

ADAPTAÇÕES NEURAIS AO TREINAMENTO DE FORÇA

MICHEL A. BRENTANO
RONEI S. PINTO

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Educação Física

resumo

O incremento na produção de força do músculo esquelético, induzido pelo treinamento de força, não depende somente da quantidade ou qualidade dos músculos envolvidos no exercício, mas também da habilidade do sistema nervoso em ativar adequadamente os grupos musculares envolvidos. O treinamento de força parece provocar alterações no sistema nervoso (adaptações neurais) que proporcionam uma otimização na ativação dos grupos musculares, além de um aprimoramento na coordenação dos movimentos. O termo "adaptações neurais" tem sido utilizado para resumir os fenômenos que influenciam no aumento da força, e a técnica da eletromiografia (EMG) tem mostrado indícios de adaptações no sistema nervoso, uma vez que, diversos estudos mostram que o incremento na força, proporcionado pelo treinamento, é acompanhado por um aumento do sinal EMG, fenômeno que vem sendo observado em homens, mulheres, idosos e crianças. Sendo assim, parece provável que o aspecto neural possa ser avaliado através da técnica da EMG.

PALAVRAS-CHAVE: Adaptações Neurais, Eletromiografia, Treinamento de força.

abstract

NEURAL ADAPTATIONS TO STRENGTH TRAINING

The increase in force production by skeletal muscle depends not only on the quantity and quality of the involved muscles, but also upon the ability of the nervous system to appropriately activate the involved muscles. The strength training seems induce changes in nervous system (neural adaptations) that provide a optimization in muscle activation, beyond a better coordination in movements. The term "neural adaptations" have been utilized to resume the phenomenons that influence in increase of force, and the electromyographic technique (EMG) have shown adaptations in nervous system, once several studies show that increases in force is accompanied by a increase in EMG signal. This phenomen have been observed in men, women, older adults and children. Then, it seems that the neural aspect can be evaluated through of the EMG technique.

KEY WORDS: Neural adaptations, Electromyography, Strength training.

INTRODUÇÃO

Os principais fatores que contribuem para o incremento de força durante o treinamento são as adaptações neurais e as morfológicas (MORITANI & DE VRIES, 1979; AKIMA, 1999). As adaptações neurais envolvem ajustes no sistema nervoso para a aquisição de habilidade e ativação máxima do músculo (maior eficiência no recrutamento, aumento da ativação neural, diminuição da co-ativação dos músculos antagonistas). As adaptações morfológicas do músculo esquelético envolvem um aumento da área de secção-transversa (AST) das fibras musculares, alterações no ângulo de penação das fibras (KAWAKAMI *et al.*, 1993, KAWAKAMI *et al.*, 1995) e, possivelmente, hiperplasia (ALWAY *et al.*, 1989), embora esse aspecto ainda não seja comprovado devido a resultados controversos (MCCALL *et al.*, 1996).

É praticamente consenso (MORITANI & DE VRIES, 1979; HAKKINEN & KOMI, 1983; SALE, 1988) que os ganhos iniciais de força, principalmente em indivíduos não treinados, deva-se ao aumento da ativação neural voluntária dos músculos treinados, enquanto que a hipertrofia muscular assume, gradativamente, uma função importante no desenvolvimento da força em períodos posteriores. Isso tem sido observado em homens, mulheres (HAKKINEN *et al.*, 1992), crianças (OZMUN, 1994) e idosos (HAKKINEN, 1996).

Portanto, devido à existência de mecanismos diferenciados, responsáveis pelos ganhos de força, torna-se fundamental o entendimento de cada um, assim como suas formas de manifestação. Essa revisão pretende mostrar alguns aspectos referentes às adaptações neurais proporcionadas pelo treinamento, responsáveis pelo incremento de força.

ADAPTAÇÕES NEURAIS

O termo "adaptações neurais" tem sido utilizado para resumir três fenômenos que influenciam o aumento da força: o aumento do número de unidades motoras (UMs) recrutadas (HAKKINEN *et al.* 1985b), o aumento da frequência de disparo dessas UMs e uma redução na co-ativação dos grupos musculares antagonistas ao movimento.

Na maioria dos estudos, a eletromiografia (EMG) é utilizada na avaliação das adaptações neurais proporcionadas pelo treinamento de força (MORITANI & DE VRIES, 1979; HAKKINEN *et al.*, 1985;

NARICI *et al.*, 1989; BOSCO *et al.*, 2000), uma vez que os dois primeiros fenômenos "neurais" anteriormente citados, influenciam na amplitude e densidade do sinal EMG (MORITANI & DE VRIES, 1978). Porém, recentemente, a imagem de ressonância magnética (RM) tem sido utilizada na determinação das porções ativadas e inativadas dos músculos (AKIMA *et al.*, 1999), caracterizando um segundo método na avaliação do aspecto neural no treinamento de força.

Segundo os autores, a maior vantagem da utilização de imagens de RM é a possibilidade de avaliar músculos que não estejam na superfície, sendo essa, uma importante limitação da EMG de superfície.

O aspecto neural tem sido analisado em diversas populações e faixas etárias no decorrer de um treinamento de força, por isso, algumas considerações serão mostradas a seguir.

CO-ATIVAÇÃO DOS MÚSCULOS ANTAGONISTAS

A co-ativação dos músculos antagonistas é um fenômeno freqüentemente observado quando são necessários altos níveis de força, chegando, em algumas ocasiões, a serem ativados em um nível próximo a um movimento onde seriam agonistas (ALKNER *et al.*, 2000).

Alguns estudos mostram um aumento na força dos músculos extensores do joelho após um treino isométrico, sem que a ativação dos músculos agonistas seja alterada, isso sendo justificado pela diminuição da co-ativação dos músculos antagonistas (GARFINKEL & CAFARELLI, 1992; WEIR *et al.*, 1994). RABITA *et al.* (2000) sugerem ainda, que a inexistência de alterações na atividade dos músculos agonistas pode ser atribuída ao fato dessas conclusões estarem baseadas apenas no eletromiograma de 1 ou 2 músculos que compõem o quadríceps, não representando o músculo como um todo.

Exemplificando a questão, WEIR *et al.* (1994) dividiram 7 mulheres e 6 homens fisicamente ativos, mas sem histórico de treino de força nos últimos 6 meses, em um grupo treino (4 mulheres e 3 homens) e um grupo controle (3 homens e 3 mulheres). O grupo treino (GT) treinou isometricamente o quadríceps da perna direita, 3 vezes por semana em dias intercalados, durante 6 semanas. As sessões de treino consistiram em 2 séries de 10 contrações isométricas (30 segundos) dos extensores do joelho na posição de 45° abaixo da linha horizontal, com intervalos de 2 minutos entre cada série. A intensidade utilizada foi de 80%

da contração voluntária máxima (CVM). A cada duas semanas, a CVM era reavaliada a fim de modular uma nova carga.

Os testes foram antecedidos de um aquecimento em bicicleta ergométrica e exercícios de alongamento. Posteriormente, foi realizada uma familiarização com o protocolo através da execução de uma série de contrações isométricas máximas em um dinamômetro isocinético Cybex II. Os indivíduos foram testados nos ângulos articulares de 0, 15°, 45°, 60° e 90° abaixo do plano horizontal. Em cada posição articular, foram executadas duas contrações voluntárias máximas de 6 segundos (a de maior valor foi utilizada), com 2 minutos de intervalo entre cada contração. Paralelamente, o sinal EMG do vasto lateral foi coletado através de eletrodos de superfície em configuração bipolar (5cm de distância entre os eletrodos) colocados na posição média entre a base da patela e o ligamento inguinal, e o eletrodo de referência foi posicionado na cabeça da fíbula. Para todos os indivíduos, a impedância entre os eletrodos foi mantida abaixo de 2000 Ohms. A fim de garantir o mesmo posicionamento dos eletrodos durante o período de treino, foram feitas marcas na pele dos indivíduos, ao redor da circunferência dos eletrodos, com aplicadores de nitrato de prata. A frequência de corte do sinal EMG ficou entre 10 e 300Hz no nível de 3-dB e uma filtragem "rejeita banda" em 60-Hz de 100db também foi utilizada.

Foi constatada uma interação envolvendo a variável "segmento", sugerindo que a resposta ao treinamento é igual no segmento treinado e não-treinado, mostrando a ocorrência de "cross-education", também denominado efeito contra-lateral. Por isso, a média dos torques de ambos os segmentos foram considerados na análise. Sendo assim, encontrou-se um aumento significativo no torque isométrico nas posições 15°(23,3%) e 30°(22,3%), mostrando uma especificidade no incremento da força. Em contrapartida, não foram encontradas alterações significativas na integral do sinal EMG (IEMG). Isso sugere uma dissociação entre os efeitos produzidos no torque isométrico máximo e no IEMG que, de acordo com os autores, é explicado por duas hipóteses: a primeira devido ao fato do sinal EMG de um único músculo não representar completamente a produção de força de um grupo muscular, e a segunda, baseada no fato do aumento na produção de força por um grupo muscular ser ocasionado pela inibição do grupo antagonista (co-ativação).

Em resumo, sugere-se que no período inicial do treinamento de força, o fenômeno de co-ativação seja

inibido pelo simples fato do indivíduo aprender e coordenar os movimentos (JONES & RUTHERFORD, 1986), proporcionando aumentos na força produzida pelo grupo muscular agonista, sem que aumentos na ativação dessa musculatura ou na área de secção transversa sejam observados. Porém, na área de força, seria importante que fossem realizados mais estudos sobre esse fenômeno em diferentes grupos musculares, uma vez que os estudos com essa finalidade, normalmente observam a relação entre os grupos musculares extensor (agonista) e flexor (antagonista) do joelho (HAKKINEN *et al.*, 1998a; ALKNER *et al.*, 2000).

O INCREMENTO DE FORÇA EM HOMENS E MULHERES

Um dos primeiros estudos com a finalidade de verificar o efeito do treinamento no componente neural da produção de força em homens e mulheres, foi o realizado por MORITANI & DE VRIES (1979). Indivíduos de ambos os sexos (n=15) treinaram unilateralmente os flexores do cotovelo 3 vezes por semana, durante 8 semanas. Os testes consistiram inicialmente de algumas contrações isométricas sub-máximas dos flexores do cotovelo, sendo que essa articulação permanecia fletida a 90°. Posteriormente, cada indivíduo realizou 3 CVMs para que a de maior valor, fosse utilizada no cálculo de contrações sub-máximas. Essas foram executadas em ordem crescente, com incrementos de 10 libras para homens e 5 libras para mulheres até valores próximos ao máximo.

Os treinos consistiram em duas séries de 10 repetições do exercício "rosca bíceps" (flexão do cotovelo) com cargas que correspondiam a 2/3 de uma repetição máxima (1-RM). O componente neural foi mensurado a partir do sinal EMG coletado através de um eletrodo de superfície em configuração unipolar posicionado no ventre do músculo bíceps braquial do braço direito (aproximadamente na metade da distância entre a dobra cutânea axilar e a fossa cubital). A reprodutibilidade do método foi avaliada através de um teste e re-teste em dias separados, sendo que a correlação entre as duas mensurações do sinal EMG foi $r=0,988$ ($p<0,001$). Quanto à área de secção transversa muscular do braço (ASTM), essa foi predita através de dobras cutâneas coletadas em 4 pontos distintos do braço treinado.

Os resultados mostraram um aumento significativo nos valores de força (21,2libras), no sinal EMG (233microvolts) e na ASTM (2,91cm²). Porém, no início do treinamento (3 a 5 semanas), os aspectos neurais mostraram uma maior relevância comparados aos

morfológicos, sendo esse comportamento semelhante em ambos os sexos, porém, a hipertrofia muscular encontrada nas mulheres foi cerca de 53% da encontrada nos homens, indicando uma semelhança entre os sexos no aspecto neural e diferenças no aspecto morfológico.

Em um estudo envolvendo apenas mulheres sem um treinamento prévio de força (HAKKINEN *et al.*, 1992), foram encontrados resultados que suportam a idéia de adaptações no sistema neuromuscular baseando-se no sinal EMG, mesmo com uma redução no volume (nº de séries e de repetições do exercício) de treinamento em um curto período. Nesse estudo, o grupo de treino (n=10) participou de um treinamento sistemático de 3 semanas, sendo as duas primeiras, com altos níveis de volume e intensidade (cargas ou pesos utilizados), e a última com a mesma intensidade, porém com uma redução de 50% no volume. Foram utilizados os seguintes exercícios: meio agachamento 70 a 100% de 1-RM (1-3 repetições por série), extensão do joelho ou leg press 60 a 80% de 1-RM (5 - 10 repetições por série). A força foi avaliada através de um protocolo isométrico, visando o grupo muscular extensor do joelho, (3-6 CVMs) realizado em 5 ocasiões diferentes: antes e após as duas primeiras semanas de treino e 3 vezes durante a semana com volume reduzido. Paralelamente, o sinal EMG dos músculos vasto medial, lateral e reto femoral foi coletado através de eletrodos de superfície configurados bipolarmente, e colocados longitudinalmente na área do ponto motor de cada músculo, sendo este determinado por estímulo elétrico. Além disso, o posicionamento dos eletrodos foi marcado na pele através de tatuagens, possibilitando o mesmo posicionamento dos eletrodos durante todo o período de treinamento. Após o período de três semanas, foram encontrados aumentos significativos nos valores de força (2212N para 2431N) e EMG (0,35 milivolts para 0,4 milivolts), sendo que os valores de força foram correlacionados com o sinal EMG ($r=0.72$; $P<0.01$), sustentando a idéia de que, em mulheres, o aumento da força em um período inicial, deve-se, principalmente, ao aspecto neural.

O processo de incremento de força, na fase inicial de treinamento, parece independe do tipo de treino ministrado. HAKKINEN *et al.* (1985b) observaram os efeitos de do treino e destreino de força explosiva (36 semanas), na força isométrica, no sinal EMG e nas características das fibras musculares dos músculos extensores do joelho em homens (20-35 anos) acostumados com o treinamento de força. Os treinos consistiram de saltos com e sem sobrecarga, a fim de

melhorar os níveis de força e, principalmente, a “rapidez” de sua produção. Os testes com o grupo experimental foram realizados a cada 4 semanas durante o período de treino (24 semanas) e destreino (12 semanas). Paralelamente aos testes de força, o sinal EMG foi coletado dos músculos vasto lateral, reto femoral e vasto medial através da metodologia proposta por HAKKINEN & KOMI (1983). Esse treinamento resultou em um aumento na força isométrica máxima (10,8%) durante o período de treino. Houve também uma redução do tempo necessário para atingir-se o pico de força (28,6 para 23,4 milissegundos), além de um aumento na produção de força (24,1%) durante o período de treinamento. O sinal EMG aumentou significativamente nos 3 músculos analisados, durante o período de treinamento, sendo que este aumento foi mais pronunciado na segunda metade desse período. Além disso, o IEMG dos 3 músculos analisados e a força máxima isométrica foram correlacionados na segunda metade do período de treinamento. Por outro lado, no período de destreino, houve uma redução significativa nos valores de força e no IEMG do músculo vasto lateral. Isso sugere que, embora os treinamentos visando o incremento da força sejam diferenciados, a resposta dessa valência física e da ativação muscular tem um comportamento semelhante podendo assim, serem explicados pelos mesmos mecanismos.

Embora os estudos anteriormente citados mostrem alterações no sinal EMG com o decorrer do treinamento tanto em homens como em mulheres, outros mostram resultados contraditórios, sugerindo outras adaptações responsáveis pelo incremento da força. Em um desses estudos (HAKKINEN *et al.*, 1985a), 11 indivíduos do sexo masculino, familiarizados com o treino de força, treinaram os extensores do joelho 3 vezes por semana, durante 24 semanas, através do exercício de meio-agachamento. Cada sessão de treinamento consistiu em 18 a 30 repetições (1 a 10 por série) com cargas variando entre 70 a 100% de 1-RM. Além disso, contrações excêntricas (3 a 5) foram realizadas com intensidades variando entre 100 e 120% de 1-RM. O destreino (12 semanas) foi caracterizado pela ausência de qualquer tipo de treinamento, porém os indivíduos realizaram suas atividades diárias normais. Os testes de força, envolvendo o grupo muscular extensor do joelho, e a coleta do sinal EMG seguiram a metodologia proposta por HAKKINEN & KOMI (1983) e foram realizados antes e após o período de 36 semanas, com intervalos de 4 semanas.

Após a fase de treinamento, houve um aumento de 26,8% na força isométrica máxima. Por outro lado, no período de destreino, a força diminuiu em 11,4%.

Diferentemente dos valores de força, que sofreram alterações nos períodos de treino e destreino, não foram encontradas diferenças significativas no sinal EMG *pré* e *pós*-treinamento o que, segundo os autores, deve-se ao fato de, em um longo período de treino, fatores morfológicos (aumento da ASTM) também influenciarem no incremento de força.

Por outro lado, em períodos intermediários do treinamento (entre as semanas 4 e 12), diferenças significativas foram encontradas no sinal EMG que, segundo os autores, são explicadas pela maior ativação neural nos períodos em que a intensidade do treinamento é priorizada. Sendo assim, o tempo necessário para que esses fatores sofram modificações, parece variar de acordo com o tipo, intensidade e duração do treino, assim como entre os indivíduos.

No que se refere a ativação dos agonistas após um período de treinamento, resultados semelhantes foram encontrados por GARFINKEL & CAFARELLI (1992) ao treinarem indivíduos do sexo feminino. Quinze mulheres sedentárias ($21,9 \pm 2,7$ anos) foram divididas em um grupo de treino (T - n=8) e um grupo controle (C - n=7). O grupo T treinou isometricamente o membro dominante durante 8 semanas. A CVM, o sinal EMG e a ASTM foram mensurados antes e após o período de treino.

A sessão de treino consistiu de 30 CVMs isométricas do membro inferior divididas em 3 séries de 10 repetições, sendo que cada contração foi mantida pelo período de 3 a 5 segundos com intervalos, entre cada uma, de 2 minutos. As sessões de treino foram realizadas 3 vezes por semana.

Outro objetivo do estudo foi o de verificar a existência de alguma adaptação na perna não treinada dos indivíduos treinados. Assim, o sinal EMG também foi utilizado na perna não-treinada para a verificação de uma possível alteração na atividade muscular dos extensores do joelho da perna não-treinada, durante as CVMs da perna treinada. No caso de atividade, os indivíduos foram estimulados a "relaxar" a perna. O sinal EMG foi obtido através de eletrodos de superfície, posicionados no ventre do músculo vasto lateral, 10cm acima da borda patelar. A fim de garantir o mesmo posicionamento dos eletrodos durante o período de treinamento, foram utilizadas tatuagens. A ASTM (10mm^2) do quadríceps foi medida através de um scanner (General Electric GE9800) posicionado aproximadamente a 10cm acima da borda superior da patela.

Os resultados mostraram aumentos significativos apenas na CVMs (28%) e na ASTM (14,6%) da

perna treinada no grupo T, sendo que não houveram mudanças em nenhuma das variáveis na perna não treinada de ambos os grupos. Como não foram encontradas diferenças no sinal EMG (o que sugeriria adaptações na ativação muscular) o mecanismo sugerido como responsável pelo aumento da força da perna treinada foi a diminuição na co-ativação do grupo muscular antagonista ao movimento, associada ao aprendizado na produção das CVMs.

Em resumo, homens e mulheres, parecem responder da mesma forma ao treinamento de força em um período inicial, apresentando adaptações no padrão de recrutamento das UMs dos grupos musculares agonistas. Além disso, em curtos períodos de treinamento, o fator morfológico, quando expressivo, parece ser mais importante no sexo masculino, uma vez que o nível hipertrófico, encontrado em mulheres submetidas ao mesmo treinamento, é inferior ao dos homens (MORITANI & DE VRIES. 1979), sugerindo que o fator neural seja otimizado no sexo feminino.

Embora alguns estudos não mostrem alterações no sinal EMG após o treinamento, observa-se que, em muitos casos, existem limitações na monitorização do grupo muscular agonista envolvido. Sendo assim, é razoável aceitar a importância do componente neural no incremento da força.

O INCREMENTO DE FORÇA NO IDOSO

Sabe-se que a força muscular diminui em ambos os sexos com o avanço da idade, especialmente a partir da sexta década (BOSCO & KOMI, 1980). Esse fato pode ser explicado pela diminuição da ativação voluntária dos músculos agonistas e/ou mudanças no grau de co-ativação dos antagonistas (HAKKINEN *et al.*, 1998b). Porém, alguns estudos mostram que um treino sistemático de força contribui para uma melhora dessa valência física, atribuindo esse efeito a adaptações no sistema nervoso. HAKKINEN *et al.* (2000) realizaram um estudo com a finalidade de examinar as adaptações funcionais e estruturais no sistema neuromuscular e as mudanças no desempenho do salto vertical e na caminhada em indivíduos de meia idade e idosos durante um longo período de treino (24 semanas) e destreino, seguido por um re-treino (21 semanas). O segundo objetivo do estudo foi examinar as adaptações neuromusculares e mudanças nas capacidades funcionais desses indivíduos durante um curto e um longo período de destreino de 3 e 24 semanas, respectivamente.

Foram elaborados 2 estudos: no primeiro, 6 homens e 6 mulheres de meia idade, e 5 homens e 5

mulheres idosas participaram de um treino, destreino e re-treino (estudo A). No segundo, 3 homens e 4 mulheres de meia idade, e 4 mulheres e 3 homens idosos participaram de um treino e destreino (estudo B). Todos os indivíduos eram saudáveis sem histórico de treino de força.

O estudo teve a duração total de 48 semanas. As primeiras 4 serviram como período controle em ambos os estudos, A e B. Após o período controle, os grupos começaram um período de treino de 24 semanas, utilizando o mesmo programa de treinamento. Após esse período, os indivíduos do estudo A permaneceram durante 3 semanas sem qualquer treinamento, até a semana 27. Posteriormente, esses indivíduos recomeçaram a treinar até a semana 48, enquanto os indivíduos do estudo B, após as 24 semanas iniciais, realizaram um longo período de destreino de 24 semanas.

Foram realizados testes isométricos e dinâmicos para os extensores e flexores do joelho, além de serem avaliados saltos verticais. Os valores de torque, a força, o sinal EMG e a AST do quadríceps foram coletados utilizando-se a metodologia descrita por HAKKINEN *et al.* (1998a). Paralelamente, foi avaliada a velocidade de caminhada em uma distância de 10m, sendo que cada indivíduo, percorreu a distância três vezes para que o menor tempo de execução fosse analisado.

Os treinos foram realizados duas vezes por semana e envolveram 2 exercícios para os extensores do joelho (leg-press e extensão do joelho) e outros 4 exercícios para os grupos musculares do tronco e membros superiores, visando um condicionamento muscular global. Durante as primeiras 8 semanas, foram utilizadas cargas entre 50 e 70% de 1-RM para a realização de 3 a 4 séries com 10 a 15 repetições. Nas semanas posteriores, as cargas chegaram a 80% de 1-RM e séries com intensidades e volumes diferentes, entre membros inferiores e superiores, começaram a ser executadas, processo que continuou até o final do treinamento.

Uma particularidade do treinamento foi a execução de séries intercalando velocidades, ou seja, uma série era realizada com baixa velocidade (2,5s cada fase do movimento) e a outra deveria ser executada na maior velocidade possível, a fim de otimizar a “potência” muscular.

Os resultados mostraram um aumento significativo nos valores de 1-RM, IEMG do 1-RM e do torque unilateral dos extensores do joelho, altura do salto vertical, desempenho no teste de caminhada e AST do quadríceps, em ambos os estudos, no período inicial

de 24 semanas, sendo estes já pronunciados nas primeiras 16 semanas.

No estudo A, durante o período de destreino (3 semanas), ocorreram reduções significativas apenas no torque unilateral dos extensores do joelho e no respectivo IEMG. No período posterior (21 semanas), os valores de todas as variáveis voltaram a valores próximos ao final do período de 24 semanas.

No estudo B, foram observados decréscimos em quase todas as variáveis analisadas, após o período de destreino, exceção ocorrida nos indivíduos idosos que permaneceram com desempenhos elevados na caminhada, quando comparados com o início do treinamento, e nos valores do salto vertical que, para ambas as idades, permaneceu inalterado após o período de destreino.

Verificou-se então, que com apenas duas sessões de treino semanais, indivíduos de meia idade e idosos melhoram seu desempenho funcional além de terem incrementos na força proporcionados, segundo os autores, pelo aumento do número de UMs recrutadas e/ou aumento da frequência de disparo das UMs dos músculos agonistas. Embora os aumentos na ASTM tenham sido significativos, estes ocorreram em menor magnitude, indicando que as adaptações neurais têm função mais importante do que as morfológicas no treino de força “explosiva” nessa população. Um curto período de destreino parece não influenciar o desempenho neuromuscular, porém períodos maiores parecem estar associados à atrofia muscular e diminuição da ativação neural.

A idéia de adaptações no sistema nervoso em idosos, já tinha sido admitida em estudos anteriores, tanto em homens, como em mulheres (HAKKINEN *et al.*, 1996; HAKKINEN *et al.*, 1998a). Além disso, o aspecto morfológico, embora em menor magnitude, também se mostra presente nessa população. HAKKINEN *et al.* (1996) investigaram as adaptações neuromusculares em indivíduos de ambos os sexos, de meia idade e idosos, durante um período de 12 semanas de treino dos músculos extensores do joelho. Além disso, procuraram comparar essas adaptações no treino unilateral e bilateral. Quarenta e oito indivíduos de ambos os sexos (h= 24 e m=24) foram divididos em grupos de meia idade (50 anos) e idosos (70 anos). Todos os indivíduos eram saudáveis e ativos, porém sem a prática de modalidades esportivas em nível competitivo.

O estudo teve a duração de 14 semanas. As duas semanas iniciais serviram como período controle, onde nenhum tipo de treinamento foi ministrado, porém os

indivíduos mantiveram suas atividades habituais. Os indivíduos foram testados em cinco ocasiões: antes e após o período controle (2 semanas) e a cada 4 semanas durante o período de treinamento (semanas 4, 8, e 12). Os testes consistiram, inicialmente, de uma familiarização com os procedimentos do protocolo de força voluntária concêntrica, seguida de algumas contrações unilaterais e bilaterais dos extensores do joelho. Posteriormente, cada indivíduo foi posicionado (sentado com o ângulo de 110° de quadris) em um dinamômetro David 200, modificado para testes de força. Dado um comando verbal, o indivíduo, começando da posição de 70° da flexão do joelho, deveria tentar estender o joelho até o ângulo de 170°, contra uma resistência determinada por cargas escolhidas em uma coluna de pesos. No teste de carga máxima, foi utilizado o teste de 1-RM crescente no qual as cargas eram aumentadas até que fosse possível a execução de apenas uma repetição.

O teste bilateral foi executado antes do unilateral, sendo que as extensões dos segmentos direito e esquerdo foram realizadas separadamente. Para cada teste, foram realizadas 3-4 tentativas com intervalos de 2 minutos entre cada uma, a fim de evitar ou minimizar o efeito da fadiga. O sinal EMG foi coletado utilizando a mesma metodologia de estudos anteriores (HAKKINEN E KOMI, 1983; HAKKINEN *et al.*, 1985b). A taxa de amostragem utilizada foi de 1000Hz com frequência de corte em 360Hz. O sinal EMG foi integrado e normalizado em 1s para cada músculo separadamente.

A AST do quadríceps foi medida através de um scanner ultrassônico (Aloka FANSONIC, SSD – 190) e um transdutor convexo de 5Mhz, sendo que as medidas foram realizadas no ponto médio entre o trocanter maior do fêmur e a linha lateral da articulação do joelho. Essas medições foram realizadas antes e após o período de treino (12 semanas).

O treinamento consistiu em duas sessões de treino semanais, durante 12 semanas, onde foram realizados exercícios para a extensão e flexão do joelho e do tronco, além de exercícios para membros superiores. Metade dos indivíduos realizou um treino unilateral (UNIL) e a outra metade bilateral (BIL). Durante as primeiras 4 semanas foram executadas 3-4 séries de 10-12 repetições com 40%-50% de 1-RM, nas 4 semanas posteriores, 3-5 séries de 6-8 repetições com 60-80% de 1-RM, e nas últimas semanas (9-12), 4-6 séries de 3-6 repetições com 70-90% de 1-RM.

Os resultados não mostraram qualquer alteração nas variáveis analisadas, durante o período controle,

porém, durante as 12 semanas de treino, ocorreram aumentos significativos no teste de 1-RM bilateral em todos os grupos, sendo que nos indivíduos do grupo BIL, o aumento foi maior (19%) do que nos indivíduos do grupo UNIL (13%). No teste de 1-RM unilateral da perna direita, os resultados foram opostos, já que maiores aumentos foram encontrados nos indivíduos do grupo UNIL comparados aos do grupo BIL (17 e 10%, respectivamente).

O IEMG aumentou significativamente em quase todos os grupos no teste bilateral, sendo que o aumento médio nos indivíduos do grupo BIL foi maior do que os que treinaram unilateralmente (19% e 10%, respectivamente). No teste unilateral, houve um aumento significativo apenas nos homens de meia idade do grupo UNIL. Quanto a AST do quadríceps, ocorreram aumentos significativos nos grupos UNIL (14%) e BIL (10%), porém, esses aumentos não foram correlacionados com os aumentos de força. Sendo assim, foi sugerindo que em idosos, o treinamento de força proporciona um incremento na força, acompanhado de adaptações neurais e morfológicas, tanto em indivíduos de meia idade, como em indivíduos idosos de ambos os sexos, sendo essas adaptações específicas do tipo de treinamento utilizado (unilateral ou bilateral).

Adaptações neurais e morfológicas também podem ser encontradas nessa população quando submetida a treinamentos de força não-convencionais. HAKKINEN *et al.* (1998a) observaram os efeitos do treino de força combinado com exercícios de “explosão”, na ativação neural dos agonistas e antagonistas dos músculos extensores do joelho, na AST do quadríceps e na força máxima e “explosiva”, em homens e mulheres de meia idade e idosos. Foram examinados 10 homens de meia idade (H40), 11 mulheres de meia idade (M40), 11 homens idosos (H70) e em 10 mulheres idosas (M70).

Inicialmente, os indivíduos participaram de um período controle (um mês) e, posteriormente, começaram o período de treinamento de 6 meses. Os testes foram realizados em 5 ocasiões: antes e após o período controle, e a cada dois meses de treinamento (2°, 4° e 6° mês).

A curvas de força-tempo isométricas e a força isométrica máxima dos extensores do joelho foram medidos na posição sentada com os quadris e joelhos a 110° e 107°, respectivamente, posição em que os indivíduos foram instruídos a produzir sua força máxima durante 2,5 segundos.

A força máxima concêntrica dos extensores do

joelho foi testada entre os ângulos de 70° e 180° da extensão do joelho através do teste de 1-RM crescente, ou seja, as cargas eram incrementadas até que o indivíduo conseguisse realizar apenas uma repetição. O torque isométrico máximo *unilateral* dos flexores do joelho foi medido, com quadris e joelhos, posicionados nos ângulos de 110° e 90°, respectivamente. Foram coletadas, no mínimo, duas tentativas de cada perna.

A força "explosiva" foi medida em uma plataforma de força através de saltos verticais partindo-se da flexão de 90° dos joelhos. Cada indivíduo realizou 3 saltos e, o de maior valor em altura, foi utilizado para análise.

No protocolo de extensão dos joelhos, o sinal EMG dos músculos agonistas (vasto lateral e vasto medial) e antagonistas (bíceps femoral) foi coletado através de eletrodos de superfície. O posicionamento dos eletrodos a medição da AST do quadríceps seguiram a mesma metodologia de HAKKINEN *et al.*, (1985b).

Os indivíduos treinaram duas vezes por semana com sessões que continham dois exercícios para membros inferiores (leg-press e extensão dos joelhos) e outros cinco para outros grupos musculares. O período de treinamento foi dividido em 3 mesociclos de 2 meses. No primeiro, foram utilizadas cargas variando entre 50 e 70% de 1-RM, com 3 a 4 séries de 10 a 15 repetições. No segundo, as cargas variaram entre 50 e 60% de 1-RM e, no quarto mês, entre 70 e 80%, sendo que, para membros inferiores, eram realizadas 3 a 5 séries de 5 a 6 repetições com cargas altas e 8 a 12 repetições com cargas baixas. No último mesociclo, foram realizadas 3 a 6 repetições com cargas variando entre 70 e 80% de 1-RM e 8 a 12 repetições, com cargas entre 50 e 60% de 1RM. O número de séries variou entre 4 e 6 séries.

Os resultados mostraram que a ASTM dos extensores dos joelhos aumentou significativamente nos grupos H40 (4,9%), M40 (9,7%) e M70 (5,8%). No grupo M70 houve aumento percentual, porém, este não foi estatisticamente significativo. O fato de o aumento na ASTM ter sido pequeno foi atribuído a limitações na disponibilidade de hormônios anabólicos nessa faixa etária.

A força isométrica máxima dos extensores do joelho aumentou em todos os grupos durante o período de treinamento, variando entre 36% e 66%, sendo que os aumentos nos grupos de mulheres, foram maiores do que no grupo de homens. O mesmo aconteceu nos testes de 1-RM, porém as médias no incremento

variaram entre 22 e 34%. No que se refere ao IEMG desse teste, foram observados aumentos significativos em todos os grupos. O aumento no IEMG foi atribuído ao aumento das unidades motoras recrutadas e/ou aumento na frequência de disparo das UMs ativadas.

Durante o período de treinamento, também foram observados aumentos na altura dos saltos verticais (11 a 24%), porém os maiores aumentos aconteceram nos últimos 4 meses.

Quanto aos flexores do joelho, foram observados aumentos significativos na força isométrica (14 a 22%) e no IEMG em todos os grupos. O IEMG do bíceps femoral (relativo aos valores máximos dos agonistas da extensão do joelho) permaneceu inalterado nos grupos de homens e mulheres de meia idade, enquanto sofreu redução nos grupos M70 (3% na perna esquerda) e W70 (7% na perna direita).

Os resultados acima mencionados sugerem que o treino de força produz ganhos na força dinâmica máxima e explosiva tanto em indivíduos de meia idade, como em idosos. Esses efeitos são acompanhados por grandes aumentos na ativação neural dos agonistas, com redução significativa da ativação dos antagonistas. Como os aumentos na ASTM foram reduzidos, sugere-se que fatores neurais tenham uma função mais importante no incremento de força e potência muscular nessa população.

Em resumo, foi observado que os mecanismos responsáveis pelo aumento de força no idoso, parecem ser semelhantes ao de indivíduos jovens de ambos os sexos, independentemente do tipo de treinamento ministrado. Porém, diferentemente de indivíduos jovens o aspecto neural parece ter maior relevância mesmo em períodos longos de treinamento uma vez que, aumentos na ASTM muscular, quando observados, são de pequena magnitude, o que provavelmente devem-se as limitações hormonais dessa faixa etária.

O INCREMENTO DE FORÇA NA CRIANÇA

Apesar de poucos estudos abordarem o aspecto neural em crianças, esse também parece ser o principal responsável pelo incremento da força muscular. Exemplificando a questão, OZMUN *et al.* (1993) treinaram 16 crianças (8 meninos e 8 meninas) com idades entre 9 e 12 anos. Cinco meninas e três meninos formaram o grupo de treino (T) e o restante compôs o grupo controle (C). O grupo T treinou durante 8 semanas os músculos flexores do cotovelo do braço direito. O treino consistiu em um aquecimento com vá-

rias repetições de flexão e extensão do cotovelo com cargas leves (0,45 a 1,4kg), seguido de 3 séries de 7 a 10 repetições do exercício “rosca bíceps” com uma carga estipulada por tentativa e erro. A carga era aumentada se o indivíduo conseguisse realizar 11 repetições, sendo esses incrementos múltiplos de 1,4kg. O grupo C participou de jogos de mesa 3 vezes por semana durante o período de 8 semanas.

A força foi mensurada através de protocolos isocinéticos e isotônicos. No primeiro, foi analisado um arco de 80 graus do movimento de flexão do cotovelo, partindo de 40° até 120° de flexão, com uma velocidade angular de 90° por segundo. Inicialmente foram realizadas 3 repetições para a familiarização, seguidas por 5 tentativas máximas com intervalos de 1 minuto entre cada uma. No protocolo isotônico, foram realizadas 3 repetições do exercício “rosca bíceps” para a familiarização, seguidas de 5 repetições máximas mesmo exercício, com cargas visando a 1-RM. A posição inicial de flexão do cotovelo foi de 40°.

Paralelamente ao teste isocinético, o sinal EMG foi coletado através de eletrodos de superfície em configuração bipolar e com impedância entre os eletrodos controlada abaixo de 1000Ohms. Os eletrodos foram colocados longitudinalmente no ventre do músculo bíceps braquial, com distância entre eles de 2cm.

Os resultados mostraram diferenças significativas no grupo T nos protocolos isocinético (27,8%) e isotônico (22,6%), o que não ocorreu com o grupo C. Paralelamente, houve um aumento significativo da ativação neural (16,8%), representada pelo sinal EMG do grupo T. Em contrapartida, não ocorreram diferenças significativas nos valores de perímetro e dobras cutâneas

em ambos os grupos. Os aumentos de força e sinal EMG sugerem um aprimoramento do recrutamento das unidades motoras e/ou aumento da frequência de disparo das unidades motoras ativadas, o que se assemelha à habilidade de ativação de indivíduos adultos.

CONCLUSÕES

De acordo com os estudos abordados, verifica-se que, em um período inicial de treinamento, os aspectos neurais são os principais responsáveis pelo incremento da força muscular. Isso tem sido observado de forma mais consistente em idosos e crianças, devido a uma limitação hormonal (i.e. testosterona) que parece estar relacionada a fatores morfológicos, embora, alguns estudos mostrem alteração morfológica nas primeiras semanas, em idosos (HAKKINEN, *et al.*, 1996). A metodologia utilizada na mensuração do componente neural é um tanto variada, particularmente quando é utilizada a técnica de EMG. Porém, pode-se observar que, em todos estudos envolvendo essa técnica, algumas variáveis importantes são controladas, como a reprodutibilidade do sinal (MORITANI & DE VRIES, 1979), o posicionamento dos eletrodos (referências anatômicas e utilização de tatuagens), a distância entre os eletrodos (1,2cm-2,5cm), a impedância entre os eletrodos (1000-3000 Ohms) e a frequência do sinal utilizada. Enoka (1988) sugere que o treino de força induz mudanças no sinal EMG e estas são associadas a adaptações neurais. Portanto, observadas as recomendações necessárias, a utilização da técnica parece ser adequada para mensurar as adaptações proporcionadas pelo treinamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIMA, H.; TAKAHASHI, H.; KUNO, SHIN-YA; MASUDA, K.; MASUDA, T. SHIMOJO, H.; ANNO, I.; ITAI, Y; KATSUTA, K. Early phase adaptations of muscle use and strength to isokinetic training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v. 31, n.4, p.588-594, 1999.
- AKIMA, H.; TAKAHASHI, H.; KUNO, SHIN-YA; MASUDA, K.; MASUDA, T. SHIMOJO, H.; ANNO, I.; ITAI, Y; KATSUTA, K. Early phase adaptations of muscle use and strength to isokinetic training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.31, n.4, p.588-594, 1999.
- ALKNER, B.A.; TESCH, P.A. BERG, H.E. Quadriceps EMG/force in knee extension and leg press. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.32, p.459 – 462, 2000.
- ALKNER, B.A.; TESCH, P.A. BERG, H.E. Quadriceps EMG/force in knee extension and leg press. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.32, p.459 – 462, 2000.
- ALWAY, S.E.; GRUMBT, W.H.; GONYEA, W.J.; STRAY-GUNDERSEN, J. Contrasts in muscle and myofibers of elite male and female bodybuilders. *Journal of Applied Physiology* v.67, p.24 –31, 1989.

- ALWAY, S.E.; GRUMBT, W.H.; GONYEA, W.J.; STRAY-GUNDERSEN, J. Contrasts in muscle and myofibers of elite male and female bodybuilders. *Journal of Applied Physiology* v.67, p.24–31, 1989.
- BOSCO, C.; KOMI, P.V. Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology* v.45, p.209–215, 1980.
- BOSCO, C.; KOMI, P.V. Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology* v.45, p.209–215, 1980.
- BOSCO, C.; COLLI, R.; BONOMI, R.; VONDUVILLARD, S.P.; VIRU, A. Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.32, n.1, p.202–208, 2000.
- BOSCO, C.; COLLI, R.; BONOMI, R.; VONDUVILLARD, S.P.; VIRU, A. Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.32, n.1, p.202–208, 2000.
- CHILIBECK, P.D.; CALDER, A.W.; SALE, D.G.; WEBBER, C.E. A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *European Journal of Applied Physiology* v.77, p.170–175, 1998.
- CHILIBECK, P.D.; CALDER, A.W.; SALE, D.G.; WEBBER, C.E. A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *European Journal of Applied Physiology* v.77, p.170–175, 1998.
- ENOKA, R.M. Muscle strength and its development: New perspectives. *Sports Medicine* v.6, p.146–168, 1988.
- ENOKA, R.M. Muscle strength and its development: New perspectives. *Sports Medicine* v.6, p.146–168, 1988.
- GARFINKEL, S.; CAFARELLI, E. Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.24, n.11, p.1220–1227, 1992a.
- GARFINKEL, S.; CAFARELLI, E. Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.24, n.11, p.1220–1227, 1992a.
- HAKKINEN, K.; KOMI, P.V. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.15, n.6, p.455–460, 1983.
- HAKKINEN, K.; KOMI, P.V. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.15, n.6, p.455–460, 1983.
- HAKKINEN, K.; ALÉN, M.; KOMI, P.V. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica* v.125, p.573–585, 1985a.
- HAKKINEN, K.; ALÉN, M.; KOMI, P.V. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica* v.125, p.573–585, 1985.
- HAKKINEN, K.; KOMI, P.V.; ALÉN, M. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica* v.125, p.587–600, 1985b.
- HAKKINEN, K.; KOMI, P.V.; ALÉN, M. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica* v.125, p.587–600, 1985b.
- HAKKINEN, K.; PARAKINEN, A.; ALÉN, M.; KOMI, P.V. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *European Journal of Applied Physiology* v.53, p.287–293, 1985c.
- HAKKINEN, K.; PARAKINEN, A.; ALÉN, M.; KOMI, P.V. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *European Journal of Applied Physiology* v.53, p.287–293, 1985c.
- HAKKINEN, K.; PARAKINEN, A.; ALÉN, M.; KAUKANEN, H.; KOMI, P.V. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *Journal of Applied Physiology* v.65, n.6, p.2406–2412, 1988.
- HAKKINEN, K.; PARAKINEN, A.; ALÉN, M.; KAUKANEN, H.; KOMI, P.V. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *Journal of Applied Physiology* v.65, n.6, p.2406–2412, 1988.
- HAKKINEN, K.; KALLINEN, M.; KOMI, P.V.; KAUKANEN, H. Neuromuscular adaptations during short-term “normal” and reduced training periods in strength athletes. *Electromyogr Clin Physiol* v.31, p.35–42, 1991.
- HAKKINEN, K.; KALLINEN, M.; KOMI, P.V.; KAUKANEN, H. Neuromuscular adaptations during short-term normal and reduced training periods in strength athletes. *Electromyogr Clin Physiol* v.31, p.35–42, 1991.
- HAKKINEN, K.; PARAKINEN, A.; KALLINEN, M.

- Neuromuscular adaptations and serum hormones in women during short-term intensive strength training. *European Journal of Applied Physiology* v.64, p.106 – 111, 1992a.
- HAKKINEN, K.; PARAKINEN, A.; KALLINEN, M. Neuromuscular adaptations and serum hormones in women during short-term intensive strength training. *European Journal of Applied Physiology* av.64, p.106 – 111, 1992.
- HAKKINEN, K. Neuromuscular responses in male and female athletes to two successive strength training sessions in one day. *J Sports Med Phys Fitness* v.32, p.234 – 242, 1992b.
- HAKKINEN, K. Neuromuscular responses in male and female athletes to two successive strength training sessions in one day. *J Sports Med Phys Fitness* v.32, p.234 – 242, 1992b.
- HAKKINEN, K.; HAKKINEN, A. neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. *Electromyogr Clin Neurophysiol* v.35, p.137 – 147, 1995.
- HAKKINEN, K.; HAKKINEN, A. neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. *Electromyogr Clin Neurophysiol* v.35, p.137 – 147, 1995.
- HAKKINEN, K.; KALLINEN, M.; LINNAMO, V.; PASTINEN, U.M.; NEWTON, R.U.; KRAEMER, W.J. Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiologica Scandinavica* v.158, p.77 – 88, 1996.
- HAKKINEN, K.; KALLINEN, M.; LINNAMO, V.; PASTINEN, U.M.; NEWTON, R.U.; KRAEMER, W.J. Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiologica Scandinavica* v.158, p.77 – 88, 1996.
- HAKKINEN, K.; KALLINEN, M.; IZQUIERDO, M.; JOKELAINEN, K.; LASSILA, H.; MÄLKIÄ, E.; KRAEMER, W.J. NEWTON, R.U.; ALEN, M. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of Applied Physiology* v.84, n.4, p.1341 – 1349, 1998a.
- HAKKINEN, K.; KALLINEN, M.; IZQUIERDO, M.; JOKELAINEN, K.; LASSILA, H.; MÄLKIÄ, E.; KRAEMER, W.J. NEWTON, R.U.; ALEN, M. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of Applied Physiology* v.84, n.4, p.1341 – 1349, 1998a.
- HAKKINEN, K.; ALEN, M.; KALLINEN, M.; NEWTON, R.U.; KRAEMER, W.J. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *European Journal of Applied Physiology* v.83, p.51 – 62, 2000.
- HAKKINEN, K.; ALEN, M.; KALLINEN, M.; NEWTON, R.U.; KRAEMER, W.J. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *European Journal of Applied Physiology* v.83, p.51 – 62, 2000.
- JONES, D.A.; RUTHERFORD, O.M. Human muscle strength training: the effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *Journal of Physiol* v.391, p.1 – 11, 1987.
- JONES, D.A.; RUTHERFORD, O.M. Human muscle strength training: the effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *Journal of Physiol* v.391, p.1 – 11, 1987.
- KANEHIDA, I.; MIYASHITA, M. Effect of isometric and isokinetic muscle training on static strength and dynamic power. *European Journal of Applied Physiology* v.50, p.356 – 371, 1983.
- KANEHIDA, I.; MIYASHITA, M. Effect of isometric and isokinetic muscle training on static strength and dynamic power. *European Journal of Applied Physiology* v.50, p.356 – 371, 1983.
- KAWAKAMI, Y.; ABE, TAKASHI, FUKUNAGA, T. Muscle fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *Journal of Applied Physiology* v.74, n.6, p.2740 – 2744, 1993.
- KAWAKAMI, Y.; ABE, TAKASHI, FUKUNAGA, T. Muscle fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *Journal of Applied Physiology* v.74, n.6, p.2740 – 2744, 1993.
- KAWAKAMI, Y.; ABE, T.; KUNO, S.; FUKUNAGA, T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology* v.72, p.37 – 43, 1995.
- KAWAKAMI, Y.; ABE, T.; KUNO, S.; FUKUNAGA, T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology* v.72, p.37 – 43, 1995.
- KRAEMER, W.J.; FLECK, S.J.; EVANS, W.J. Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exercise Sport Science Review* v.24, p.363 – 397, 1996.
- KRAEMER, W.J.; FLECK, S.J.; EVANS, W.J. Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exercise Sport Science Review* v.24, p.363 – 397, 1996.

- KOMI, P.V. Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine Supplement* v.7, p.10 – 15, 1986.
- KOMI, P.V. Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine Supplement* v.7, p.10 – 15, 1986.
- LANDER, J.E.; BATES, B.T.; SAWHILL, J.A.; HAMILL, J. A comparison between free-weight and isokinetic bench pressing. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.17, p.344 – 353, 1985.
- LANDER, J.E.; BATES, B.T.; SAWHILL, J.A.; HAMILL, J. A comparison between free-weight and isokinetic bench pressing. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.17, p.344 – 353, 1985.
- McCALL, G.E.; BYRNES, W.C.; DICKINSON, P.M.; PATTANY, P.M.; FLECK, S.J. Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology* v.81, n.5, p.2004 – 2012, 1996.
- McCALL, G.E.; BYRNES, W.C.; DICKINSON, P.M.; PATTANY, P.M.; FLECK, S.J. Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology* v.81, n.5, p.2004 – 2012, 1996.
- MORITANI, T.; DE VRIES, H.A.; Reexamination of the relationship between the surface IEMG and force of isometric contraction. *American Journal of Physical Medicine* v.57, p.263 – 277, 1978.
- MORITANI, T.; DE VRIES, H.A.; Reexamination of the relationship between the surface IEMG and force of isometric contraction. *American Journal of Physical Medicine* v.57, p.263 – 277, 1978.
- MORITANI, M.A.; DE VRIES, H.A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* v.58, n.3, p.115 – 130, 1979.
- MORITANI, M.A.; DE VRIES, H.A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* v.58, n.3, p.115 – 130, 1979.
- NARICI, M.V.; ROÍ, G.S.; LANDONI, L.; MINETTI, A.E.; CERRETELLI, P. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology* v.59, p.310 – 319, 1989.
- NARICI, M.V.; ROÍ, G.S.; LANDONI, L.; MINETTI, A.E.; CERRETELLI, P. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology* v.59, p.310 – 319, 1989.
- NARICI, M.V.; HOPPELER, H.; KAYSER, B.; LANDONI, L.; CLAASSEN H.; GAVARDI, C.; CONTO, M.; CERRETELLI, P. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiologica Scandinavica* v.157, p.175 – 186, 1996.
- NARICI, M.V.; HOPPELER, H.; KAYSER, B.; LANDONI, L.; CLAASSEN H.; GAVARDI, C.; CONTO, M.; CERRETELLI, P. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiologica Scandinavica* v.157, p.175 – 186, 1996.
- SALE, D.G. Neural adaptations to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.20, n.5, p.S135 – S145, 1988.
- SALE, D.G. Neural adaptations to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.20, n.5, p.S135 – S145, 1988.
- SALE, D.G. MARTIN, J.E.; MOROZ, D.E. Hypertrophy without increased isometric strength after weight training. *European Journal of Applied Physiology* v.64, n.1, p.51 – 5, 1989.
- SALE, D.G. MARTIN, J.E.; MOROZ, D.E. Hypertrophy without increased isometric strength after weight training. *European Journal of Applied Physiology* v.64, n.1, p.51 – 5, 1989.
- OZMUN, J.C.; MIKESKY, A.E.; SURBURG, P.R. Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.26, n.4, p.510-514, 1994.
- OZMUN, J.C.; MIKESKY, A.E.; SURBURG, P.R. Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* v.26, n.4, p.510-514, 1994.
- RABITA, G.; PEROT, C.; LENSEL-CORBEIL, B.G. Differential effect of knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris in humans. *European Journal of Applied Physiology* v.83, p.531 – 538, 2000.
- RABITA, G.; PEROT, C.; LENSEL-CORBEIL, B.G. Differential effect of knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris in humans. *European Journal of Applied Physiology* v.83, p.531 – 538, 2000.
- RUTHERFORD, O.M.; JONES, D.A. The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology* v.55, p.100 – 105, 1986.
- RUTHERFORD, O.M.; JONES, D.A. The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology* v.55, p.100 – 105, 1986.

STARON, R.S.; LEONARDI, M.J.; KARAPONDO, D.L.; MALICKY, E.S.; FALKEL, J.E.; HAGERMAN, F.C.; HIKIDA, R.S. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *Journal of Applied Physiology* v.70 , n.2, p.631 – 640, 1991.

STARON, R.S.; LEONARDI, M.J.; KARAPONDO, D.L.; MALICKY, E.S.; FALKEL, J.E.; HAGERMAN, F.C.; HIKIDA, R.S. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *Journal of Applied Physiology* v.70 , n.2, p.631 – 640, 1991.

STARON, R.S.; KARAPONDO, D.L.; KRAEMER, W.J.; FRY, A.C.; GORDON, S.E.; FALKEL, J.E.; HAGERMAN, F.C.; HIKIDA, R.S. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology* v.76, n.3, p.1247 – 1255, 1994.

STARON, R.S.; KARAPONDO, D.L.; KRAEMER, W.J.; FRY, A.C.; GORDON, S.E.; FALKEL, J.E.; HAGERMAN, F.C.; HIKIDA, R.S. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology* v.76, n.3, p.1247 – 1255, 1994.

THORSTENSSON, A.; GRIMBY, G.; KARLSSON, J. Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensors muscles. *Journal of Applied Physiology* v.40, p.12 – 16, 1976.

THORSTENSSON, A.; GRIMBY, G.; KARLSSON, J. Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensors muscles. *Journal of Applied Physiology* v.40, p.12 – 16, 1976.

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA:

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Educação Física