas em levantadores de peso de elite foram verificadas por HAKKINEN et al. (1986) em exercícios isométricos,

concêntricos e várias formas de CAE. Os dados colhidos mostraram que a utilização da energia elástica armazenada era observável nos CMJ executados com diversas cargas.

As maiores alturas alcançadas no salto vertical com o CMJ, em comparação com os respectivos SJ, aconteceram em todas as cargas examinadas de 0 a 180 Kg, entre as fases concêntricas, em desacordo com o concluído por KYRULAINEN et al. (1990).

Pesquisa *in vivo*, para apurar a comportamento elástico do complexo músculo-tendão, levada a efeito por FUKASHIRO et al. (1995) comparou saltos verticais máximos nas posições de SJ, CMJ e saltitamentos submáximos utilizando-se alturas de 33 cm para o SJ, 40 cm para o CMJ e 7 cm para os saltitamentos. As porcentagens de energia elástica armazenada no tendão de Aquiles foram de 23%, 17% e 34% respectivamente, do trabalho total da musculatura agonista da flexão plantar, evidenciando melhor desempenho motor nos exercícios de CAE. Os mesmos exercícios foram utilizados por FUKASHIRO e KOMI (1987) com o objetivo de examinar o momento das articulações e a potência mecânica nos membros inferiores. Observaram que as execuções dos movimentos das articulações envolvidas eram maiores nos CMJ que nos SJ, porém, em ambos os movimentos, sempre apareceram escalonados na mesma ordem quadris, joelhos e tornozelos. O trabalho mecânico dos extensores do quadril era muito maior que no SJ embora o trabalho dos extensores do joelho e dos flexores plantares do tornozelo fosse quase sempre o mesmo. Parece, dessa forma, que o diferente desempenho entre o SJ e CMJ deve resultar da ação dos extensores do quadril mais que do efeito da energia potencial elástica. A execução de SJ e CMJ caracterizou-se por maior momento nos flexores plantares, posto que isso ocorreu em função da utilização de diferentes técnicas de movimento. O resultado sugere que a elasticidade muscular pode desempenhar maior papel no saltitamento que no CMJ. Depreende-se, também, que cada tipo de movimento estudado é influenciado por princípios de especificidade das ações musculares.

Há uma ampla evidência que o pré-alongamento de um músculo aumenta o desempenho da contração concêntrica subsequente (CRONIN et al., 2001), aspecto fartamente corroborado pelas apreciações precedentes. Contudo, não se pode atribuir melhoria do desempenho motor somente à energia potencial elástica assim gerada. Há, ainda, que se considerar como prováveis participantes do processo, o padrão de ativação das unidades motoras e o reflexo miotático.

O primeiro é visto à luz da lei de Henneman ou Princípio do Tamanho dos Motoneurônios, verificando-se que num movimento balístico entre 0 e 15 segundos provém de unidades motoras maiores ativadas no início da ação fazendo, pois com que o grau de

desenvolvimento de força seja muito maior e mais rápido (compulse-se a curva de força-tempo). Entretanto, durante contrações de 5 a 15 segundos é observado baixo recrutamento de unidades motoras, e apresentando aumentos de acordo com a intensidade elevada (DESMEDT e GODAUX, 1977). Autores como BOBBERT et al. (1996) e VAN INGEN SCHENAU et al. (1997) vêm apontando o grau de produção de força como fator mais importante para aumentar o desempenho no salto vertical, pois ele maximiza a velocidade no instante da decolagem.

O reflexo miotático ou reflexo de estiramento baseia-se na ação das duas estruturas proprioceptivas auxiliares no controle do movimento: os fusos musculares e os órgãos tendinosos de Golgi (OTG). A primeira, fusos musculares consistem em uma cápsula de tecido conectivo com cerca de 1mm de comprimento, seis ou mais fibras musculares intrafusais e algumas terminações nervosas motoras e sensitivas especializadas. Eles localizam-se paralelamente entre às fibras musculares intrafusais de todo o músculo. As extremidades da cápsula se estendem para dentro e se fundem com o tecido conectivo de todo o músculo (ALBERTS et al., 1997). O ponto importante é que os fusos situam-se "em paralelo" com o músculo, em contraste com o arranjo "em série" dos órgãos tendíneos de Golgi, e são responsáveis pelo monitoramento do grau de alongamento e estiramento do músculo no qual está inserida e – quando alcançado determinado limiar – provoca ação muscular reflexa, concêntrica ou isométrica, como forma de proteção da estrutura a um alongamento excessivo e rápido, com conseqüente dano (ISSURIN et al., 1994; MAGNUSSON et al., 1996). A segunda, OTG, localizada nos tendões, destinam-se a regular seu nível de tensão e suas respostas reflexas, causam o relaxamento das estruturas às quais estão ligados ou, ainda determinam a ativação da musculatura antagonista. O OTG é conectado em séries com até 25 fibras extrafusais. Esses receptores sensoriais também estão localizados nos ligamentos das articulações e são responsáveis principalmente pela identificação de diferenças na tensão muscular, mais que no comprimento do músculo (MAGNUSSON et al., 1996). O OTG responde como um monitor de retroalimentação emitindo impulsos sob uma de suas condições: em resposta à tensão criada no músculo quando o mesmo se encurta e em resposta à tensão quando o músculo é distendido passivamente (ALBERTS et al., 1997; ISSURIN et al., 1994). Quando estimulados por tensão ou distensão excessiva, os receptores de Golgi conduzem seus sinais rapidamente, a fim de desencadear uma inibição reflexa dos músculos por eles inervados. Isso ocorre por causa da influência predominante do inter-neurônio medular inibitório sobre os motoneurônios que inervam o músculo. Assim sendo, o órgão tendinoso de Golgi funciona como um

mecanismo sensorial protetor. É possível que as influências inibitórias dos OTG (relaxamento das estruturas) possam ser gradualmente reduzidas em resposta ao treinamento de força. Isto permitiria que o indivíduo produzisse uma maior quantidade de força muscular e, em muitos casos melhorasse o desempenho, propiciando um melhor aproveitamento da ação dos fusos musculares.

A ação do reflexo de estiramento, conforme citação de KOMI e GOLLHOFER (1997) pode aumentar o grau de tensão (*stiffness*) da estrutura músculo tendinosa e fazer com que haja um aumento tanto de força gerada quanto de seu grau de desenvolvimento. BOSCO et al. (1982) afirmaram que o alongamento de um músculo antes do encurtamento aumentava seu desempenho durante a contração concêntrica, sendo o fenômeno interpretado como devido à utilização da energia elástica acumulada nos elementos elásticos em série, principalmente. As pesquisas, objetivando levantar os efeitos da energia elástica e da potenciação mioelétrica do tríceps sural durante exercícios de CAE, concluíram que, em todos os indivíduos, a atividade eletromiográfica dos flexores plantares foi potencializada durante a fase concêntrica do CMJ, em comparação com o SJ.

Em estudo destinado a observar o aumento da resposta mecânica dos músculos esqueléticos mediante pré-alongamento, BOSCO e KOMI (1979) sugeriram que o aumento do desempenho nessas condições é atribuído, também, aos efeitos combinados da utilização da energia elástica armazenada e da potencialização reflexa da ativação muscular.

FLECK e KRAEMER (1999) verificaram ainda que o recrutamento reflexo de unidades motoras adicionais ou uma velocidade de descarga aumentada das unidades motoras já recrutadas pode resultar em força aumentada, como atuação do ciclo estende-flexiona. Entretanto, segundo THOMPSON e CHAPMAN (1988), a atividade mioelétrica não muda significativamente em músculo que desempenha uma ação isométrica e, em seguida, é encurtado. Isso indica que atividade reflexa não é responsável pelo aumento de força causado por um ciclo estende-flexiona. É evidente que algum tipo de potencialização de força é causado por esse ciclo. O mecanismo responsável, no entanto, não está explicado (FLECK e KRAEMER, 1999).

Variáveis intervenientes no ciclo estende-flexiona

Compreende-se com as pesquisas estudadas, que o aproveitamento da energia potencial elástica, acumulada na fase excêntrica, transformando-se durante a ação concêntrica, em energia cinética, a adequada manifestação do reflexo miotático e o recrutamento

do tipo balístico das unidades motoras, prováveis fatores componentes do CAE, interrelacionam-se a determinadas condicionantes ou variáveis intervenientes. Dessas merecem especial atenção à amplitude do deslocamento articular, o tempo de transição entre as fases, velocidade e força da pré-extensão, as cargas de alongamento, a altura de queda ou arremesso, as condições de flexibilidade da musculatura e os tipos de fibras musculares solicitadas.

A influência da amplitude do pré-alongamento sobre a eficiência mecânica foi testada por BOSCO et al. (1982) em cinco indivíduos, executando cinco diferentes séries de saltos verticais os quais diferiam entre si pela ação da articulação dos joelhos na fase excêntrica. Os resultados indicaram que a mais alta eficiência (38,7%) foi alcançada quando a amplitude de flexão do joelho, na fase excêntrica, apresentava menor amplitude. Nos movimentos de maior amplitude, a eficiência correspondente foi de 30,1%. Os saltos de pequena amplitude tinham menores tempos de transição entre as fases altas médias da força excêntrica e alta velocidade de pré-alongamento. Os resultados sugeriram que a restituição da energia elástica, relacionada à mudança no comprimento e tensão dos músculos durante o alongamento, desempenha importante papel na regulação da eficiência mecânica.

Apreciação mais completa da interação das variáveis foi oferecida por BOSCO e KOMI (1981). Observaram que a associação das condições de antes e durante a transição do pré-alongamento para o encurtamento deveria ter considerável influência no desempenho final do músculo. Compararam o desempenho dos saltos verticais usando as técnicas de CMJ e SJ. Nos saltos com contramovimento focou a avaliação na amplitude da flexão dos joelhos, velocidade de pré-alongamento e força alcançada ao final da pré-extensão. Os resultados obtidos da comparação CMJ e SJ, indicaram que o CMJ aumentou as médias da força na fase concêntrica e a potência. Este efeito de potencialização era tão mais pronunciado quanto maior fosse a força ao fim do pré-alongamento. Analogamente, a velocidade da pré-extensão e a transição rápida (média de 23ms) foram associadas ao aumento do desempenho durante a fase concêntrica. BOSCO e KOMI (1981) concluíram que as mudanças nas condições de pré-alongamento podem modificar a formação das pontes cruzadas, de modo que o armazenamento e utilização da energia elástica associam-se a alta velocidade de pré-extensão, a alta força excêntrica e ao curto tempo de transição.

KOMI e GOLLHOFER (1997) afirmaram que somente em movimentos nos quais a quantidade de pré-estiramento é pequena (alongamento do complexo músculo-tendão da ordem de 6 a 8%, ou seja, movimento com pequena amplitude) o reflexo de

estiramento pode ser utilizado. Essa afirmativa é referendada pelo estudo da curva de comprimento-tensão. Ela indica que algum estiramento do músculo, anteriormente ao início de uma ação, aumentará a quantidade de força produzida, porém um excesso de estiramento diminuirá o total de força produzida (FLECK e KRAEMER, 1999).

Para avaliar o efeito sobre desempenho, pela interposição de uma pausa durante a execução, WILSON et al. (1991) observaram levantadores de peso executando exercícios supinos com 95% de 1RM em 3 diferentes protocolos: o primeiro grupo realizava o trabalho de forma contínua, sem retardo entre o levantamento e abaixamento de carga; o segundo fazendo só a fase concêntrica e o último movimentando a barra com vários períodos de pausa entre fases. Os resultados demonstraram que o ganho no desempenho, derivado da pré-extensão, decaía na razão direta da duração da pausa.

A definição da altura de queda, de fundamental importância para o salto em profundidade ou *drop jump* (DJ), não tem encontrado consenso entre os autores. Já foi estabelecido que saltos em profundidade de altura maior que 110 cm são contraproducentes, porque a mudança da ação excêntrica para a concêntrica acontece muito lentamente (VERHOSHANSKI, 1967). KOMI e BOSCO (1978) avaliaram que a altura de queda influenciou o desempenho motor de modo que as elevações alcançadas pelo CG aumentaram na razão direta da altura de queda, dentro dos índices de 26 a 62 cm para os homens e 20 a 50 cm para as mulheres. Pesquisa abrangente sobre o papel das variáveis intervenientes – com objetivo específico de determinar a altura ótima de queda (DJ) no treinamento pliométrico – foi desenvolvida por LEES e FAHMI (1994). Trinta homens executaram saltos das alturas 12, 24, 36, 46, 58 e 68 cm com resultados medidos na plataforma de força Kistler, observando-se o deslocamento negativo do CG, a altura de elevação do CG, a máxima força vertical, a máxima velocidade vertical e o pico instantâneo de potência. Os resultados mostraram que a melhor *performance*, em todos os parâmetros, ocorreu na altura de salto de 12 cm, diferindo dos resultados dos estudos semelhantes relatados na literatura (KOMI e BOSCO, 1978; ASMUSSEM e BONDEPETERSEN, 1974). Em outro estudo, porém, não utilizando a mesma metodologia de LEES e FAHMI (1994), os pesquisadores não concluíram nenhuma mudança significativa no salto em altura utilizando treinamentos a partir de 50 ou de 80 cm, durante 8 semanas (BARTHOLOMEW, 1985). CLUTCH et al (1983), também reportaram que após 16 semanas de execução de um programa de treinamento de força idêntico, com e sem treinamento de salto em profundidade, a partir de 75 ou 110 cm. Concluíram nenhuma diferença importante foi demonstrada no au-

mento de capacidade do salto em altura, em 1 RM de agachamento ou na força de extensão isométrica do joelho.

KOMI e BOSCO (1978) verificaram haver relação direta entre a capacidade de armazenamento e utilização da energia elástica e as cargas de alongamento, comparando saltos verticais desenvolvidos com diversas técnicas (SJ, CMJ e DJ). A utilização de pesos adicionais, como o colete ou cinto com pesos de até 12% do peso corporal, nos exercícios do ciclo estende-flexiona, também resultará em aumento da capacidade no salto em altura. Relatam-se aumentos de 5,2 e 8,1 cm em indivíduos não treinados, após 6 e 8 semanas de treinamento (POLHEMUS et al., 1981; BLATTNER e NOBLE, 1979); todavia, também foi demonstrada diminuição da capacidade no salto em altura, de 2,6 cm, em atletas treinados (BOSCO e PITTEIRA, 1982). Outro implemento, a corda pesada de 1,36 Kg, aumentou a capacidade no salto em altura e a produção de potência em pique máximo de 30 s na bicicleta ergométrica, mas não, de diminuir o tempo na corrida de 50 jd (MASTERSON e BROWN, 1993). Os poucos estudos existentes não permitem estabelecer conclusões definitivas com relação ao valor desses tipos de treinamento.

A influência da flexibilidade sobre o ciclo estende-flexiona foi pesquisada por meio da utilização de dezesseis experientes levantadores de peso, observando-se seus efeitos na tensão (“stiffness”) dos elementos elásticos em série na musculatura superior do corpo, e no desempenho de desenvolvimentos supinos contínuos ou somente concêntricos. O treinamento de flexibilidade induziu à significativa redução do desempenho máximo dos elementos elásticos em série, aumentando o desempenho nos desenvolvimentos supinos contínuos pela utilização da energia potencial elástica durante o levantamento (WILSON et al., 1992).

A capacidade de armazenamento e utilização da energia elástica na musculatura dos tipos lento e rápido foi verificada em saltos verticais, com e sem contramovimento, e com pequenos e amplos deslocamentos angulares dos joelhos. Os resultados indicaram que os indivíduos que possuíam maior quantidade de fibras rápidas obtiveram mais benefícios na fase de alongamento, executada com alta velocidade e pequenos deslocamentos angulares. A utilização de energia elástica era proporcional à quantidade de energia armazenada qualquer que fosse o tipo de fibra. Nos saltos de maior amplitude, no qual o tempo de transição entre extensão e encurtamento era maior, as fibras lentas e rápidas apresentaram quantidades semelhantes de acúmulo de energia elástica. A reutilização desta energia, todavia, foi maior nos indivíduos com mais fibras lentas (24%) que naqueles com mais fibras rápidas (17%). Os resultados podem

ser interpretados pelas diferenças do tempo de ativação das pontes cruzadas entre os tipos de fibra. As do tipo lento são capazes de reter a ativação das pontes cruzadas por um maior período de tempo e, portanto, podem utilizar a energia elástica melhor em um movimento balístico lento (BOSCO et al., 1982).

Exercícios de ciclo estende-flexiona podem ser realizados tanto para a parte inferior do corpo como para a superior, porém constata-se que a maioria dos experimentos está voltada para os membros inferiores (NEWTON et al., 1997), para os quais a literatura dedica sua prioridade, gerando uma lacuna sensível. A exercitação dos membros superiores carece de cuidados adicionais de segurança (auxiliares) e, por vezes, equipamentos especializados como os trenós (*sledges*) e barras guiadas. Do repertório específico constam: arremessos supinos com barras livres ou guiadas; trabalhos analíticos na polia; flexões de braço com apoio de frente, empregando a repulsão no solo e arremessos do *medicine ball*, dentre outros. Com relação a este último, estudos foram concluídos com a apresentação de uma fórmula de determinação de força de impacto em função da altura alcançada pelo implemento e sua massa.

Como conclusão sobre ciclo estende-flexiona pode ser dito que o seu comportamento está relacionado aos parâmetros observados na especificidade das ações musculares, ou seja, padrões do movimento, ângulo articular, tipo e velocidade da contração, número de articulações envolvidas e tipo de resistência, evidenciando um íntimo vínculo entre eles. Parece que a dificuldade em se estabelecer padrões comportamentais para as variáveis é tarefa tão complexa quanto definir de quantas formas tais variáveis podem interagir e quais seriam esses resultados.

Limitações à prática do CAE

Conquanto o treinamento pliométrico aponte para efetivos benefícios no desempenho motor, refletidos diretamente no desenvolvimento da potência, há que se atentar para dois aspectos, alvo de atenção de treinadores e executantes, como possíveis limitadores de sua prática: a fadiga e o potencial de lesões.

Deduz-se do estudo das variáveis intervenientes e do próprio conceito do CAE que, na eventualidade de uma manifestação não-ótima ou inadequada dos fatores condicionantes, a potenciação do movimento não existirá ou não terá sua melhor expressão.

Não sendo objetivo deste trabalho aprofundamento sobre a base teórica do mecanismo da fadiga no CAE, declina-se apenas alguns estudos sobre suas manifestações, principais causas e consequências.

A fadiga é um fenômeno extremamente comple-

to, e pode ser descrita como a perda da capacidade de gerar força ou incapacidade de se manter o exercício em um nível adequado (STROJNIK e KOMI, 1998). Normalmente se caracteriza pelos aumentos nos tempos de contacto nas fases excêntrica e concêntrica do ciclo, sendo mais pronunciada na concêntrica, verificando-se então drástica redução de transferência de energia entre as fases (GOLLHOFER et al., 1987).

A importância de sua percepção é vista na pesquisa de KOMI (2000), comparando a função muscular em condições normais e em fadiga, concluindo que a magnitude do componente reflexo no estiramento varia de acordo com o aumento da carga de alongamento, mas, também, com o nível de fadiga. Enquanto a fadiga, devido a um ciclo moderado, resulta em leve potenciação, um ciclo exaustivo (em intensidade e volume) pode reduzir a mesma contribuição reflexa de modo significativo, levando os problemas funcionais e a danos musculares (NICOL et al., 1996). É observado que a fadiga neuromuscular após exercícios de CAE, utilizando saltos em *sledge*, a 60% da altura máxima, verifica-se que houve aumentos de lactato (de $1,8 \pm 0,6$ mmol/l para $6,1 \pm 1,7$ mmol/l) e creatina-quinase sérica (de 248 ± 142 IU/l para 584 ± 344 IU/l). A conclusão foi que, após um trabalho submáximo no ciclo, ocorreu fadiga provavelmente causada por diminuição na liberação de Ca^{2+} em cada potencial de ação (STROJNIK e KOMI, 2000). Investigação de STROJNIK e KOMI (1998) sobre a fadiga neuromuscular após exercitação máxima em CAE, concluiu que seguidos saltos máximos, de curta duração em equipamento *sledge*, induziu à potenciação do mecanismo contrátil. Também caracterizado pela redução do Ca^{2+} e pela aceleração da ação das pontes cruzadas (contrações mais rápidas), bem como a uma redução do potencial de ação de alta frequência que poderia ser a razão principal para a ocorrência da fadiga.

A relação entre a cessação aguda e tardia da função reflexa de alongamento no CAE, demonstrou que há deterioração da função muscular imediatamente depois de instalado o mecanismo da fadiga. É observando também, aumentos nos marcadores indiretos do dano (atividade da creatina-quinase sérica e troponina), sugerindo que a redução da sensibilidade reflexa é de origem reflexa e devida a dois mecanismos ativos: dificuldade e inibição pré-sináptica (AVELA et al., 1999). No salto em profundidade, onde a intensidade do exercício é expressiva, a exaustão ocorreu em 3 minutos e observou-se concentração relativamente alta de lactato ($12,5 \pm 2,6$ mmol/l) e aumento da atividade da creatina-quinase sérica mantida por dois dias (HORITA et al., 1999). Essa é uma clara indicação quanto ao intervalo a ser observado entre sessões de CAE.

Ao lado dos componentes metabólicos intervenientes no mecanismo da fadiga, constatou-se correspondente deterioração na regulação do *stiffness*. Este fato gerou pesquisas para estabelecer a relação com o reflexo de estiramento, conseqüentemente, projetando sua influência no desempenho muscular em exercitação no CAE. Os resultados sugeriram que o impulso neural para os músculos foi, ao menos parcialmente, de origem reflexa, e a redução do *stiffness* muscular que acompanha a diminuição da sensibilidade reflexa pode ter sido responsável, em parte, pelo enfraquecimento muscular devido ao bloqueio na utilização da energia elástica (AVELA e KOMI, 1998).

Estudo de KUITUNEN et al. (2002) objetivando examinar os efeitos agudo e tardio da fadiga em exaustiva exercitação no CAE, testou 5 indivíduos no aparelho *sledge*, em 100 saltos máximos contínuos, seguidos por ininterruptos saltos submáximos, até a completa exaustão. Os resultados mostraram que um exaustivo ciclo induziu à aguda e prolongada redução do *stiffness*, mais pronunciada nos joelhos do que nos tornozelos. O imediato declínio do *stiffness* pós-exercício foi associado tanto ao incipiente impulso neural (fadiga central) quanto à falha concêntrica (fadiga periférica) devido à fadiga metabólica e ao dano muscular.

No exame da influência da fadiga metabólica e do dano muscular induzidos pelo CEF sobre a eficácia do reflexo de estiramento foi observado que: um intenso treinamento pliométrico conduz a uma imediata redução na magnitude dos reflexos com recuperação em longo prazo, mantendo uma significativa diminuição no desempenho muscular até o segundo dia pós-exercício; o pico da creatina-quinase apareceu para todos os indivíduos no segundo dia, sugerindo a existência de dano muscular; o aumento da creatina-quinase entre a segunda hora e o segundo dia pós-exercício estava inversamente relacionado às mudanças relativas na altura do DJ; significativa relação foi encontrada entre a recuperação do reflexo de estiramento do músculo estudado e a diminuição da

creatina-quinase entre o segundo e o quarto dias. Esses achados apóiam a hipótese de uma reduzida sensibilidade do reflexo de estiramento. Enquanto os exatos mecanismos de inibição reflexa permanecem obscuros, enfatiza-se que a recuperação tardia da sensibilidade reflexa pode resultar de uma progressiva inflamação desenvolvida em casos de dano muscular (NICOL et al., 1996).

Profissionais e praticantes do treinamento físico expressam sua preocupação em relação a um potencial risco de lesão quando da prática do ciclo estende-flexiona. Como em qualquer modalidade de treinamento, existe um risco inerente de lesões e há relatos concernentes. Como principais causas podem ser citadas: a) progressão inadequada do treinamento; b) aquecimento inadequado; c) carga de trabalho (volume e/ou intensidade) excessiva; d) lastro insuficiente de prévio treinamento de força; e) calçado e pisos impróprios. Sendo uma forma de trabalho que objetiva gerar potência máxima em um movimento – expressões de força e velocidade – no qual estão presentes rápidas contrações excêntricas e concêntricas e, por vezes o impacto do peso corporal, algumas medidas acauteladoras deverão ser observadas. Sugere-se que qualquer indivíduo executando exercícios do CAE deveria ser capaz de realizar agachamento com, pelo menos 1,5 a 2 vezes o peso do corpo. Essa medida é apenas uma sugestão, pois não há dados a apoiar esta proposição (FLECK e KRAEMER, 1999). O peso e a composição corporal também devem ser considerados na prescrição de exercícios do CAE. Todos os exercícios de saltos (salto com contramovimento, salto em profundidade e multi-saltos) usam, no mínimo, o peso do corpo como resistência a ser superada. Um indivíduo com porcentagem de gordura corporal mais alta realiza os exercícios contra resistência maior (peso do corpo), com massa muscular relativamente menor (massa corporal magra). É recomendado aos indivíduos de maior peso observar volume de treinamento (número de saltos) menor que os de indivíduos mais leves.

CONCLUSÕES

Os resultados das pesquisas têm demonstrado a existência de outros mecanismos fisiológicos, atuando no CAE concomitante às puras ações musculares excêntrica e concêntricas. Sabe-se que uma ação excêntrica com força e velocidade adequadas, seguida de uma rápida transição para a fase concêntrica, também em condições ótimas de intensidade, exponencia a produção de potência nesta segunda fase.

Embora haja consenso entre pesquisadores, apoiados em fortes evidências científicas, principalmente sobre acúmulo e utilização da energia potencial elástica nos elementos elásticos em série, o acúmulo e a utilização de energia potencial não acontece quando se trata do recrutamento reflexo de unidades motoras adicionais registrando-se algumas discordâncias sobre sua participação no ciclo.

Quanto ao que neste artigo foi chamado de variáveis intervenientes apontam-se ao lado de resultados bem embasados outros ainda incompletos e mesmo lacunas de pesquisa. Estudos vêm evidenciando que para ganhos ótimos de potência o treinamento deve ser executado com pequenas amplitudes de movimento articular; que a velocidade de pré-extensão deve ser compatível com o ganho esperado; que a transição, para a qual inexistente dado temporal exato, deve ser rápida o suficiente para não dissipar o potencial elástico, mas também deverá prover tempo necessário para se processar o acúmulo de energia. Por outro lado são ainda inconclusivos os estudos sobre a carga de alongamento, bastante dependente, nos saltos, da massa corporal; as alturas de queda, parâmetro fundamental para a execução dos saltos em profundidade, um dos mais importantes exercícios da pliometria, estão ainda longe de um consenso; arremessos supinos e do *medicine-ball*, apresentam insuficientes resultados pelo pequeno número de pesquisas e, finalmente, o quanto de participação da flexibilidade e da composição muscular, em termos de tipos de fibras, para a melhor eficiência do ciclo, não encontraram resposta definitiva.

O conhecimento das características e mecanismos de fadiga é importante para a definição de carga de trabalho em uma sessão de treinamento, bem como para o estabelecimento do período de recuperação, visando à próxima exercitação no ciclo. Metabolicamente ela tem sido estudada, contudo ainda permanece obscuro o conhecimento dos mecanismos de inibição reflexa. O potencial de lesões apresentado como fator limitativo, pois sua ocorrência pode sustar o treinamento, é de trato mais fácil por depender, essencialmente, da observância por parte de treinadores e executantes de determinadas regras acauteladoras.

Há, porém, carência de pesquisas em laboratório para a definição dos processos neurais intervenientes e na prática de trabalho onde se estabeleça amplo rol dos exercícios possíveis para membros superiores e inferiores no qual se observe a complexa interação das variáveis intervenientes, pois seu comportamento parece estar intimamente ligado aos parâmetros da especificidade das ações musculares.

REFERÊNCIAS

- AURA O, KOMI PV. Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise. **Int J Sports Med** 1986; 7:137-43.
- ASMUSSEM E, BONDE-PETERSEN F. Storage of elastic energy in skeletal muscle in man. **Acta Physiol Scand** 1974; 91:385-92.
- ALBERTS B, BRAY D, LEWIS J, RAFF M, ROBERTS K, WATSON J. D. **Biologia Molecular da Célula**. 1997. 3.ed. Porto Alegre: Artes Médicas.
- AVELA J, KYRULAINEN H, KOMI PV, RAMA D. Reduced reflex sensitivity persists several days after long-lasting stretch-shortening cycle exercise. **J Appl Physiol** 1999; 86:1292-300.
- AVELA J, KOMI PV. Reduced stretch reflex sensitivity and muscle stiffness after long-lasting stretch-shortening cycle exercise in humans. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol** 1998; 78:403-10.
- BOSCO C, TARKKA I, KOMI PV. Effect of elastic energy and myoelectrical potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. **Int J Sports Med** 1982; 3:137-40.

HORITA T, KOMI PV, NICOL C, KYRULAINEN H. Effect of exhausting stretch-shortening cycle exercise on the time course of mechanical behaviour in the drop jump: possible role of muscle damage. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol** 1999; 79:160-7.

ISSURIN V., LIEBERMANN D.G., TENENBAUM G. Effect of vibratory stimulation on maximal force and flexibility. **Journal of Sports Sciences**.1994, v. 12, i. 6,p. 561-566.

KOMI PV, BOSCO C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. **Med Sci Sports Science** 1978; 10:261-5.

KUBO K, KAWAKAMI Y, FUKUNAGA T. Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. **J Appl Physiol** 1999; 87:2090-2096.

KOMI PV. **The stretch-shortening cycle and human power output**. Champaign: Human Kinetics, 1983.

KREIGHBAUM E, BARTHELMS KM. Neuromuscular aspects of movement. **Biomechanics** 1990; 2:63-92.

KOMI PV, BOSCO C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. **Med Sci Sports Exerc** 1978; 10:261-5.

KYRULAINEN H, KOMI PV, OKSANEN P, HAKKINEN K, CHENG S, KIM DH. Mechanical efficiency of locomotion in females during different kinds of muscle action. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol** 1990; 6:446-52.

KOMI PV, GOLLHOFER A. Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during ssc exercise. **J Appl Biomech** 1997; 3:451-60.

KOMI PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. **J Biomech** 2000; 33:1197-206.

KUITUNEN S, AVELA J, KYRULAINEN H, NICOL C. Acute and Prolonged reduction in Joint Stiffness in humans after exhausting stretch-shortening cycle exercise. **Eur J Appl Physiol** 2002; 88:107-116.

LEES A, FAHMI E. Optimal drop heights for plyometric training. **Ergonomics** 1994; 37:141-8.

MAGNUSSON S.P., SIMONSEN E.B., KJAER M. Biomechanical responses to repeated stretches in human human hamstring muscle in vivo. **American Journal of Sports Medicine**.1996; v.24, i. 5, p.622-628.

MASTERSON GL, BROWN SP. Effects of Weighted Rope Jump Training on Power Performance Tests in Collegians. **J Strength Conditioning Research** 1993; 7:108-114.

NEWTON RU, MURPHY AJ, HUMPHRIES BJ, WILSON GJ, KRAEMER WJ, HAKKIINEN K. Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol** 1997; 75:333-42.

NEWTON RU, KRAEMER WJ, HAKKKINEN K. Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. **Med Sci Sports Exerc** 1999; 31:323-30.

- BOBBERT MF, GERRITSEN KGM, LITJENS MCA, VAN SOEST AJ. Why is counter movement jump height greater than squat jump height? **Med Sci Sports Exerc** 1996; 28:1402-12.
- BOSCO C, KOMI PV. Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. **Acta Physiol Scand** 1979; 106:467-72.
- BOSCO C, ITO A, KOMI PV, LUHTANEN P, RAHKILA P, RUSKO H, VIITASALO JT. Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises. **Acta Physiol Scand** 1982; 114:543-50.
- BOSCO C, KOMI PV, ITO A. Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. **Acta Physiol Scand** 1981; 111:135-40.
- BARTHOLOMEW S. A. **Plyometrics and vertical jump training**. Masters thesis: University of North Carolina, 1985.
- BLATTNER S, NOBLE L. Relative effects of isokinetic and plyometric training on vertical jumping performance. **Research Quarterly** 1979; 50:583-588.
- BOSCO C, PITTERA C. Zur Trainings Wirkung Neuentwickeher sprungubungen auf die explosivkraft. **Leistungssport** 1982; 12:36-39.
- BOSCO C, TIHANYI J, KOMI PV, FEKETE G, APOR P. Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. **Acta Physiol Scand** 1982; 116:343-9.
- CAVAGNA GA. Storage utilization of elastic energy in skeletal muscle. **Exercise and Sports Sciences Review** 1977; 5:89-129.
- COOK CS, MC DONAGH MJN. Measurement of muscle and tendon stiffness in man. **Eur J Appl Physiol** 1996; 72:380-2.
- CRONIN JB, MCNAIR PJ, MARSHALL RN. Magnitude and decay of stretch-induced enhancement of power output. **Eur J Appl Physiol** 2001; 84:575-81.
- CLUTCH D, WILTON M, MC GOWN C, BRYCE GR. The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. **Research Quarterly for Exercise and Sport** 1983; 54:5-10.
- DESMEDT JE, GODAUX E. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. **J Physiol** 1977;264: 673-693.
- FARLEY CT. Role of the stretch-shortening in jumping. **J Appl Biomechanics** 1997; 3:436-9.
- FUKASHIRO S, KOMI PV, JARVINEN M, MIYASHITA M. In vivo Achilles tendon loading during jumping in humans. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol** 1995; 71:453-8.
- FUKASHIRO S, KOMI PV. Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. **Int J Sports Med** 1987; Suppl 1:15-21.
- FLECK SJ, KRAEMER WJ. **Fundamentos do treinamento de força mus-**

cular. 2ª Ed. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda, 1999.

GOUBEL F. Series elastic behavior during the stretch-shortening cycle. **J Appl Biomech** 1997; 3:439-43.

GANS C. Fiber architecture and muscle function. **Exercise Sport Sciences Review** 1982; 10:160-207.

GOLLHOFER A, KOMI PV, MIYASHITA M, AURA O. Fatigue during stretch-shortening cycle exercises: changes in mechanical performance of human skeletal muscle. **Int J Sports Med** 1987; 8:71-8.

HUIJING PA. **Elastic potential of muscle**. Oxford: Blackwell Scientific, 1992.

HAKKINEN K, KOMI PV, KAUKANEN H. Electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles of elite weight lifters during isometric, concentric, and various stretch-shortening cycle exercises. **Int J Sports Med** 1986; 7:144-51.

NICOL C, KOMI PV, HORITA T, KYRULAINEN H, TAKALA TE. Reduced stretch-reflex sensitivity after exhausting stretch-shortening cycle exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol** 1996; 72:401-9.

POLHEMUS R, BURKHART E, OSINA M, PATTERSON M. The effects of plyometric training with ankle and vest weights on conventional weight training programs for men and women. **National Strength coaches association journal** 1981. 2:13-15.

STROJNIK V, KOMI PV. Neuromuscular fatigue after maximal stretch-shortening cycle exercise. **J Appl Physiol** 1998; 84:344-50.

STROJNIK V, KOMI PV. Fatigue after submaximal intensive stretch-shortening cycle exercise. **Med Sci Sports Exerc** 2000; 32:1314-9.

THOMPSON DB, CHAPMAN AE. The Mechanical Response fo Active Human muscle during and after stretch. **Eur J Appl Physiol** 1988; 57:691-97.

VAN INGEN SCHENAU GJ, BOBBERT MF, HAAN A. Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? **J Appl Biomech** 1997; 13:389-415.

VERHOSHANSKI V. Are depth jumps useful? **Track and Field** 1967; 12:75-78.

WILSON GJ, ELLIOTT BC, WOOD GA. Stretch shorten cycle performance enhancement through flexibility training. **Med Sci Sports Exerc** 1992; 24:116-23.

WILK KE, VOIGHT ML, KEIRNS MA, GAMBETTA V, ANDREWS JR, DILLMAN. Stretch-shortening drills for the upper extremities: theory and clinical application. **J Orthop Sports Phys Ther** 1993; 17:225-39.

WILSON GJ, ELLIOTT BC, WOOD GA. The effect on performance of imposing a delay during a stretch-shorten cycle movement. **Med Sci Sports Exerc** 1991; 23:364-70.