

POTENCIALIZAÇÃO PÓS-ACTIVAÇÃO: POSSÍVEIS MECANISMOS FISIOLÓGICOS E SUA APLICAÇÃO NO AQUECIMENTO DE ATLETAS DE MODALIDADES DE POTÊNCIA

POSTACTIVATION POTENTIATION: POSSIBLE PHYSIOLOGICAL MECHANISMS AND ITS APPLICATION DURING POWER ATHLETES' WARM UP

Mauro Alexandre Benites Batista*
Hamilton Roschel**
Renato Barroso*
Carlos Ugrinowitsch***
Valmor Tricoli****

RESUMO

A prática de exercícios de aquecimento é comum entre atletas de diferentes modalidades esportivas. Existem evidências de que o aquecimento convencional pode prevenir a ocorrência de lesões e melhorar o desempenho em modalidades dependentes da oferta de oxigênio aos músculos, contudo é questionável se esse tipo de aquecimento pode ser vantajoso para atletas que competem em provas de potência. Há sugestões de que estes atletas podem se beneficiar da incorporação de exercícios de força ao aquecimento convencional. Esta hipótese se baseia no fenômeno conhecido como potencialização, que é desencadeado quando os músculos são ativados com estímulos de alta intensidade. Assim, esta revisão teve como objetivo verificar se a inclusão dos exercícios de força na rotina de aquecimento pode ser vantajosa para atletas participantes em provas de potência. Além disso, procurou-se apresentar os possíveis mecanismos responsáveis pelo fenômeno conhecido como potencialização e identificar estratégias adequadas para sua indução sobre o desempenho.

Palavras-chave: Desempenho atlético. Força muscular. Atletismo.

INTRODUÇÃO

Antes do início do treinamento ou competição é bastante comum no meio esportivo a realização de exercícios preparatórios, conhecidos como aquecimento (VERKHOSHANSKY; SIFF, 1993; BISHOP, 2003a; 2003b; YOUNG; BEHM, 2003). Tradicionalmente, o aquecimento consiste em uma atividade aeróbia de baixa intensidade e curta duração, exercícios de alongamento e movimentações específicas da modalidade. Este protocolo de aquecimento é praticado, indistintamente, por atletas de diferentes modalidades esportivas (BISHOP, 2003a;

2003b; YOUNG; BEHM, 2003), mas se tem sugerido que atletas de modalidades esportivas de potência incluam exercícios de força em sua rotina de aquecimento, em complementação aos exercícios convencionais (VERKHOSHANSKY; SIFF, 1993; GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996). A explicação para tal prática baseia-se em estudos que demonstraram a possibilidade de exercícios dependentes da manifestação da força explosiva serem potencializados, ou seja, beneficiados com a melhora aguda do desempenho, quando no aquecimento são realizados exercícios de força (GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996; GOURGOULIS et al., 2003).

* Professor Doutor em Educação Física da Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo.

** Professor Doutor em Educação Física da Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo.

*** Professor Doutor da Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo.

**** Livre Docente da Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo

Embora a validade deste procedimento seja questionável (RADCLIFFE; RADCLIFFE, 1996; GOSSEN; SALE, 2000; HRYSOMALLIS; KIDGELL, 2001; KOCH et al., 2003), a potencialização da força explosiva, provocada pela realização prévia de exercícios de força, parece, estar condicionada por diversos fatores. Segundo Gullich e Schmidtbleicher (1996) e Radcliffe e Radcliffe (1996), ela depende das características dos exercícios de força utilizados no aquecimento (tipo de exercício utilizado no aquecimento, sua intensidade e duração). Não obstante, outros estudos sugerem que a potencialização depende do estado de treinamento dos sujeitos (DUTHIE et al., 2002; GOURGOULIS et al., 2003).

De forma geral, parece razoável assumir que o aquecimento direcionado a atletas especialistas em provas de potência deve ser diferente do realizado por atletas de outras provas, e que a realização de exercícios de força no aquecimento pode ser interessante para estes atletas; porém ainda é objeto de controvérsias se todos os atletas envolvidos nesse tipo de prova podem se beneficiar da utilização de exercícios de força no aquecimento. Também não há consenso a respeito de quais exercícios de força são realmente efetivos em desencadear melhoras agudas no desempenho.

Para sugerir a inclusão de exercícios de força no aquecimento é preciso conhecer as respostas para essas questões. Desta forma, esta revisão teve como objetivo discorrer sobre os aspectos gerais da potencialização, com vista a uma melhor compreensão do fenômeno para nortear a sua aplicação prática.

Os estudos incluídos são provenientes do levantamento realizado na base de dados *Pubmed*. A busca foi limitada aos campos “título” e “resumo”, combinando-se os termos: *potentiation*, *postactivation potentiation* ou *posttetanic potentiation*, com os termos: *exercise*, *vertical jump*, *strength*, *power* ou *velocity*. Não houve restrição de datas e a busca foi finalizada em novembro de 2008.

REVISÃO DA LITERATURA

O aquecimento convencional

A realização de exercícios preparatórios referidos como “aquecimento” é uma prática

bastante difundida entre atletas e treinadores de alto nível e também entre pessoas que praticam atividade física apenas por lazer e para melhorar o condicionamento. Acredita-se que a realização do aquecimento pode evitar a ocorrência de lesões e aprimorar o desempenho na atividade que se seguirá (WOODS et al., 2007).

Durante uma rotina de aquecimento convencional são realizados, basicamente, três tipos de exercício: 1) um exercício de caráter geral com componente aeróbio, como correr, pedalar ou nadar; 2) exercícios de alongamento; e 3) movimentações típicas da modalidade com intensidade diminuída. Este protocolo de aquecimento é praticado, indistintamente, por atletas de diferentes modalidades esportivas, o que nem sempre pode ser adequado. Parece que os exercícios com componente aeróbio podem melhorar o desempenho em alguns tipos de atividade motora (O'BRIEN et al., 1997). Por exemplo, a corrida utilizada como exercício de aquecimento induz um aumento do consumo de oxigênio no início da atividade subsequente. Como consequência, esse aumento faz diminuir a quantidade de trabalho realizado em déficit de oxigênio no início do exercício principal, poupando a reserva de energia proveniente da via anaeróbia. Essa reserva poderia ser utilizada mais adiante na atividade e implicar em melhora do desempenho. No entanto, atividades de curta duração e alta intensidade, como as que predominam em modalidades esportivas de força e potência, não se beneficiam desse efeito, já que, nessas atividades, o desempenho não depende da oferta de oxigênio aos músculos (VETTER, 2007).

Há indícios de que o aumento da temperatura muscular, induzido pela realização de exercícios com componente aeróbio, seja benéfico aos exercícios de força e potência. O aumento da temperatura muscular por meio de diatermia diminui a resistência passiva articular. Além disso, a rigidez das fibras musculares ao alongamento (*stiffness*) também diminui em função do aumento da temperatura muscular. Juntas, essas duas alterações poderiam explicar a melhora no desempenho da força e potência, porém essas alterações repercutem em melhoras muito pequenas no desempenho da contração muscular (BISHOP, 2003a; 2003b; STEWART et al., 2003).

Foi demonstrado também que o aumento da temperatura muscular melhora a velocidade de transmissão dos impulsos nervosos, o que pode contribuir para um melhor desempenho nos exercícios de força e potência (STEWART et al., 2003), porém poucos estudos comprovaram esse benefício (BISHOP, 2003a; 2003b; STEWART et al., 2003).

O benefício do uso de exercícios de alongamento como conteúdo do aquecimento para tarefas que exijam esforços explosivos também é polêmico. Atletas de diferentes modalidades esportivas têm o costume de realizar exercícios de alongamento antes do treinamento e da competição. Embora haja evidências de que tal prática diminui o risco de ocorrência de lesões (WOODS et al., 2007), parece que o alongamento passivo realizado em alta intensidade ou longa duração pode prejudicar a produção de força e potência musculares (KOKKONEN et al., 1998; CHURCH et al., 2001; CORNWELL et al., 2001; FLETCHER; JONES, 2004; VETTER, 2007). Isso tem estimulado alguns pesquisadores a recomendar a exclusão desse tipo de exercício da rotina de aquecimento para atividades que requerem esforços desta natureza (CORNWELL et al., 2001; YOUNG; BEHM, 2003; FLETCHER; JONES, 2004; CRAMER et al., 2005; WEIR et al., 2005; BEHM; KIBELE, 2007; RUBINI et al., 2007).

Como se pode observar, os exercícios de aquecimento convencionais podem não ser eficientes ou apropriados para atletas de provas de potência, embora haja sugestões de que esses atletas devem incluir exercícios de força em suas rotinas de aquecimento. Em alguns estudos em que se utilizaram exercícios de força no aquecimento foram demonstradas importantes melhoras em atividades como salto e arremesso, como também na velocidade de movimentos cíclicos (GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996; CHIU et al., 2003; CHATZOPOULOS et al., 2007). Esse aumento no desempenho, provocado pelo aquecimento com exercícios de força, tem sido referido de forma generalizada como potencialização (RASSIER, 2000; SALE, 2002). A potencialização parece ser produzida por mecanismos fisiológicos desencadeados no músculo e no sistema nervoso central.

Potencialização e seus prováveis mecanismos fisiológicos

A ativação de um músculo tem consequências em sua capacidade de gerar força nos minutos seguintes. A ativação pode provocar diminuição do desempenho da força muscular subsequente, o que nós chamamos de fadiga; mas ela pode também induzir uma melhora temporária na capacidade de gerar força. Essa melhora temporária é referida como potencialização. Uma vez que fadiga e potencialização são decorrentes da ativação prévia, é coerente assumir que ambos os processos são iniciados juntos e que coexistem por alguns instantes após a contração que lhes deu origem (RASSIER, 2000).

A potencialização tem sido estudada em fibras e músculos isolados a partir de ativações com estimulação elétrica artificial de alta frequência. Quando o aumento da força é verificado com esse tipo de estímulo o fenômeno é referido como potencialização pós-tetania (PPT). A potencialização também tem sido estudada por meio de estimulação por contrações musculares voluntárias. Neste caso, o aumento da força verificado é referido como potencialização pós-ativação (PPA) (VANDERVOORT et al., 1983).

O mecanismo fisiológico apontado como principal causador da potencialização é a fosforilação da miosina regulatória de cadeia leve (RCL), um evento molecular. Segundo Rassier e Macintosh (2000), a fosforilação da miosina RCL altera a conformação das pontes cruzadas, o que coloca as cabeças globulares numa posição mais próxima dos filamentos finos de actina. Essa aproximação aumenta a probabilidade de interação entre as proteínas contráteis, o que pode implicar numa maior quantidade de conexões entre os filamentos e, consequentemente, num maior desenvolvimento de tensão.

A fosforilação da miosina RCL é mediada pela enzima quinase da miosina RCL. Por outro lado, a defosforilação da miosina RCL se deve à ação da fosfatase da miosina RCL. A ativação da quinase da miosina RCL é feita pelo complexo cálcio/calmodulina, que, por sua vez, é formado quando o cálcio (Ca^{2+}) é liberado pelo retículo sarcoplasmático (RS). Aumentos na atividade da quinase ou diminuições na

atividade da fosfatase modulam a fosforilação da miosina RCL. Acredita-se que o Ca^{2+} tenha um papel importante na potencialização. Alguns autores defendem que a atividade prévia pode induzir uma maior liberação de Ca^{2+} pelo retículo sarcoplasmático (RS), o que leva a um aumento de sua concentração no sarcoplasma (RASSIER, 2000; SALE, 2002). Essa maior concentração de Ca^{2+} pode implicar num maior desenvolvimento de tensão, por dois motivos: 1) o aumento da formação do complexo Ca^{2+} /calmodulina, que, em sequência, aumentaria a ativação da quinase da miosina RCL e, indiretamente, a fosforilação da miosina RCL; 2) o fato de que o aumento do Ca^{2+} sarcoplasmático pode resultar numa maior interação desse com a troponina, provocando maior liberação de sítios de actina para conexão das pontes cruzadas de miosina. Contudo, a importância do papel do Ca^{2+} na potencialização tem sido questionada em razão de os maiores níveis de fosforilação da miosina RCL serem observados quando Ca^{2+} encontra-se em baixas concentrações no sarcoplasma. Assim, ao invés de um papel principal do Ca^{2+} na potencialização, tem sido atribuído a ele apenas o papel de regulador desse processo (SALE, 2002).

Uma maneira por meio da qual a fosforilação da miosina RCL pode produzir potencialização da força é a alteração do ciclo das pontes cruzadas. Mais precisamente, a fosforilação da miosina RCL induz alterações na fase de desenvolvimento de tensão do ciclo das pontes cruzadas. A fase de desenvolvimento de tensão do ciclo das pontes cruzadas é compreendida por dois momentos. Em um deles acontece a transição das pontes cruzadas do estado de ligação fraca para o estado de ligação forte; no outro a transição é reversa, ou seja, as pontes cruzadas passam do estado de ligação forte para o estado de ligação fraca. Sweeney e Stull (1990) verificaram que a fosforilação da miosina RCL provoca um aumento na taxa de transição do estado de ligação fraca para o forte. Por outro lado, Kerrick et al. (1991) verificaram diminuição na taxa de transição reversa, embora nenhuma alteração tenha sido notada nesta mesma fase no estudo de Sweeney e Stull (1990). O aumento na taxa de transição do estado de ligação fraca para o forte implica no

fato de as pontes cruzadas ficarem menos tempo no estado em que geram pouca tensão e em um início mais rápido da fase de desenvolvimento de alto nível de tensão. Ao contrário, quando a taxa de transição do estado de ligação forte para o fraco diminui, significa que as pontes cruzadas ficam mais tempo no estado em que desenvolvem mais tensão. Assim, a alteração em um ou em ambos os momentos da fase de desenvolvimento de tensão, do ciclo das pontes cruzadas, pode modificar a produção de força muscular (TUBMAN et al., 1996; VANDENBOOM; HOUSTON, 1996; GRANGE et al., 1998; RASSIER, 2000; MACINTOSH; RASSIER, 2002; SALE, 2002).

A hipótese de que a fosforilação da miosina RCL pode explicar as melhoras no desempenho induzidas pela ativação muscular prévia é apoiada em estudos conduzidos em fibras ou músculos isolados (TUBMAN et al., 1997; PARKMAN et al., 2001); contudo, não se pode ter certeza de que esse mecanismo explique a melhora do desempenho em ações musculares voluntárias. Smith e Fry (2007) verificaram aumento significativo da fosforilação miosina RCL, a partir de biopsias realizadas no músculo quadríceps, após os sujeitos realizarem uma contração voluntária isométrica máxima (CVIM) de dez segundos de duração, na cadeira extensora; contudo nenhuma melhora no desempenho da extensão dinâmica dos joelhos foi verificada após a realização da atividade condicionante.

Outro evento local que também pode estar relacionado com as alterações momentâneas na produção de força é a modificação aguda da arquitetura do músculo esquelético. A arquitetura do músculo esquelético diz respeito à maneira como as fibras musculares estão posicionadas dentro do músculo em relação ao seu eixo de geração de força (LIEBER; FRIDEN, 2000). O posicionamento das fibras musculares pode ser oblíquo ou paralelo ao eixo de geração de força, o que tem implicações funcionais: quanto maior o ângulo de inclinação das fibras musculares em relação ao eixo de geração de força, menos eficiente a transmissão da tensão desenvolvida ao seu respectivo tendão; por outro lado, a produção de tensão pode ser maior em razão da maior acomodação de sarcômeros em paralelo, que ocorre quando as

fibras se dispõem obliquamente (LIEBER; FRIDEN, 2000).

Recentemente, Mahlfeld et al. (2004) verificaram que o ângulo de inclinação das fibras musculares diminui nos instantes subsequentes à realização de contrações voluntárias máximas. Uma vez que ângulos de inserção menores favorecem a transmissão da força produzida para os tendões, pode-se esperar que esta modificação aguda na arquitetura muscular implique em alterações no desempenho da força após a ativação prévia. Contudo, Mahlfeld et al. (2004) não investigaram o efeito desta alteração no desempenho. Além disso, a diminuição no ângulo de inclinação observada neste estudo foi de apenas dois graus, o que produziria um ganho absoluto de força muito pequeno, segundo os próprios autores.

A potencialização da força também pode ser explicada por alterações no padrão de ativação neural. O reflexo H tem sido utilizado nos estudos sobre potencialização a fim de avaliar possíveis alterações neurais. O reflexo H é um reflexo artificial; é utilizado na avaliação da excitabilidade da via reflexa e consiste em aplicar um choque elétrico em um nervo periférico misto (PIERROT-DESEILLIGNY; MAZEVET, 2000; MISIASZEK, 2003; PALMIERI et al., 2004). A resposta do sistema neuromuscular ao reflexo H é obtida pelo registro da atividade eletromiográfica do músculo estimulado (EMG), de forma que quanto maior é a amplitude das ondas H obtidas na eletromiografia maior é também o número de unidades motoras que contribuíram para essa resposta, em função de um maior nível de excitabilidade do *pool* de motoneurônios (PIERROT-DESEILLIGNY; MAZEVET, 2000; MISIASZEK, 2003; PALMIERI et al., 2004). Gullich e Schmidtbleicher (1996) verificaram que a amplitude do reflexo de Hoffmann (reflexo H) avaliada após a realização de 1CVIM de 5s foi maior que a amplitude obtida antes, nos músculos gastrocnêmios e sóleo, de sujeitos atletas e não atletas.

Nesse mesmo estudo de Gullich e Schmidtbleicher (1996) verificou-se correlação significativa ($r=0,89$; $p<0,05$) entre o aumento da amplitude do reflexo H e o aumento do desempenho da força explosiva no movimento

de flexão plantar, avaliados após a realização da atividade condicionante (1CVIM de 5s). Segundo os autores, isso indica que o aumento do desempenho da força explosiva pode ter sido consequência da maior excitabilidade do *pool* de motoneurônios.

Não obstante, parece que nem sempre o aumento da excitabilidade neural é capaz de produzir alterações no desempenho. Folland et al. (2008) testaram o efeito de uma CVIM de dez segundos de duração como atividade condicionante da excitabilidade neuromuscular, medida por meio da *twitch* máxima (força muscular em resposta à estimulação elétrica de intensidade máxima aplicada no neurônio que inerva esse músculo) e do reflexo H, e o efeito do desempenho voluntário, avaliado por meio da extensão de joelhos no aparelho isocinético. Embora a avaliação realizada cinco minutos após a atividade condicionante tenha mostrado a ocorrência de potencialização da força involuntária (*twitch* máxima) e das vias reflexas (aumento do reflexo H), não foram verificadas alterações na taxa de desenvolvimento de força ou do torque máximo durante a extensão voluntária dos joelhos. Isso sugere que a ocorrência de potencialização talvez não seja explicada por um evento fisiológico isolado.

De forma especulativa, Baker (2003) menciona uma série de mecanismos neurais que poderiam, conjuntamente, ser responsáveis pela potencialização. Segundo o autor, a potencialização pode ser explicada por eventos como aumento do recrutamento de unidades motoras, melhora na sincronia dos disparos dos impulsos nervosos, diminuição da influência de mecanismos inibitórios centrais (célula de Renshaw) e periféricos (órgão tendinoso de Golgi) e aumento da inibição recíproca da musculatura antagonista. É razoável especular que as melhoras agudas no desempenho podem ser resultado da combinação de alguns dos eventos neurais propostos por Baker (2003) com mecanismos locais como a fosforilação da miosina RCL e o aumento do trânsito do Ca^{2+} .

Características das atividades estimuladoras da potencialização (atividades condicionantes)

A potencialização da força tem sido estudada em fibras musculares isoladas e em músculos inteiros, de animais ou humanos, por

meio da estimulação involuntária ou voluntária. Como já mencionado, a potencialização induzida por ativação involuntária é referida por potencialização pós-tetania (PPT). A induzida por contrações voluntárias é referida por potencialização pós-ativação (PPA) (VANDERVOORT et al., 1983). Independentemente da sua natureza, o estímulo usado para induzir potencialização é referido por atividade condicionante (AC). A indução da potencialização com estimulação involuntária, conduzida em ambiente de laboratório, consiste em aplicar uma corrente elétrica de alta frequência, com duração entre cinco e dez segundos. A estimulação involuntária pode ser aplicada sobre o nervo motor ou diretamente no músculo (VERGARA et al., 1977; GRANGE et al., 1998; MACINTOSH; WILLIS, 2000), mas para ser produzida uma contração tetânica ela deve ser de alta frequência (ABBATE et al., 2000). A estimulação de alta frequência de um neurônio pré-sináptico leva ao aumento da quantidade de neurotransmissor liberado na fenda sináptica. Esse aumento permanece por alguns minutos, o que facilita a despolarização das células pós-sinápticas nas ativações subsequentes. Isso poderia explicar o aumento da força produzida, já que um número maior de motoneurônios pode ser despolarizado nessa condição (LEV-TOV et al., 1983).

Com base na premissa de que a obtenção de uma contração tetânica é necessária para induzir a potencialização, sugeriu-se inicialmente que, para induzir o efeito de potencialização por intermédio de contrações voluntárias, seria necessária a realização de contrações musculares de alta intensidade. Para isso, os exercícios deveriam ser realizados utilizando-se carga máxima ou próxima da máxima (VANDERVOORT et al., 1983; GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996; SKURVYDAS; ZACHOVAJEVAS, 1998; GOSSEN; SALE, 2000; PAASUKE et al., 2000). Alguns estudos utilizaram exercícios com essas características e tiveram êxito em induzir a potencialização. Em muitos casos os exercícios eram estáticos, ou seja, compostos por contrações isométricas máximas de duração entre três e dez segundos (VANDERVOORT et al., 1983; GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996; HAMADA et al., 2000; FRENCH et al., 2003; PAASUKE et al.,

2007; SMITH; FRY, 2007). Exercícios de força dinâmica com cargas que permitam a realização de uma a cinco repetições máximas (1-5RM) também têm sido utilizados com bastante frequência e sucesso (YOUNG et al., 1998; EVANS et al., 2001; CHIU et al., 2003; GOURGOULIS et al., 2003). Por sua vez, Baker (2003) mostrou que a potencialização do desempenho em membros superiores pode ser induzida com exercícios de intensidade mais baixa, isto é, 65% de 1RM, o que coloca em dúvida a necessidade de ativar os músculos com alta intensidade para produzir a potencialização. Além disso, esse autor sugere que outros eventos, além do aumento do *quantum* de neurotransmissor na fenda sináptica, estejam relacionados com o fenômeno de potencialização.

Alguns estudos sobre a indução da potencialização por contrações voluntárias sugerem que a manifestação da PPA depende de uma série de fatores, além da intensidade da atividade condicionante (VANDERVOORT et al., 1983; GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996; RASSIER, 2000; FRENCH et al., 2003; KILDUFF et al., 2007). No estudo de Gullich e Schmidbleicher (1996) verificou-se que a manifestação da PPA sobre o desempenho depende do volume, da intensidade e da densidade dos exercícios de força utilizados como AC. Por exemplo, o aumento do desempenho do salto vertical foi maior quando o exercício precedente compunha-se de três CVIMs de cinco segundos de duração (3 CVIMs de 5s), em comparação ao aumento induzido por 1 ou 2 CVIMs de igual duração. Além disso, os incrementos na altura do salto vertical foram obtidos quando o exercício de força foi realizado com carga de 1RM ou 5% superior (contrações excêntricas). Por outro lado, quando o exercício foi realizado com carga de 90% de 1RM, não houve qualquer melhora na altura do salto.

Também parece ser importante a duração dos intervalos de descanso entre as séries de exercícios usados para induzir a PPA. Gullich e Schmidbleicher (1996) verificaram que a duração dos intervalos entre os estímulos pode influenciar a magnitude da potencialização atingida. Neste estudo foram comparados protocolos com intervalos de diferentes durações. Os resultados mostraram que maiores

níveis de potencialização foram conseguidos com baixa densidade de estímulos; ou seja, quando os intervalos entre os estímulos duravam cinco minutos, a potencialização atingida era maior, se comparada à obtida quando os intervalos duravam um ou três minutos.

O intervalo entre a atividade condicionante e o exercício por meio do qual a potencialização será avaliada também é importante. Rassier e Macintosh (2000) afirmaram que, durante a estimulação, dois processos acontecem simultaneamente no músculo: um que diminui o desempenho da força ativa (fadiga) e um que o aprimora (potencialização). Segundo estes autores, o resultado da interação entre fadiga e potencialização pode implicar na diminuição da força ativa (força produzida pela interação entre actina e miosina), no seu aumento ou em nenhuma alteração. A ocorrência de um ou de outro evento depende do momento em que o desempenho é avaliado. Quando a avaliação se dá imediatamente após a estimulação os efeitos da fadiga mascaram os da potencialização, o que pode resultar na diminuição ou na manutenção da força ativa. Quando é permitido um intervalo de três a cinco minutos entre o estímulo e o desempenho os efeitos da fadiga se dissipam, enquanto os da potencialização, embora diminuídos, ainda se manifestam. Nesta situação, o desempenho da força apresenta-se aprimorado. Esse fenômeno ficou bem evidenciado no estudo de Kilduff et al. (2007). Nesse estudo, os autores verificaram diminuição na potência pico dos membros inferiores e superiores quando os sujeitos foram avaliados quinze segundos após realizarem uma série de três RMs nos exercícios agachamento e supino, respectivamente. Contudo, tanto nos membros inferiores como nos superiores o desempenho se mostrou melhorado quando as avaliações aconteceram 12 minutos após a série de três RMs, sugerindo que imediatamente após a atividade condicionante os eventos da fadiga ainda prevaleciam sobre os da potencialização.

Essas informações sugerem que a aplicação de um exercício de força durante o aquecimento deve ser adequadamente planejada. Caso o exercício de força seja realizado muito próximo ao exercício principal, o efeito da potencialização pode não se manifestar, ou pior,

pode ser sobreposto pelo efeito da fadiga, o que pode prejudicar o desempenho.

Além da escolha apropriada do momento de aplicação da atividade condicionante, outras estratégias podem ser adotadas para evitar a ocorrência de fadiga. Para evitar a predominância da fadiga sobre os mecanismos de potencialização, parece ser importante que as contrações musculares condicionantes, além de alta intensidade, tenham curta duração. French et al. (2003) verificaram aumentos na altura do salto em profundidade (5,03%), no impulso (9,5%), no torque máximo produzido (5%) e no torque máximo na extensão de joelhos (6,12%) após os sujeitos realizarem 3 séries de CVIM de três segundos de duração; mas nenhuma alteração foi verificada no desempenho quando as mesmas CVIMs tiveram duração de cinco segundos.

O estudo de Batista et al. (2007) dá suporte a essa hipótese e sugere que os protocolos de atividade condicionante com característica intermitente podem ser uma boa solução para induzir os mecanismos da potencialização sem ativar os efeitos da fadiga. Nesse estudo, os sujeitos realizaram como atividade condicionante uma série de dez extensões unilaterais de joelho no aparelho isocinético, com velocidade de $60^\circ \times s^{-1}$, respeitando intervalos de 30 segundos entre as contrações. Para verificar o efeito de potencialização sobre o desempenho, o torque de extensão do joelho foi avaliado nos intervalos subsequentes de 4, 6, 8, 10 e 12 minutos. Surpreendentemente, verificou-se que o torque muscular teve um aumento progressivo de 1,3 N•m, de contração para contração, ao longo da série de dez extensões do joelho. Além disso, o torque permaneceu aumentado por doze minutos após a realização da última extensão. Os autores especularam que o fato de as contrações musculares condicionantes terem tido duração de apenas 1,5 segundo ($60^\circ \times s^{-1}$ por uma amplitude de 90°) fez com que os mecanismos responsáveis pela potencialização fossem ativados em maior proporção que os mecanismos responsáveis pela fadiga. Além disso, os intervalos entre contrações permitiram a dissipação de alguma fadiga produzida, o que levou à prevalência dos eventos da potencialização.

Um fator importante da potencialização, que também justifica o interesse em seu estudo e aplicação prática ao esporte, refere-se ao tempo de sua manifestação. Alguns estudos demonstraram que o aumento temporário do desempenho muscular pode ser percebido até 20 minutos após a realização de uma atividade estimuladora (VERGARA et al., 1977; VANDERVOORT et al., 1983; GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996; O'LEARY et al., 1997; TRIMBLE; HARP, 1998). Interessantemente, o início da manifestação do fenômeno acontece em diferentes instantes quando avaliada por meio de ativação involuntária ou voluntária. Quando avaliada involuntariamente, a potencialização é notada já nos primeiros segundos após a atividade estimuladora, mas quando avaliada pelo desempenho em uma tarefa motora, sua manifestação somente se verifica três ou quatro minutos mais tarde. Segundo Rassier e Macintosh (2000), esse retardo na manifestação da potencialização quando avaliada por intermédio de contrações voluntárias poderia estar relacionado com a interação entre os mecanismos causadores de fadiga e potencialização.

Outros fatores que podem influenciar a manifestação da potencialização

Outro fator importante a ser considerado quando se pretende desencadear o efeito de potencialização é a característica do músculo que se está estimulando. A potencialização é mais pronunciada em músculos com predominância de fibras tipo II, em comparação àqueles em que predominam as fibras tipo I. No estudo de Hamada et al. (2000) a estimulação dos extensores do joelho com 1CVM de 10s resultou em maior potencialização naqueles sujeitos com maior porcentagem de fibras tipo II. Utilizando um protocolo de estimulação diferente, composto por 16 CVIMs de 5s, Hamada et al. (2003) demonstraram que indivíduos com predominância de fibras tipo II no músculo vasto lateral são mais suscetíveis à potencialização.

Lougheed e Hicks (1999) estudaram os efeitos de diferentes tipos de contrações (isométricas, concêntricas e excêntricas) nos músculos flexores plantar e dorsiflexores do

tornozelo. Nesse estudo, a potencialização foi evidente nos flexores plantares, os quais são músculos com predominância de fibras tipo II, mas não se manifestou nos dorsiflexores, onde predominam fibras tipo I. Os resultados foram semelhantes para os três tipos de contração utilizados. A maior potencialização em fibras tipo II é explicada pelo fato de esse tipo de fibra ser mais suscetível à fosforilação da miosina RCL (MOORE; STULL, 1984; GRANGE et al., 1998). Uma explicação para essa diferença entre fibras rápidas e lentas deve-se à diferença na atividade das enzimas quinase e fosfatase da miosina RCL entre os tipos de fibra. Em ratos, a atividade da quinase é três vezes maior nas fibras tipo II do que nas fibras tipo I, o que explicaria sua maior capacidade de fosforilação. Além disso, a taxa de defosforilação é muito maior nas fibras lentas, uma vez que nessas fibras a atividade da fosfatase é maior do que nas fibras rápidas (HOUSTON et al., 1985).

Não se pode, por outro lado, deixar de citar que outros estudos demonstraram ocorrência de potencialização em fibras tipo I ou deram evidências de sua ocorrência. Belanger e McComas (1989), em um estudo que teve como objetivo analisar possíveis mudanças da potencialização em decorrência da puberdade, verificaram a ocorrência de potencialização tanto nos músculos flexores plantares do tornozelo como nos dorsiflexores, demonstrando que músculos com predominância de fibra tipo I também são suscetíveis à potencialização.

Hamada et al. (2000) demonstraram ocorrência de potencialização em um estudo que envolveu triatletas, corredores de longa distância, praticantes de treinamento de força em nível recreativo e sujeitos sedentários. Os sujeitos foram estimulados nos músculos tríceps sural e tríceps braquial com uma única contração voluntária isométrica máxima de dez segundos de duração (1CVIM de 10s). A manifestação da potencialização se deu apenas naqueles músculos que eram envolvidos em algum tipo de treinamento. Por exemplo, triatletas e praticantes de treinamento com peso, que treinam tanto os membros superiores quanto os inferiores, tiveram potencializados os extensores do cotovelo e os flexores plantares; por outro lado, corredores de longa distância, que somente treinam os membros inferiores, manifestaram a

potencialização apenas nos flexores plantares. Segundo os autores, considerando-se que atletas de corridas de longa distância possuem predominantemente fibras musculares de tipo I, o resultado mais esperado seria uma depressão da potencialização, ao invés de seu aumento. Apesar disso eles apontam que o treinamento de resistência aeróbia pode aumentar a potencialização, porque as adaptações ocorridas em função do treinamento dessa capacidade motora, como, por exemplo, o aumento do conteúdo de miosina de cadeia leve “rápida” em fibras do tipo I, podem ampliar a capacidade de fosforilação da miosina RCL, o que por sua vez tem sido relacionado com um dos prováveis mecanismos da potencialização. Estes resultados sugerem que a manifestação da potencialização parece ser influenciada por fatores genéticos, mas também pelas adaptações promovidas pelo treinamento.

Avaliação da manifestação da potencialização

Da mesma maneira que a forma de estimulação da potencialização, a sua manifestação também pode ser avaliada por intermédio de ativações musculares involuntárias ou voluntárias. Nos estudos nos quais a avaliação do efeito de potencialização é feita por contrações involuntárias, costuma-se comparar o desempenho muscular antes e após a aplicação da atividade condicionante, por meio da resposta a um estímulo elétrico isolado, conhecida como “twitch”. O desempenho muscular em resposta à estimulação pode ser avaliado pela combinação de informações provenientes do registro eletromiográfico (EMG) e de um dinamômetro. Utilizam-se para comparação dados como grau de ativação muscular, velocidade, taxa de desenvolvimento de força, pico de força, tempo para alcance do pico de força, tempo de duração da contração muscular e tempo de meio relaxamento (OLEARY et al., 1997; EBBEN et al., 2000; PAASUKE et al., 2007).

Alguns estudos avaliaram o efeito de potencialização por meio de contrações musculares voluntárias utilizando movimentos uniarticulares como, por exemplo, a extensão de joelhos (GOSSEN; SALE, 2000; HAMADA et al., 2003) e a flexão plantar (HAMADA et al., 2000; PAASUKE et al., 2000). Por outro lado, o

interesse em aplicar a PPA ao esporte inspirou uma série de estudos nos quais a potencialização foi avaliada por meio de tarefas motoras complexas. Os exercícios mais frequentemente utilizados para esse propósito são os saltos horizontais e verticais com ou sem contramovimento (RADCLIFFE; RADCLIFFE, 1996; CHIU et al., 2003; KOCH et al., 2003) e o arremesso de barra no exercício supino (HRYSONALLIS; KIDGELL, 2001; BAKER, 2003). O interesse especial em verificar a potencialização nesses exercícios se justifica pelo fato de estarem relacionados com o desempenho em um grande número de modalidades esportivas.

O fenômeno da potencialização tem aplicação prática?

Alguns estudos demonstraram que exercícios dependentes da manifestação da força explosiva, como saltos, chutes e arremessos, podem ser potencializados, ou seja, apresentar melhora aguda do desempenho quando no aquecimento são realizados exercícios de força (GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996; GOURGOULIS et al., 2003). Por exemplo, o desempenho do salto vertical pode sofrer uma melhora temporária de 3,3% após os sujeitos realizarem 3CVIMs de 5s, utilizando o exercício *leg press* (GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996). Radcliffe e Radcliffe (1996) verificaram um aumento na distância do salto horizontal de 1,5%, após os indivíduos realizarem quatro séries, com carga de 75-85% de 4RMs, no exercício arranque. O arremesso da barra no exercício supino (realizado no aparelho Smith) foi 3% mais potente cinco minutos após a realização de 1 x 5RMs, no mesmo exercício (EVANS et al., 2001).

Apesar de os estudos citados suportarem ser vantajoso para o desempenho incluir exercícios de força no aquecimento, outros estudos colocam em dúvida a validade desse procedimento, uma vez que seus resultados não apontaram qualquer benefício de tal prática. Por exemplo, a realização de 1 x 5RMs no agachamento não provocou nenhuma alteração na altura do salto vertical com contramovimento avaliado quatro minutos após o exercício de força (JENSEN; EBBEN, 2003). O desempenho do salto vertical também não foi melhorado

quando precedido de 3 CVIMs de 5 s, usando o exercício *leg press* (BATISTA et al., 2003). Além disso, a produção de potência em membros superiores não foi melhorada após a realização 1 x 3-5RMs no exercício supino (EBBEN et al., 2000; HRYDOMALLIS; KIDGELL, 2001).

Discutimos anteriormente como a atividade condicionante pode influenciar a ocorrência da potencialização da força explosiva; mas entre os fatores determinantes para sua observação, o nível de treinamento dos indivíduos e seus níveis de força também parecem desempenhar grande importância (GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996).

Alguns estudos reforçam que a eficiência dos exercícios de força em induzir potencialização depende do nível de força dos sujeitos. Em dois estudos demonstrou-se que a melhora momentânea do desempenho era maior nos indivíduos com maior nível de força dinâmica máxima avaliada no teste uma repetição máxima (1RM). Por exemplo, no estudo de Duthie et al. (2002) a potencialização do pico de força gerado durante o salto vertical com carga adicional (30% 1RM) foi superior nos sujeitos com melhor desempenho no teste de força dinâmica máxima (FDM) de 3RMs, após realizarem 1 x 3RMs no agachamento. No estudo de Gourgoulis et al. (2003) a altura do salto vertical com contramovimento também foi superior nos sujeitos com maior nível de FDM (1RM), após realizarem duas repetições, com as cargas de 20, 40, 60, 80 e 90% de 1RM, no agachamento; contudo, Duthie et al. (2002) não verificaram qualquer alteração na altura do salto vertical com carga adicional, quando analisados os sujeitos com melhor desempenho no teste de 3RMs. Da mesma forma, Scott e Docherty (2004) não verificaram melhoras na altura e distância dos saltos vertical e horizontal, respectivamente, após sujeitos com experiência em treinamento de força realizarem 1 x 5RMs no agachamento. Hyrsomallis e Kidgel (2001) testaram a potencialização em indivíduos não atletas, porém experientes em treinamento de força, e não verificaram qualquer alteração na força explosiva de membros superiores após a realização de 1 x 5RMs no exercício supino. Além disso, Sleivert et al. (1999) submeteram um grupo de indivíduos a um programa de

treinamento de força isométrica máxima por um período de dez semanas e não verificaram qualquer potencialização do desempenho da extensão de joelhos, antes ou após o período de treinamento. Isso significa que, apesar de o programa de treinamento haver elevado o nível de força dos sujeitos, eles continuavam incapazes de produzir o efeito de potencialização.

Também foi sugerido que o efeito de potencialização é mais pronunciado em atletas envolvidos em modalidades esportivas de potência, mas os estudos a esse respeito também apresentam resultados contraditórios. Chiu et al. (2003) compararam o efeito de potencialização entre atletas de diferentes modalidades e indivíduos classificados como fisicamente ativos, em resposta ao aquecimento com cinco séries de uma repetição com carga de 90% de 1RM. O desempenho do salto vertical foi potencializado nos atletas, mas não sofreu qualquer alteração nos fisicamente ativos.

No estudo de French et al. (2003), indivíduos atletas de modalidades de potência tiveram potencializada a altura de seu salto vertical após a realização de 3 x 3CVIMs de 3s; porém nesse estudo não houve comparação do desempenho dos atletas com um grupo de indivíduos não atletas.

Koch et al. (2003) compararam o efeito de potencialização, no salto horizontal, entre atletas (velocistas e saltadores) universitários e sujeitos não treinados. Os autores não verificaram diferença alguma entre desempenhos 15 minutos após realizarem 1 x 3RM no agachamento, com cargas de 50, 75 e 85% de 1RM. Ebben et al. (2000) testaram a potencialização em atletas de modalidades de potência, e também não observaram qualquer alteração no desempenho da força explosiva de membros superiores, após a realização de 1 x 5RMs no exercício supino.

Gullich e Schmidtbleicher (1996) mostraram que a potencialização foi superior quando induzida em indivíduos atletas de força explosiva em comparação a indivíduos fisicamente ativos. Isso, porém, foi verificado no desempenho de uma contração muscular involuntária, não se podendo afirmar que o mesmo comportamento seria verificado em tarefas motoras voluntárias, como, por exemplo, o salto vertical.

Radcliffe e Radcliffe (1996) submeteram atletas de nível universitário a um aquecimento que consistiu de quatro séries de 4RMs com 75-85% de 1RM, no agachamento e no arranque. A distância do salto horizontal, avaliado três minutos após, não foi potencializada quando utilizado o exercício agachamento como atividade condicionante, porém foi 1% superior quando o exercício arranque foi utilizado.

Como se vê, embora existam importantes evidências, ainda não é claro se o estado de treinamento dos sujeitos influencia a manifestação da potencialização. É possível que a intensidade dos exercícios de força não tenha sido suficiente para estimular a potencialização, já que, na maioria dos estudos sobre o efeito do estado de treinamento, foram utilizadas contrações dinâmicas (iguais ou inferiores a 1RM). Em um único estudo comparou-se a eficiência dos dois tipos de contração em induzir a potencialização em indivíduos atletas. Neste, somente as CVIMs se mostram eficientes (GULLICH; SCHMIDTBLEICHER, 1996). Além disso, como sugere o estudo de Radcliffe e Radcliffe (1996), outros fatores podem interferir na manifestação da potencialização, como, por exemplo, o tipo de exercício utilizado no aquecimento.

CONCLUSÕES

A potencialização é um fenômeno que pode ser explicado por diferentes eventos fisiológicos intramusculares ou de origem neural. Os estudos conduzidos até o momento não permitem atribuir a melhora observada no desempenho muscular a um evento isolado.

A inclusão de exercícios de força no aquecimento para modalidades de força e potência pode ser uma estratégia interessante para induzir a potencialização, já que em muitos estudos verificaram-se melhoras no desempenho após esse tipo de intervenção. Deve-se, no entanto, escolher adequadamente o exercício de força e programar corretamente o momento da sua realização no aquecimento, a fim de que essa estratégia não desencadeie os mecanismos da fadiga de modo a prejudicar o desempenho subsequente.

Exercícios em isometria ou exercícios dinâmicos podem ser utilizados com sucesso como atividades condicionantes. Seja qual for a escolha, parece fundamental que estes exercícios sejam de intensidade próxima à máxima e que tenham curta duração. Se a atividade condicionante tiver caráter intermitente, devem-se respeitar intervalos de descanso adequados entre as séries.

POSTACTIVATION POTENTIATION: POSSIBLE PHYSIOLOGICAL MECHANISMS AND ITS APPLICATION DURING POWER ATHLETES' WARM UP

ABSTRACT

Warm-up is a common practice among athletes. Evidences suggest that conventional warm-up routines may prevent injuries and improve performance in tasks dependent on oxygen provision to the muscles. However, it is questionable whether this approach is valid for athletes relying mainly on muscle power. Some studies propose that these athletes may benefit from the addition of strength exercises on their conventional warm-up routines. This hypothesis is based on the potentiation phenomenon, which is triggered when muscles are activated by means of high intensity stimulation. Thus, this review aimed to investigate the existing literature and discuss if the proposed addition of strength exercises on a conventional warm-up routine may be beneficial for athletes competing in power events. In addition, the work presents the possible mechanisms responsible for potentiation and identifies appropriate strategies for triggering this phenomenon, improving performance.

Keywords: Athletic performance. Muscle strength. Athletics.

REFERÊNCIAS

ABBATE, F. et al. Effects of high-frequency initial pulses and posttetanic potentiation on power output of skeletal muscle. **Journal Applied Physiology**, Washington, v. 88, no. 1, p. 35-40, 2000.

BAKER, D. Acute effect of alternating heavy and light resistances on power output during upper-body complex power training. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 17, no. 3, p. 493-497, 2003.

BATISTA, M. A. B. et al. Potencialização: a influência da contração muscular prévia no desempenho da força rápida. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, Brasília, DF, v. 11, n. 2, p. 7-12, 2003.

BATISTA, M. A., et al. Intermittent exercise as a conditioning activity to induce postactivation potentiation. **Journal Strength Conditionin Research**, v. 21, n.3, p.837-840. 2007.

- BEHM, D. G.; KIBELE, A. Effects of differing intensities of static stretching on jump performance. **European Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 101, no. 5, p. 587-594, 2007.
- BELANGER, A. Y. e MCCOMAS, A. J. Contractile properties of human skeletal muscle in childhood and adolescence. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, Berlin, v.58, n.6, p.563-567, 1989.
- BISHOP, D. Warm up I: Potential Mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. **Sports Medicine**, Auckland, N.Z., v. 33, p. 439-454, 2003a.
- BISHOP, D. Warm up II: Performance changes following active warm up and how to structure the warm up. **Sports Medicine**, Auckland, N.Z., v. 33, p. 483-498, 2003b.
- CHATZOPOULOS, D. E. et al. Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 21, no. 4, p. 1278-1281, 2007.
- CHIU, L. Z. et al. Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. **J. Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 17, no. 4, p. 671-677, 2003.
- CHURCH, J. B. et al. Effect of warm-up and flexibility treatments on vertical jump performance. **J Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 15, no. 3, p. 332-336, 2001.
- CORNWELL, A. et al. Acute effects of passive muscle stretching on vertical jump performance. **Journal of Human Movement Studies**, London, v. 40, p. 307-324, 2001.
- CRAMER, J. T. et al. The acute effects of static stretching on peak torque, mean power output, electromyography, and mechanomyography. **European Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 93, no. 5-6, p. 530-539, 2005.
- DUTHIE, G. M. et al. The acute effects of heavy loads on jump squat performance: an evaluation of the complex and contrast methods of power development. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 16, p. 530-538, 2002.
- EBBEN, W. et al. Electromyographic and kinetic analysis of complex training variables. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 14, no. 4, p. 451-456, 2000.
- EVANS, A. et al. Acute effects of bench press on power output during a subsequent ballistic bench throw. **Medicine and Science in Sports Exercise**, Madison, v. 33, no. 5, pS325, 2001.
- FLETCHER, I. M.; JONES, B. The effect of different warm-up stretch protocols on 20 meter sprint performance in trained rugby union players. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 18, no. 4, p. 885-888, 2004.
- FOLLAND, J. P., et al. The influence of maximal isometric activity on twitch and H-reflex potentiation, and quadriceps femoris performance. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.104, n.4, p.739-748. 2008.
- FRENCH, D. N. et al. Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 17, no. 4, p. 678-685, 2003.
- GOSSEN, E. R.; SALE, D. S. Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. **European Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 83, p. 524-530, 2000.
- GOURGOULIS, V. et al. Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 17, p. 342-344, 2003.
- GRANGE, R. W. et al. Potentiation of in vitro concentric work in mouse fast muscle. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 84, no. 1, p. 236-243, 1998.
- GULLICH, A.; SCHMIDTBLEICHER, D. MVC-induced short-term potentiation of explosive force. **N. Stud. Athlet.**, Monaco, v. 11, p. 67-81, 1996.
- HAMADA, T. et al. Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. **Medicine and Science in Sports Exercise**, Madison, v. 32, no. 3, p. 403-411, 2000.
- HAMADA, T. et al. Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. **Acta Physiologica Scandinavica**, Stockholm, v. 178, no. 2, p. 165-173, 2003.
- HOUSTON, M. E. et al. Myosin light chain phosphorylation and isometric twitch potentiation in intact human muscle. **Pflügers Archive**, Berlin, v. 403, p. 348-352, 1985.
- HRYSOMALLIS, C.; KIDGELL, D. Effect of heavy dynamic resistive exercise on acute upper-body power. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 15, no. 4, p. 426-430, 2001.
- JENSEN, R. L.; EBBEN, W. P. Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 17, no. 2, p. 345-349, 2003.
- KERRICK, W. G., et al. The apparent rate constant for the dissociation of force generating myosin crossbridges from actin decreases during Ca²⁺ activation of skinned muscle fibres. **Journal of Muscle Research and Cell Motility**, London, v.12, n.1, p.53-60. 1991.
- KILDUFF, L. P. et al. Postactivation potentiation in professional rugby players: optimal recovery. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 21, no. 4, p. 1134-1138, 2007.
- KOCH, A. J. et al. Effect of warm-up on the standing broad jump in trained and untrained men and women. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 17, no. 4, p. 710-714, 2003.
- KOKKONEN, J. et al. Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. **Research Quarterly Exercise and Sport**, Washington Dc, v. 69, no. 4, p. 411-415, 1998.
- LEV-TOV, A. et al. Posttetanic potentiation of group Ia EPSPs: possible mechanisms for differential distribution among medial gastrocnemius motoneurons. **Journal Neurophysiology**, Bethesda, v. 50, no. 2, p. 379-398, 1983.

- LIEBER, R. L.; FRIDEN, J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. **Muscle & Nerve**, New York, v. 23, no. 11, p. 1647-1666, 2000.
- LOUGHEED, K. J. e HICKS, A. L. Post activation potentiation in human dorsiflexor and plantarflexor muscles following, eccentric and concentric contractions. **Medicine and Science in Sports Exercise, Madison**, v.31, p.S221. 1999.
- MACINTOSH, B. R.; RASSIER, D. E. What is Fatigue? **Canadian Journal Applied Physiology**, Champaign, v. 27, no. 1, p. 42-55, 2002.
- MACINTOSH, B. R.; WILLIS, J. C. Force-frequency relationship and potentiation in mammalian skeletal muscle. **Journal Applied Physiology**, Washington, v. 88, p. 2088-2096, 2000.
- MAHLFELD, K., et al. Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. **Muscle & Nerve**, New York, v.29, n.4, p.597-600. 2004.
- MISIASZEK, J. E. The H-reflex as a tool in neurophysiology: its limitations and uses in understanding nervous system function. **Muscle & Nerve**, New York, v. 28, no. 2, p. 144-160, 2003.
- MOORE, R. L.; STULL, J. T. Myosin light chain phosphorylation in fast and slow skeletal muscles in situ. **American Journal of Physiology**, Baltimore, v. 247, p. C462-471, 1984.
- O'BRIEN, B. et al. A comparison of active and passive warm ups on energy system contribution and performance in moderate heat. **Australian Journal of Science and Medicine in Sport**, Pennant Hills, v. 29, no. 4, p. 106-109, 1997.
- O'LEARY, D. D. et al. Posttetanic potentiation of human dorsiflexors. **Journal Applied Physiology**, Washington, v. 83, no. 6, p. 2131-2138, 1997.
- PAASUKE, M. et al. Twitch contraction properties of plantar flexor muscles in pre- and post-pubertal boys and men. **Eur. Journal Applied Physiology**, Washington, v. 82, no. 5-6, p. 459-464, 2000.
- PAASUKE, M. et al. Postactivation potentiation of knee extensor muscles in power- and endurance-trained, and untrained women. **Eur. Journal Applied Physiology**, Washington, v. 101, no. 5, p. 577-585, 2007.
- PALMIERI, R. M. et al. The Hoffmann Reflex: Methodologic Considerations and Applications for Use in Sports Med and Athletic Training Research. **Journal Athletic Training**, Dallas, v. 39, no. 3, p. 268-277, 2004.
- PARKMAN, H. P. et al. Myosin light chain phosphorylation correlates with contractile force in guinea pig gallbladder muscle. **Digestive Diseases Science**, New York, v. 46, no. 1, p. 176-181, 2001.
- PIERROT-DESEILLIGNY, E.; MAZEVET, D. The monosynaptic reflex: a tool to investigate motor control in humans. Interest and limits. **Neurophysiol. Clin.**, Amsterdam, v. 30, no. 2, p. 67-80, 2000.
- RADCLIFFE, J. C.; RADCLIFFE, J. L. Effects of different warm-up protocols on peak power output during a single response jump task. **Medicine and Science in Sports Exercise**, Madison, v. 28, p. s189, 1996.
- RASSIER, D. E. The effects of length on fatigue and twitch potentiation in human skeletal muscle. **Clinic Physiology**, Oxford, v. 20, no. 6, p. 474-482, 2000.
- RASSIER, D. E. e MACINTOSH, B. R. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. **Brazilian Journal of Medicine and Biological Research**, São Paulo, v.33, n.5, p.499-508. 2000.
- RUBINI, E. C. et al. The effects of stretching on strength performance. **Sports Medicine**, Auckland, N.Z., v. 37, no. 3, p. 213-224, 2007.
- SALE, D. G. Postactivation potentiation: role in human performance. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, New York, v. 30, no. 3, p. 138-143, 2002.
- SCOTT, S. L. e DOCHERTY, D. Acute effects of heavy preloading on vertical and horizontal jump performance. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v.18, n.2, p.201-205. 2004.
- SKURVYDAS, A.; ZACHOVAJEVAS, P. Is posttetanic potentiation, low frequency fatigue (LFF) and pre-contractile depression (PCD) coexistent in intermittent isometric exercises of maximal intensity? **Acta Physiologica Scandinavica**, Stockholm, v. 164, p. 127-133, 1998.
- SLEIVERT, G. G., et al. The effect of resistance training on postactivation potentiation of isometric twitches and dynamic voluntary moviments. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.31, n.5 (supplement), p.s327. 1999.
- SMITH, J. C.; FRY, A. C. Effects of a ten-second maximum voluntary contraction on regulatory myosin light-chain phosphorylation and dynamic performance measures. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 21, no. 1, p. 73-76, 2007.
- STEWART, D. et al. The effect of an active warm-up on surface EMG and muscle performance in healthy humans. **European Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 89, no. 6, p. 509-513, 2003.
- SWEENEY, H. L. e STULL, J. T. Alteration of cross-bridge kinetics by myosin light chain phosphorylation in rabbit skeletal muscle: implications for regulation of actin-myosin interaction. **Proceedings of the National Academy of Sciences, U S A**, Washington, v.87, n.1, p.414-418. 1990.
- TRIMBLE, M. H.; HARP, S. S. Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. **Medicine and Science in Sports Exercise**, Madison, v. 30, p. 933-941, 1998.
- TUBMAN, L. A. et al. Myosin light chain phosphorylation and posttetanic potentiation in fatigued skeletal muscle. **Pflügers Archive**, Berlin, v. 431, no. 6, p. 882-887, 1996.
- TUBMAN, L. A. et al. Attenuation of myosin light chain phosphorylation and posttetanic potentiation in atrophied skeletal muscle. **Pflügers Archive**, Berlin, v. 434, no. 6, p. 848-851, 1997.
- VANDENBOOM, R.; HOUSTON, M. E. Phosphorylation of myosin and twitch potentiation in fatigued skeletal muscle. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, Ottawa, v. 74, no. 12, p. 1315-1321, 1996.

- VANDERVOORT, A. A. et al. Twitch potentiation after voluntary contraction. **Experimental Neurology**, New York, v. 81, p. 141-152, 1983.
- VERGARA, J. L. et al. Fatigue and posttetanic potentiation in single muscle fibers of the frog. **American Journal of Physiology**, Baltimore, v. 232, no. 5, p. C185-190, 1977.
- VERKHOSHANSKY, Y. V.; SIFF, M. C. Some facts on warming up. **Fitness sports rev. int.**, Escondido, v. 28, p. 64-65, 1993.
- VETTER, R. E. Effects of six warm-up protocols on sprint and jump performance. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 21, no. 3, p. 819-823, 2007.
- WEIR, D. E. et al. Acute passive stretching alters the mechanical properties of human plantar flexors and the optimal angle for maximal voluntary contraction. **European Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 93, no. 5-6, p. 614-623, 2005.
- WOODS, K. et al. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. **Sports Medicine**, Auckland, N.Z., v. 37, no. 12, p. 1089-1099, 2007.
- YOUNG, W. B.; BEHM, D. G. Effects of running, static stretching an practice jumps on expasive force production and jumping performance. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino, v. 43, p. 21-27, 2003.
- YOUNG, W. B. et al. Acute enhancement of power performance from heavy load squats. **Journal Strength Conditionin Research**, Champaign, v. 12, p. 82-84, 1998.

Recebido em 10/12/2008

Revisado em 23/03/2009

Aceito em 02/04/2009

Endereço para correspondência: Mauro A. B. Batista. Escola de Educação Física e Esporte. Universidade de São Paulo. Av. Prof. Mello Moraes, 65 - Butantã, CEP 05508-030, São Paulo-SP, Brasil.
E-mail: maurobatista@usp.br