

ADAPTAÇÕES NEURAIS AO TREINAMENTO DE FORÇA

Bernardo Neme Ide^{1,4};

Lucio Vitorelli Muramatsu¹;

Cintia Ramari³;

Denise Vaz Macedo¹;

Evanisi Teresa Palomari².

Resumo

Uma variedade de adaptações são responsáveis pelo incremento da força, potência e taxa de desenvolvimento de força. Sabendo-se que em indivíduos sedentários as adaptações neurais predominam no início de um programa de treinamento, é plausível que determinados meios e métodos de treino que se mostram eficazes para essa população não apresentem a mesma magnitude de adaptações em indivíduos treinados. Nosso objetivo com esse artigo foi revisar os possíveis mecanismos responsáveis pela resposta neural de curto e longo prazo induzidos pelos treinamentos de força e potência. A busca pela literatura científica considerada como relevante para essa revisão foi realizada através da base de dados *US National Library of Medicine* (PubMed). Os termos utilizados na busca foram: “*Neural Adaptations to Strength Training*”, “*Neural Adaptations to Resistance-training*”, “*Neural Changes with Training*”. Priorizamos os estudos publicados a partir do ano 2000.

¹Laboratório de Bioquímica do Exercício – LABEX, IB - Unicamp, Campinas, São Paulo, Brasil;

²Laboratório de EMG, Controle Motor e Eletrotermoterapia Experimental DBEF, IB, Unicamp, Campinas, São Paulo, Brasil;

³Laboratório de Instrumentação para Fisiologia, FEF-Unicamp, Campinas, São Paulo, Brasil;

⁴Faculdade de Educação Física, Metrocamp, Campinas, São Paulo, Brasil.

Palavras-chave: Potência; Taxa de desenvolvimento de força; Recrutamento de unidades motoras; Taxa de disparo de potenciais de ação.

Abstract

Several adaptations are responsible for the increases in strength, power and rate of force development. Considering that in sedentary individuals neural adaptations predominate in the beginning of the training program, it is plausible to assume that the effective training methods for this population do not present the same magnitude of adaptations in trained individuals. Our goal with this article was to review the possible short and long-term neural responses induced by the strength and power trainings. The search for the scientific literature relevant was conducted using the U.S. National Library of Medicine (PubMed) database. The terms used in the search were: "Neural Adaptations to Strength Training", "Neural Adaptations to Resistance-training", "Neural Changes with Training". We prioritize the studies published since 2000.

Key words: Power; Rate of force development; Motor unit recruitment; action potentials firing rate.

INTRODUÇÃO

A manifestação da força e potência muscular está presente em padrões de movimentos como os *sprints*, chutes, lançamentos, golpes, saltos e mudanças de direção (1). Dessa forma representam capacidades biomotoras determinantes para o desempenho de várias modalidades esportivas. Especificamente a potência muscular é advinda do trabalho (força x deslocamento) realizado numa determinada unidade de tempo (potência = trabalho/tempo). Testes com ações musculares isométricas (onde não há deslocamento aparente) permitem avaliar a força produzida em um determinado intervalo de tempo, quantificando dessa forma uma grandeza denominada *taxa de desenvolvimento de força* - TDF (2).

Conforme apresentado na Figura 1A a análise da inclinação da curva Força/Tempo ($\Delta\text{Força}/\Delta\text{Tempo}$) em um teste isométrico máximo permite calcular a taxa de desenvolvimento de força pelos intervalos fixos de 0-30, 0-50, 0-100 e 0-200 ms relativos ao início da contração [B] (2), ou pelo valor máximo da primeira derivada da curva [C] (3).

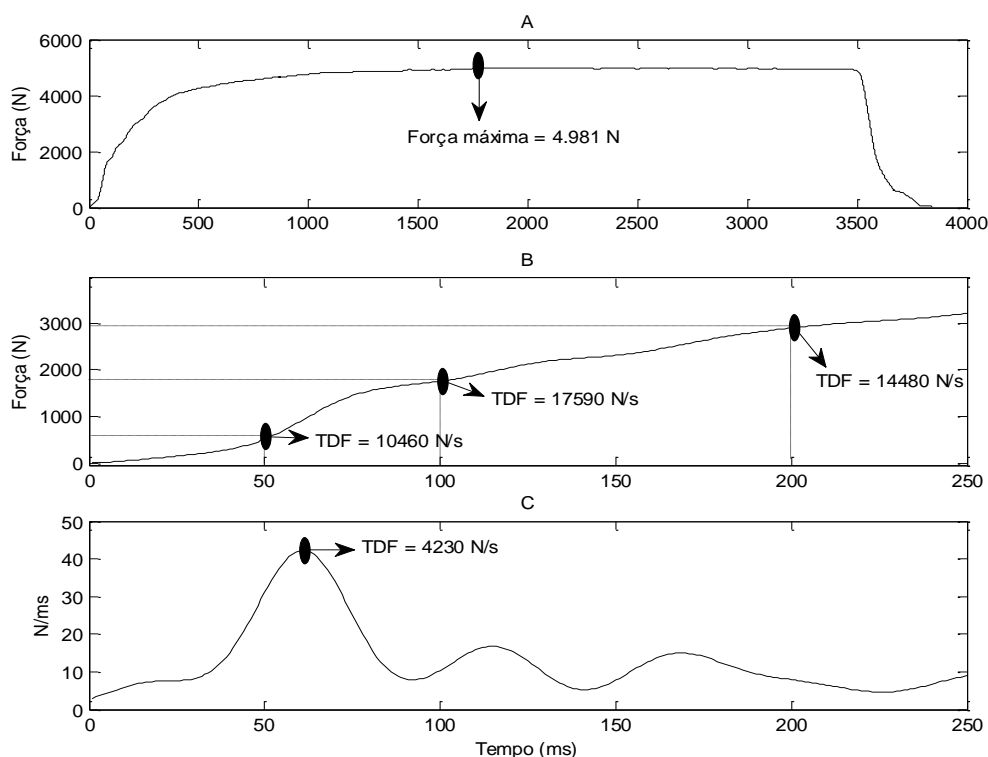


Figura 1. A) Curva Força/Tempo obtida em uma contração voluntária máxima isométrica no exercício de Leg Press 45°; B) Taxa de desenvolvimento de força (TDF) expressa pela produção de força nos intervalos fixos de 0-50, 0-100 e 0-200 ms relativos ao início da contração; C) TDF expressa pelo valor máximo da primeira derivada da curva Força/Tempo.

A literatura aponta que os incrementos na taxa de desenvolvimento de força constituem um dos mais importantes benefícios funcionais induzido pelo treinamento de força. É necessário tanto para atletas de alto rendimento, que precisam impor muita força em intervalos de tempo relativamente limitados (50 a 250 ms), quanto para indivíduos idosos, que frequentemente necessitam lidar com perturbações posturais inesperadas (4).

A manifestação diferenciada dessas capacidades depende de uma interação entre as propriedades contráteis das fibras musculares (tipo I, IIa e IIx) e a eficiência da comunicação advinda dos neurônios motores. As unidades motoras (neurônios motores e fibras musculares por eles inervadas) possuem características morfológicas e metabólicas distintas. Unidades motoras do tipo I possuem axônios de calibres menores, potencial de repouso de -85mV e frequência de recrutamento de 10 a 20Hz (5). São recrutadas mais facilmente para tarefas como a manutenção do tônus muscular e a execução de esforços de baixa intensidade (6, 7). Já as unidades motoras do tipo IIa e IIx possuem axônios com diâmetros maiores, ramificações da junção neuromuscular e densidade de canais dependentes de acetilcolina na placa motora maior quando comparadas com as tipo I (8).

O potencial de repouso das fibras tipo II é de -92,7mV nas fibras do tipo IIa, e -94,6mV nas IIx. Isso significa que o sinal proveniente do estímulo do exercício deve vencer uma diferença maior de potencial elétrico para que sejam recrutadas, e por isso suas frequências de recrutamento são maiores que as do tipo I (40 a 90Hz para as IIa e ~200Hz para as IIx). A consequência a essas propriedades é que as fibras tipo II são recrutadas somente em intensidades mais altas de esforço, que produzem estímulos mais potentes (5).

O uso da eletromiografia (EMG) de superfície tem permitido progressos nos estudos das adaptações neurais ao treino de força. O sinal da EMG é composto pelo somatório dos potenciais de ação oriundos das unidades motoras ativas que emanam para a superfície da pele. Incrementos na amplitude do sinal representam o aumento na capacidade de recrutamento de unidades motoras frente à aplicação de treinos de força diversos (9-11). Já o aumento na frequência de disparos representa o incremento na velocidade de condução dos potenciais de ação das unidades motoras ativas de maior diâmetro, as unidades motoras do tipo II (12).

Uma observação antiga publicada nas décadas de 60/70, que as unidades motoras são recrutadas em ordem crescente de tamanho (diâmetro do axônio) em função do aumento na intensidade do esforço físico ficou conhecida como “princípio do tamanho” (6, 7, 13). Justifica a necessidade do recrutamento de todas as unidades motoras (tipo I, IIa e IIx) ou ativação neuromuscular máxima para o aumento máximo mensurável na força muscular.

Nosso objetivo com esse artigo foi revisar os possíveis mecanismos responsáveis pela resposta neural de curto e longo prazo induzidos especificamente pelos treinamentos de força e potência. A busca pela literatura científica considerada como relevante para essa revisão foi realizada através da base de dados *US National Library of Medicine* (PubMed). Os termos utilizados na busca foram: “*Neural Adaptations to Strength Training*”, “*Neural Adaptations to Resistance-training*”, “*Neural Changes with Training*”. Esses artigos examinaram possíveis aspectos neurais que potencialmente influenciam o desenvolvimento da força, e taxa de desenvolvimento de força em humanos saudáveis. Observações experimentais oriundas dos estudos citados nesses artigos também foram incluídas nessa revisão. Priorizamos os estudos publicados a partir do ano 2000. Uma exceção foi dada aos trabalhos pioneiros na área, com contribuições prioritárias para o entendimento dos achados mais recentes.

POSSÍVEIS MECANISMOS RESPONSÁVEIS PELAS ADAPTAÇÕES NEURAIS INDUZIDAS PELO TREINAMENTO DE FORÇA

Recrutamento de Unidades Motoras

A ativação completa dos músculos agonistas envolvidos em determinado movimento representa um dos grandes desafios que devem ser impostos ao sistema neuromuscular para o desenvolvimento máximo da força. Nesse contexto, a literatura vem sistematicamente apontando a capacidade de recrutar as unidades motoras do tipo Ia e IIx dos músculos agonistas como uma das responsáveis pela produção de força (14). Demais desafios compreendem a ativação das unidades motoras recrutadas nos músculos auxiliares nessas tarefas (sinergistas), juntamente com a inibição dos músculos que realizam o trabalho oposto aos agonistas (antagonistas) (4). Esse conjunto de respostas contribui para a maior capacidade de gerar força.

Quando comparados a indivíduos não treinados e/ou atletas de endurance, atletas de modalidades de força e potência apresentam uma maior ativação neuromuscular frente ao mesmo estímulo relativizado (15-17). Os eletromiogramas apresentados na Figura 2 corroboram esse fato.

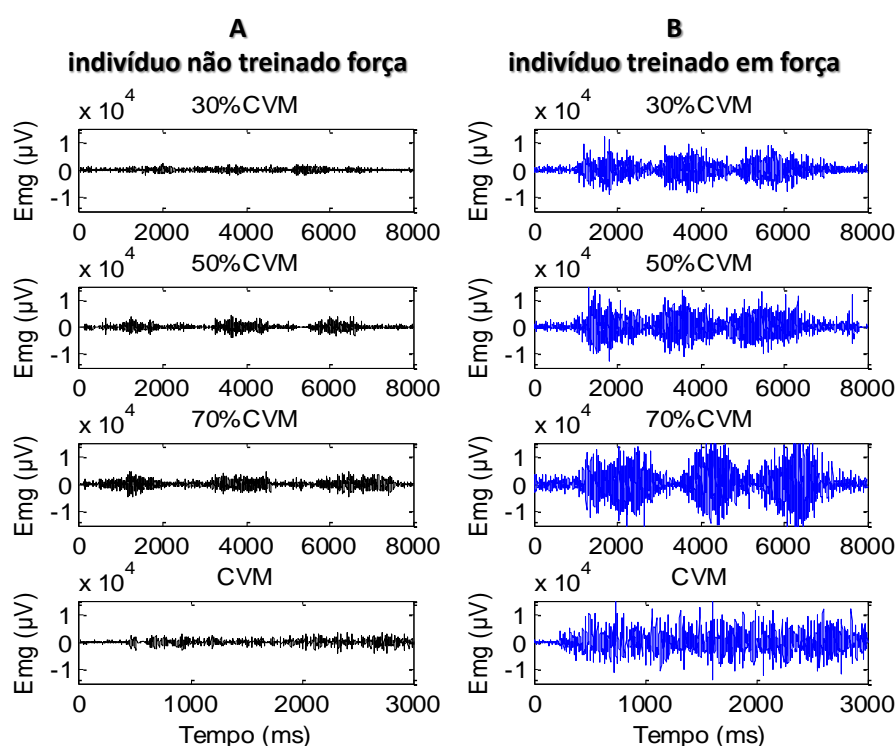


Figura 2. EMG de superfície do músculo vasto lateral de um indivíduo não treinado (A) e de outro com experiência de mais de um ano em treinamento de força (B).

Podemos observar que o sinal bruto da EMG de superfície do músculo vasto medial no exercício de Leg Press 45° de um indivíduo com mais de 1 ano de prática de treinamento de força (A) em comparação com os dados de outro indivíduo não treinado em força (B) é maior em todas as situações agudas de exercícios realizadas: 3 repetições com intensidades de 30%, 50% e 70% da contração voluntária máxima (CVM); e uma contração voluntária máxima em isometria por aproximadamente 3 segundos.

O aumento na ativação neuromuscular em função do aumento na intensidade do esforço, mesmo no sujeito não treinado, deixa claro que os estímulos das sessões de treinos de força devem ser ou intensos ou volumosos para disparar respostas adaptativas tanto nas vias neurais quanto na morfologia, arquitetura e metabolismo da musculatura (4, 11, 14, 18). A Figura 3 sumariza os resultados de um dos estudos pioneiros nessa área (19) e de outros grupos de pesquisa (12, 14, 19-21) relacionados ao tempo necessário para ocorrer adaptações neurais e musculares em resposta ao treino de força.

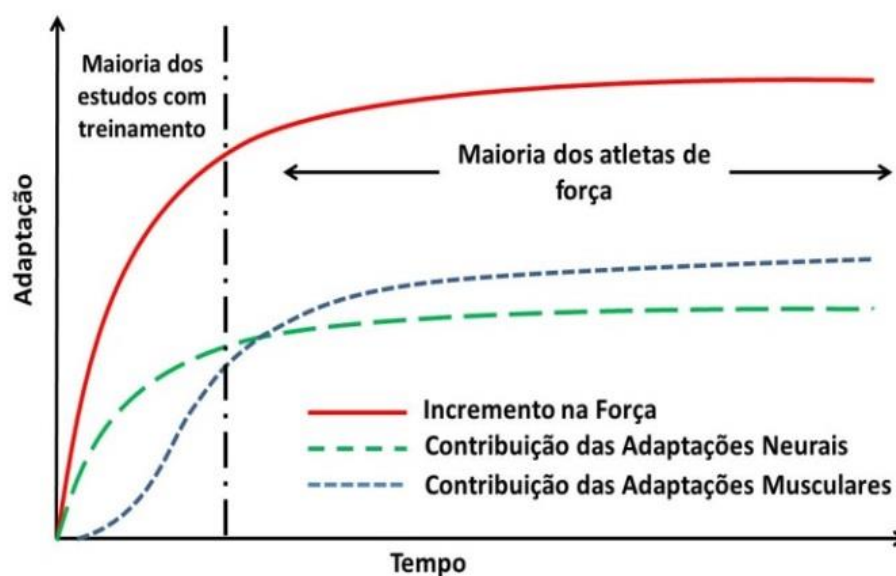


Figura 3. Contribuição das adaptações neurais e musculares ao longo de um programa de treinamento de força. Para indivíduos sedentários, a fase inicial do

treinamento é caracterizada por um predomínio das adaptações neurais sobre as musculares. Adaptado de Sale (14).

É possível observar que principalmente em sujeitos não treinados em força o incremento inicial da força depende inicialmente da resposta adaptativa das vias neurais, que é anterior a resposta hipertrófica muscular. Essa última demanda certo tempo de sessões de treino para se tornar evidente (22). Com o aumento do tempo de treinamento a contribuição das adaptações neurais acaba sendo sobrepujada pelas adaptações musculares. Conseqüentemente, atletas treinados em força devem ter ajustes mais frequentes e diversificados na planilha de treino, relacionados a manipulação das variáveis do treinamento (volume, intensidade, pausas, ações musculares, etc.) e/ou a adoção de novos métodos (pliométria, levantamentos olímpicos, treinamentos complexos, etc.) para a continuidade das adaptações neurais já alcançadas com o treinamento prévio (1, 2, 4, 16, 23).

Sincronização de Unidades Motoras

Outra adaptação neural importante é a sincronização de unidades motoras (20, 24). Isso ocorre devido ao aumento na quantidade de disparos de potenciais de ação advindos de unidades motoras de múltiplos grupamentos musculares sinérgicos em uma mesma unidade de tempo (24). A sincronização de unidades motoras melhora a coordenação intra e intermuscular, proporcionando uma maior capacidade de gerar a maior força.

Um incremento na sincronização de unidades motoras causa um aumento na amplitude do sinal eletromiográfico, atribuído à elevação da incidência de potenciais de ação disparados em um mesmo espaço de tempo (20, 23). Todavia, seu maior papel é desempenhado no aumento da taxa de desenvolvimento de força durante contrações rápidas, ou como um mecanismo de ativação de múltiplos grupamentos musculares sinérgicos (24).

Já o determinante para a melhora da taxa de desenvolvimento de força parece que é o aumento na frequência de disparo de potenciais de ação. Estudos mostraram taxas de aproximadamente 100 a 200 Hz no início de uma contração voluntária, enquanto no instante da geração da força máxima (250-400 ms após

o início da contração) ocorrem taxas muito menores (15-35Hz) (4, 25). A literatura sugere que taxas supra máximas no início da contração maximizariam muito mais a taxa de desenvolvimento de força do que a produção de força máxima (4). No entanto, é importante ter em mente que períodos de treinamento de força induzem incrementos paralelos na amplitude do sinal eletromiográfico no início da contração (2, 25).

Recrutamento Durante as Ações Excêntricas

O princípio do tamanho é desafiado quando os exercícios são feitos em ações excêntricas. Nesse tipo de ação muscular ocorre o recrutamento de unidades motoras do tipo II antes das do tipo I (26). Esse recrutamento seletivo de fibras tipo II pode ser visualizado por uma menor amplitude acompanhado de uma maior frequência do sinal eletromiográfico quando comparado com as ações concêntricas e isométricas (4, 27).

A Figura 4 ilustra esse comportamento, através da amplitude (RMS) e frequência mediana (Fm) do sinal eletromiográfico do músculo vasto medial nas fases excêntrica e concêntrica durante a execução de 3 movimentos no exercício de Leg Press 45°.

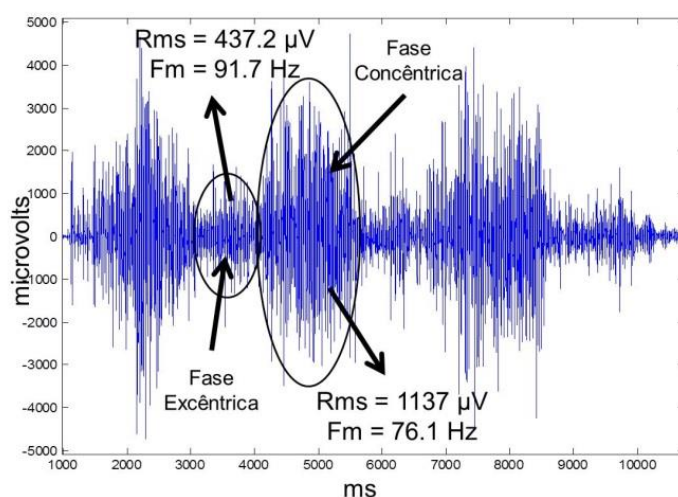


Figura 4. Comportamento da amplitude (RMS) e frequência mediana (Fm) do sinal eletromiográfico do músculo vasto medial nas fases excêntrica e concêntrica durante a execução de 3 movimentos no exercício de Leg Press 45°. Fonte: Ide e colaboradores (5).

Observa-se que na fase concêntrica o RMS é maior (1137 μ V), mas a frequência é menor (76,1 Hz), indicando um número mais acentuado de unidades motoras recrutadas. Em contrapartida na fase excêntrica a amplitude é menor (437,2 μ V), mas a frequência mediana é elevada (91,7 Hz), indicando uma maior atividade das unidades motoras do tipo II. Um menor número de unidades motoras recrutadas para uma determinada força desenvolvida poderia explicar a ocorrência de maiores danos teciduais proporcionados pelas ações excêntricas (4, 27). No entanto, quando os atletas são altamente treinados essa discrepância na amplitude do sinal eletromiográfico entre as ações excêntricas e concêntricas desaparece (26).

Como a ativação voluntária durante as ações excêntricas não é máxima em indivíduos destreinados, mas nos indivíduos treinados esse déficit de ativação parece não existir, podemos inferir que o recrutamento de unidades motoras durante as ações excêntricas poderia também representar um mecanismo adaptativo frente ao treinamento de força e potência.

Mecanismos Proprioceptivos

É importante ter em mente que a magnitude da ativação neuromuscular é regulada pelas vias descendentes centrais, mas também por meio de arcos reflexos sensoriais. Os reflexos são na maior parte das vezes reações automáticas, consistentes e previsíveis a um estímulo sensorial (18). Dessa forma, a força muscular também é fortemente influenciada pelas vias aferentes sensoriais, responsáveis pela propriocepção (28). O fato curioso é que mesmo com o reconhecimento da importância dos mecanismos proprioceptivos para a produção de força as pesquisas neurofisiológicas em humanos durante a execução de movimentos naturais ainda são limitadas, o que torna as inferências relacionadas a adaptações crônicas nos proprioceptores ainda pouco objetivas.

Propriocepção (do latim *proprius*, pertencente a si próprio) refere-se à sensibilidade sobre a posição e movimentos dos próprios membros e do corpo sem o uso da visão. Existem duas sub-modalidades de propriocepção: 1) a sensação de posição estacionária; 2) a sensação de movimento e tensão dos membros. Tais sensações são importantes para o controle do movimento dos

membros, para a manipulação de objetos de diferentes formas e massas, e para a manutenção da postura (29). Para isso a propriocepção é mediada por mecanorreceptores localizados no músculo esquelético, tendões e nas cápsulas articulares.

Três tipos de receptores sinalizam a posição estacionária dos membros e a velocidade e direção dos movimentos: 1) receptores sensíveis ao alongamento do músculo, denominados fusos musculares; 2) receptores chamados órgãos tendinosos de Golgi (OTG), localizados nos tendões e sensíveis a força da contração muscular; 3) receptores mecânicos localizados nas cápsulas articulares sensíveis a flexão e extensão das articulações, chamados de corpúsculos de Pacini. A função principal destes últimos receptores é indicar mudanças no comprimento dos músculos, associadas com alterações nos ângulos das articulações.

Ativação da Excitabilidade dos Fusos Musculares

Os fusos musculares são receptores sensoriais localizados no interior das fibras musculares. São responsáveis pelo “reflexo de estiramento”, o elemento funcional mais simples da atividade das unidades motoras. Os fusos são estruturas encapsuladas com forma fusiforme. Estão localizados no interior do ventre muscular. São compostos por fibras intrafusais, terminais sensoriais e axônios motores. Cada fuso contém inúmeras fibras terminais sensoriais, e é inervado por motoneurônios gama. Os fusos fornecem informações ao sistema nervoso quanto ao comprimento do músculo e taxa de mudança de comprimento (velocidade de contração e alongamento). As alterações detectadas pelos fusos são transmitidas até a medula por uma via sensorial aferente (Ia) que estimula os motoneurônios- α . Como resposta os músculos contraem (18). Uma vez o músculo contraído o alongamento inicial dos fusos é removido, diminuindo a atividade aferente tipo Ia. Esse processo é muito rápido. Envolve apenas uma sinapse na medula espinal. Portanto o termo monosináptico também tem sido utilizado para descrever o reflexo de estiramento (18).

Um incremento da excitabilidade dos motoneurônios- α pode levar a uma contração muscular mais potente, representando uma adaptação muito

vantajosa para atletas de modalidades de força e potência (12, 21, 23). Tal excitabilidade é comumente mensurada através da amplitude do reflexo de Hoffmann (reflexo-H), definido como uma resposta reflexa monossináptica frente a uma estimulação elétrica de um nervo periférico (30). O fenômeno se manifesta pela estimulação dos axônios dos motoneurônios, que leva a ativação da via aferente la dos fusos musculares. Após certo intervalo de tempo, essa sinapse aferente la induz uma segunda resposta eletromiográfica, denominada de reflexo-H (21, 30). Nesse quesito a literatura reporta tanto estudos transversais, com comparações entre diferentes populações atléticas (31), assim como estudos longitudinais, que monitoram a evolução de tais adaptações (11, 14, 20, 21).

Atenuação do Efeito Inibitório dos Órgãos Tendinosos de Golgi

Os órgãos tendinosos de Golgi (OTG) são receptores sensoriais localizados entre as fibras musculares e os tendões (29). São estruturas encapsuladas com cerca de 1 mm de comprimento, 0,1 mm de diâmetro e inervados por um axônio único (grupo Ib). Possuem função antagônica a dos fusos em relação à excitabilidade dos motoneurônios- α . A ativação de neurônios sensitivos do grupo Ib dos OTG induzem inibição autogênica de um músculo agonista e seus sinergistas, com a concomitante excitação dos músculos antagonistas ao movimento. Funciona como um mecanismo protetivo: quando ativados os OTGs limitam a tensão suportada para minimizar possíveis danos aos músculos e tecidos conjuntivos.

Um estímulo potente para a ativação dos OTG é a contração mais vigorosa das fibras musculares ligadas ao feixe de fibras de colágeno que contém o receptor (32). Os impulsos liberados pelos receptores sensoriais Ib deprimem a resposta do neurônio motor através da ação de interneurônios inibitórios localizados na medula espinal (32, 33).

Um dos efeitos adaptativos ao treino de força é a redução da inibição causada pelos OTGs, contribuindo para o aumento da força muscular (21). No entanto, os mecanismos relacionados a essa inibição neural, e a sua subsequente redução com o treinamento de força não estão ainda totalmente esclarecidos

(28). Uma hipótese comumente difundida, mas ainda sem evidências experimentais para a diminuição do efeito inibitório dos OTG induzido pelo treinamento de força seria o acúmulo de tecido conjuntivo em resposta ao treinamento, o que tornaria os OTG menos sensíveis, diminuindo assim sua resposta inibitória (34).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma variedade de adaptações neuromusculares são responsáveis pelo incremento da força, potência e taxa de desenvolvimento de força. Sabendo-se que em indivíduos sedentários as adaptações neurais predominam no início de um programa de treinamento, é plausível que determinados meios e métodos de treino que se mostram eficazes para essa população não apresentem a mesma magnitude de adaptações em indivíduos treinados. O estudo das respostas e adaptações neurais ao treinamento pode auxiliar no desenvolvimento de meios e métodos de treino cada vez mais eficazes tanto para indivíduos treinados quanto sedentários. Futuros estudos devem focar suas observações a população analisada, bem como relacionar as variáveis (intensidade, volume, pausas, velocidade de execução, etc.) e métodos de treinamento (treinamento de força tradicional, pliometria, levantamentos olímpicos, treinamentos complexos, etc.) às respostas adaptativas obtidas. A figura 5 apresenta um resumo das adaptações neurais do treinamento de força e potência revisadas no presente trabalho.



Figura 5. A ativação dos agonistas e sinergistas, juntamente com a inibição dos antagonistas, contribui para uma melhora da coordenação intra e intermuscular, proporcionando uma maior capacidade de gerar a maior força, potência e taxa de desenvolvimento de força.

REFERÊNCIAS

1. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med.* 2011;41(1):17-38.
2. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol.* 2002;93(4):1318-26.
3. Mirkov DM, Nedeljkovic A, Milanovic S, Jaric S. Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *European journal of applied physiology.* 2004;91(2-3):147-54.
4. Aagaard P. Training-induced changes in neural function. *Exercise and sport sciences reviews.* 2003;31(2):61-7.
5. Ide BN, Ramari C, Muramatsu LV, Vieira WF, Bianchi S, Rissi R, et al. ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE-Aplicações na fisiologia do exercício. *ACTA BRASILEIRA DO MOVIMENTO HUMANO-Revista de Educação Física.* 2013;2(4):60-78.
6. Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Excitability and inhibitability of motoneurons of different sizes. *J Neurophysiol.* 1965;28(3):599-620.
7. Henneman E, Clamann HP, Gillies JD, Skinner RD. Rank order of motoneurons within a pool: law of combination. *J Neurophysiol.* 1974;37(6):1338-49.
8. Bottinelli R, Reggiani C. Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. *Progress in biophysics and molecular biology.* 2000;73(2-4):195-262.
9. Hakkinen K, Komi PV. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine and science in sports and exercise.* 1983;15(6):455-60.
10. Hakkinen K, Komi PV, Alen M, Kauhanen H. EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. *European journal of applied physiology and occupational physiology.* 1987;56(4):419-27.
11. Sale DG. Neural adaptation to resistance training. *Medicine and science in sports and exercise.* 1988;20(5 Suppl):S135-45.
12. Ross A, Leveritt M, Riek S. Neural influences on sprint running: Training adaptations and acute responses. *Sports Medicine.* 2001;31(6):409-25.
13. Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Functional Significance of Cell Size in Spinal Motoneurons. *J Neurophysiol.* 1965;28:560-80.
14. Sale DG. Neural Adaptation to Strength Training. *Strength and power in sport: Blackwell Science Ltd; 2008.* p. 281-314.
15. Leong B, Kamen G, Patten C, Burke JR. Maximal motor unit discharge rates in the quadriceps muscles of older weight lifters. *Medicine and science in sports and exercise.* 1999;31(11):1638-44.
16. Ahtiainen JP, Hakkinen K. Strength athletes are capable to produce greater muscle activation and neural fatigue during high-intensity resistance

exercise than nonathletes. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2009;23(4):1129-34.

17. Saplinkas JS, Chobotas MA, Yashchaninas, II. The time of completed motor acts and impulse activity of single motor units according to the training level and sport specialization of tested persons. *Electromyography and clinical neurophysiology*. 1980;20(6):529-39.

18. Moritani T. Motor Unit and Motoneurone Excitability during Explosive Movement. *Strength and power in sport: Blackwell Science Ltd*; 2008. p. 27-49.

19. Moritani T, deVries HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American journal of physical medicine*. 1979;58(3):115-30.

20. Carroll TJ, Riek S, Carson RG. Neural adaptations to resistance training: implications for movement control. *Sports Med*. 2001;31(12):829-40.

21. Gabriel DA, Kamen G, Frost G. Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Medicine*. 2006;36(2):133-49.

22. Phillips SM. Short-term training: when do repeated bouts of resistance exercise become training? *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee*. 2000;25(3):185-93.

23. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*. 2007;37(2):145-68.

24. Semmler JG. Motor unit synchronization and neuromuscular performance. *Exercise and sport sciences reviews*. 2002;30(1):8-14.

25. Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *The Journal of physiology*. 1998;513 (Pt 1):295-305.

26. Duchateau J, Baudry S. Insights into the neural control of eccentric contractions. *J Appl Physiol*. 2013.

27. McHugh MP, Tyler TF, Greenberg SC, Gleim GW. Differences in activation patterns between eccentric and concentric quadriceps contractions. *Journal of sports sciences*. 2002;20(2):83-91.

28. Aagaard P, Simonsen E, Andersen J, Magnusson S, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *Journal of Applied Physiology*. 2000;89(6):2249-57.

29. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Principles of neural science: McGraw-Hill New York*; 2000.

30. Schieppati M. The Hoffmann reflex: a means of assessing spinal reflex excitability and its descending control in man. *Progress in neurobiology*. 1987;28(4):345-76.

31. Maffiuletti NA, Martin A, Babault N, Pensini M, Lucas B, Schieppati M. Electrical and mechanical H(max)-to-M(max) ratio in power- and endurance-trained athletes. *J Appl Physiol* (1985). 2001;90(1):3-9.

32. Pearson K, Gordon J. Spinal reflexes. *Principles of Neuroscience McGraw-Hill, New York*. 2000:713-36.

33. Duchateau J, Enoka RM. Neural control of shortening and lengthening contractions: influence of task constraints. *The Journal of physiology*. 2008;586(24):5853-64.

34. Chalmers G. Do Golgi tendon organs really inhibit muscle activity at high force levels to save muscles from injury, and adapt with strength training? *Sports biomechanics/International Society of Biomechanics in Sports*. 2002;1(2):239.