

**TREINAMENTO DE FORÇA: FATORES NEURAIS E PRODUÇÃO DE FORÇA MUSCULAR**

Rafael Ribeiro Alves<sup>1</sup>, Anderson Miguel Cruz<sup>1</sup>  
Ademir Schmidt<sup>1</sup>, Marcelo Henrique Silva<sup>1</sup>  
Thaynã Coelho Guimarães<sup>1</sup>, Ricardo Borges Viana<sup>1</sup>

**RESUMO**

**Introdução:** A prática do treinamento de força (TF) promove várias adaptações funcionais, dentre as quais temos o aumento da força, constatado em maior magnitude nos primeiros meses de treinamento. **Objetivo:** Realizar um ensaio crítico sobre os possíveis mecanismos ligados ao sistema nervoso central e a produção de força muscular. **Materiais e Métodos:** Foi realizada uma pesquisa de revisão bibliográfica nas bases de dados: MEDLINE, SCIELO e Periódicos CAPES. A seleção dos artigos foi pautada na relevância ao tópico discutido. Adicionalmente, utilizou-se livros sobre a temática publicados nos últimos 7 anos. **Resultados:** Existe uma grande influência do sistema nervoso central na produção de força muscular através dos mecanismos: "spillover", irradiação motora, inibição recíproca entre hemisférios, déficit bilateral, educação de força cruzada, recrutamento de unidades motoras, frequência de disparos, aumento da taxa de desenvolvimento binário, bem como alterações no córtex motor a nível cortical. **Discussão:** As evidências apontam para alterações agudas e crônicas do sistema neuromuscular em decorrência da prática do TF. Fatores como tipo de treinamento, volume, intensidade, fases da contração muscular podem influenciar não somente na magnitude de força produzida, mas também em alterações específicas de cada membro treinado. **Conclusão:** Os estímulos fisiológicos promovidos pelo treinamento podem desencadear alterações neurais em conjunto com o sistema muscular que afetam diretamente a magnitude da produção de força muscular através de vários mecanismos e fenômenos. Assim, conhecer tais fenômenos é extremamente importante para melhorar a prescrição do treinamento físico.

**Palavras-chave:** Adaptação Neural. Força Muscular. Fatores Neurais.

**ABSTRACT**

**Strength training:** neural factors and muscle force production

**Introduction:** The practice of strength training promotes several functional adaptations, among which we have the increase of strength, found in greater magnitude in the first months of training. **Objective:** To perform a critical review on the possible mechanisms related to the central nervous system and the production of muscular strength. **Materials and Methods:** A bibliographic review was carried out in the databases: MEDLINE, SCIELO and CAPES Periodicals. The selection of articles was based on relevance to the topic discussed. In addition, some books published in the last 7 years have been used. **Results:** There is a great influence of the central nervous system on the production of muscular strength through the mechanisms: spillover, motor irradiation, reciprocal inhibition between hemispheres, bilateral deficit, cross-force education, recruitment of motor units, frequency of firing, increase of binary development rate as well as there is no cortical to cortical motor. **Discussion:** The evidence points to acute and chronic alterations of the neuromuscular system due to the practice of strength training. Factors like type of training, volume, intensity, phases of muscle contraction can influence not only the magnitude of force produced, but also in specific changes in each trained member. **Conclusion:** Physiological stimuli promoted by training can trigger neural changes in conjunction with the muscular system that directly affect the magnitude of muscular force production through various mechanisms and phenomena. Thus, to know such phenomena is extremely important to improve the prescription of training.

**Key words:** Neural Adaptation. Muscular Strength. Neural Factors.

1-Universidade Federal de Goiás (UFG), Brasil.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, pesquisas têm evidenciado os benefícios do treinamento de força (TF) relacionados à aptidão física e à qualidade de vida (American College of Sports Medicine, 2009; Bird, Tarpenning e Marino, 2005; De França e colaboradores, 2015; Paoli, Moro e Bianco, 2015).

Sabe-se que ao iniciar a prática do TF ocorre uma série de adaptações fisiológicas afim de se buscar um equilíbrio homeostático (Czapla, Szczepanowska e Cieslik, 2007).

Dentre essas adaptações, tem-se o aumento da força muscular que é considerada uma adaptação muito importante, uma vez que índices elevados de força muscular estão diretamente relacionados à diminuição da mortalidade por todas as causas e melhor qualidade de vida (Artero e colaboradores, 2011).

A produção de movimento pelos músculos e conseqüentemente de força é ocasionado devido a ação de um impulso nervoso proveniente do sistema nervoso central através de uma estrutura denominada neurônio, que é classicamente considerado a unidade morfofuncional fundamental do sistema nervoso (Lent, 2010).

Ao se iniciar a prática do TF ocorre um incremento de força muscular em maior magnitude nos primeiros meses de treinamento (Enoka, 2000).

Entretanto, nas fases iniciais do treinamento não é constatado um percentual de hipertrofia elevado que poderia justificar o aumento da força muscular (Fleck e Kraemer, 2017).

Portanto, vários pesquisadores atribuem os ganhos iniciais de força muscular a possíveis alterações neurais do sistema nervoso central, tais como: o sincronismo e recrutamento de unidades motoras, aumento da frequência de disparos, aperfeiçoamento da coordenação intermuscular e intramuscular, diminuição da coativação muscular e aumento de força muscular pela educação de força cruzada (Bear, Connors e Paradiso, 2006; Cormie, Mcguigan e Newton, 2011; Farthing, Krentz e Magnus, 2009; Ferri e colaboradores, 2003; Fleck e Kraemer, 2017; Gabriel, Kamen e Frost, 2006; Gentil, 2014; Prestes e colaboradores, 2010).

Contudo, essas alterações neurais parecem não explicar todas as adaptações

relacionadas ao aumento da força muscular em decorrência do TF. Portanto, se faz necessário mais esclarecimentos sobre suas origens, influências e relação com a força muscular.

O esclarecimento dessa temática pode contribuir em uma melhor organização das sessões de treinos e na prescrição de exercícios físicos, tendo em vista que a utilização de fases da contração muscular específicas, exercícios específicos, tipos de treinamento, além da condição de destreinamento têm relação direta com as adaptações neurais (Andersen e colaboradores, 2005; Hay, Souza e Fukushima, 2006; Higbie e colaboradores, 1996; Pain, 2014; Schmidt, 1993).

Assim, o objetivo do presente ensaio é fazer uma análise crítica sobre as alterações neurais, na perspectiva de apontar os mecanismos/fenômenos neurofisiológicos que possam contribuir no esclarecimento sobre o aumento da força muscular em decorrência do TF.

## MATÉRIAS E MÉTODOS

O presente artigo tem formato de ensaio crítico e foi construído com base em revisão da literatura referente à temática. As bases de dados utilizadas foram: Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE), Scientific Electronic Library Online (SciELO) e o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Adicionalmente, utilizou-se alguns livros sobre a temática publicados nos últimos 7 anos. Nas bases de dados foram utilizados os seguintes termos nos idiomas português, inglês e espanhol: “adaptação neural e força muscular” (neural adaptation and muscle strength - adaptación neural y fuerza muscular), “fatores neurais e produção de força” (neural factors and power production - factores neurales y producción de fuerza), “treinamento de força e adaptação neural” (strength training and neural adaptation - entrenamiento de fuerza y adaptación neural).

A seleção dos artigos foi pautada na relevância ao tópico discutido, sempre que possível, na ordem de preferência: artigos científicos internacionais e artigos científicos nacionais publicados entre janeiro de 2007 e junho de 2017.

Em virtude da temática em questão e dos artigos selecionados optou-se por abordar separadamente os seguintes tópicos: I) relação volume e intensidade sobre as adaptações neurais; II) especificidades das contrações musculares e adaptações neurais; III) tipos de treinamento e adaptações neurais; IV) exercícios unilaterais: educação de força cruzada e déficit bilateral; V) relação músculo agonista/antagonista: influências no aumento da força muscular.

### **Relação volume e intensidade sobre as adaptações neurais**

Ao se prescrever o treinamento é imprescindível a análise de alguns fatores, tais como: nível de treinamento, objetivos a curto e longo prazo, limitações ortopédicas, condição de saúde, entre outras (Prestes e colaboradores, 2010).

O volume e/ou intensidade de treino são variáveis que devem ser consideradas em todos os períodos da periodização. Portanto, entender como essas variáveis podem interferir nas adaptações neurais é fundamental para uma prescrição de treino adequado.

Os achados de Radaelli e colaboradores (2013) constataram que treinos de baixo e alto volume são eficientes para aumentar a atividade eletromiográfica e força dinâmica em membros superiores e inferiores de forma similar em mulheres idosas destreinadas.

Sendo assim, o volume de treino parece não ser uma variável determinante para as adaptações neurais para esse público em específico.

Paulsen, Myklestad e Raastad (2003) relataram que homens destreinados que realizaram apenas 1 série por exercício (4 exercícios para membros superiores) tiveram adaptações similares na força dos membros superiores quando comparados aos homens que realizaram 3 séries por exercício (4 exercícios para membros superiores).

Por outro lado, o aumento na força máxima de membros inferiores foi maior para os homens que realizaram 3 séries por exercício (3 exercícios para membros inferiores) do que 1 série por exercício (3 exercícios para membros inferiores) (21% vs. 14%, respectivamente,  $p=0,01$ ).

Sabendo que os ganhos iniciais de força em pessoas destreinadas têm relação direta com as adaptações neurais (Gentil, 2014), prescrever o mesmo número de séries para membros inferiores e superiores pode refletir em adaptações neurais distintas, fator este que pode desencadear diferentes magnitudes de aumento da força muscular.

Portanto, é necessário que essas especificidades sejam consideradas no processo de prescrição de exercícios principalmente para indivíduos destreinados.

### **Especificidades das contrações musculares e adaptações neurais**

Existem três tipos de ações/fases da contração muscular que são utilizadas no TF: concêntrica, excêntrica e isométrica (Fleck e Kraemer, 2017). Baroni e colaboradores (2013) avaliaram a influência do treinamento excêntrico sobre o pico de torque e atividade eletromiográfica.

Apesar do treinamento não ter enfatizado as outras fases da contração muscular, os resultados mostraram um aumento do pico de torque em todas as fases (isométrica = 24%, concêntrica = 15% e excêntrica = 29%).

Adicionalmente, o torque isométrico e excêntrico aumentou significativamente ( $p<0,05$ ) durante as 12 semanas. Por outro lado, o torque concêntrico permaneceu praticamente inalterado entre a semana 8 e 12.

Além disso, a atividade eletromiográfica em isometria e durante a fase concêntrica demonstraram um aumento (28,6% e 13,6%, respectivamente) significativo durante as 12 semanas.

Contudo, observou-se um aumento de 8,5% na atividade eletromiográfica em isometria entre as semanas 8 e 12, enquanto, no mesmo período a atividade eletromiográfica na fase concêntrica sofreu um decréscimo de 3%.

Embora a atividade eletromiográfica na fase excêntrica tenha aumentado 33,1%, observou-se que o maior aumento (30,0%) ocorreu entre as semanas 1 e 4.

Portanto, os achados indicam que apesar da transferência de força para as demais ações/fases da contração muscular não treinadas, este aumento não é similar e linear, constatando-se que um maior

percentual de aumento na atividade eletromiográfica é encontrado na ação/fase muscular treinada, o que pode indicar uma especificidade ao treinamento realizado e pode servir de parâmetro para prescrição de exercício visando um maior aumento da força em ações/fases musculares específicas.

Neste contexto, Noorköiv, Nosaka e Blazevich (2014) constataram uma adaptação do sistema nervoso central referente aos treinamentos isométricos em ângulos específicos. Os autores avaliaram a atividade eletromiográfica e pico de torque dos músculos vasto lateral, vasto medial, reto femoral e bíceps femoral em um treinamento isométrico na cadeira extensora realizado em dois ângulos distintos: joelho estendido a  $87,5^\circ \pm 6,0^\circ$  e flexionado a  $38,1^\circ \pm 3,7^\circ$ .

Os resultados mostraram que a atividade eletromiográfica aumentou em maior magnitude nos ângulos próximos ao qual foi realizado o treinamento isométrico com o joelho flexionado ( $p < 0,05$ ).

Tais aumentos foram relacionados com o aumento da força em  $13,4\% \pm 9,7\%$  ( $p < 0,01$ ), corroborando com os achados de Kubo e colaboradores (2006), em que foi encontrado um aumento de força nos ângulos próximos ao utilizado durante o treinamento isométrico ( $40^\circ$ -  $80^\circ$ ,  $p < 0,05$ ). Contudo, o mesmo não aconteceu no grupo que treinou com os joelhos estendidos.

Neste contexto, a extensão do joelho na cadeira extensora parece proporcionar uma maior atividade eletromiográfica do músculo quadríceps em treinamento isométrico com ângulos menores quando comparado ao treinamento isométrico em ângulos maiores.

### **Tipos de treinamento e adaptações neurais**

Comumente os aparelhos de exercícios disponíveis fornecem resistência contínua, onde a distância do braço da alavanca é mantida durante todos os graus de amplitude do movimento, enquanto aqueles que fornecem resistência variável manipulam a distância do braço da alavanca para proporcionar maior resistência durante certas fases da amplitude de movimento.

A alternância ou constância de resistência no treinamento também podem influenciar as adaptações neurais (Walker e colaboradores, 2014). Walker e colaboradores (2014) submeteram idosos fisicamente ativos

a 20 semanas de TF. Os idosos foram divididos em grupos de treinamento com resistência variável (TRV), grupo treinamento com resistência contínua (TRC) e grupo controle.

Os autores avaliaram a força máxima, força isométrica, atividade eletromiográfica, capacidade de treinar até a falha concêntrica e hipertrofia muscular em decorrência do treinamento com diferentes resistências.

Apesar de não ter sido encontrado diferenças significativas na força máxima, força isométrica e hipertrofia muscular, o grupo TRV obteve um maior aumento no trabalho total realizado durante teste de repetições até a falha.

Adicionalmente, foi observado um aumento da atividade eletromiográfica do vasto lateral e medial até a semana 10, com redução significativa nas últimas semanas ( $p < 0,05$ ).

Esses resultados corroboram os achados de De Vos e colaboradores (2005), ao qual foi evidenciado que indivíduos com maior carga de trabalho total obtiveram resultados mais significativos em um teste de repetições máximas com falha concêntrica para um percentual de 90% de 1RM.

Para além disso, constataram que as adaptações neurais referentes ao aumento da atividade eletromiográfica não está diretamente associada ao aumento do trabalho total, visto que em ambos os grupos ocorreu um aumento da atividade eletromiográfica, mas somente o grupo TRV obteve aumento significativo na carga de trabalho total.

Vila-chã, Falla e Farina (2010), conduziram uma pesquisa para avaliar a influência do TF e treinamento aeróbio na taxa de velocidade de condução do impulso nervoso, taxa de descarga de unidades motoras (quantos impulsos chegam às fibras por um determinado período de tempo), contração voluntária máxima, taxa de desenvolvimento de força e resistência à fadiga.

A amostra foi dividida em dois grupos: grupo TF ou treinamento aeróbio. O grupo TF obteve aumento na contração voluntária máxima ( $17,5 \pm 7,5\%$ ), seguido de um aumento na taxa de descarga das unidades motoras (4,9% no músculo vasto medial e 4,7% no músculo vasto lateral).

Porém, o grupo que realizou treinamento aeróbio reduziu a taxa de

descarga das unidades motoras em 6,2% no músculo vasto medial e 5,6% no músculo vasto lateral.

Em contrapartida foi constatado um aumento da resistência à fadiga apenas no grupo que realizou treinamento aeróbio. A velocidade de condução das unidades motoras aumentou em ambos os grupos somente após a terceira semana de treinamento, embora sem diferença estatística entre os grupos.

Tais resultados corroboram com a premissa que exercícios que exigem uma maior produção de força máxima podem proporcionar um maior recrutamento de unidades motoras e promover um aumento na taxa de descarga, o que não é constatado no treinamento aeróbio de baixa intensidade e de longa duração.

Apesar de aumentos similares na velocidade de condução, o treinamento aeróbio pode desencadear adaptações além das neurais, e essas podem estar relacionadas a resistência a fadiga.

Portanto, podemos constatar que a resistência à fadiga não tem uma relação proporcional à taxa de descarga das unidades motoras, bem como a velocidade de condução dos impulsos nervosos necessitam de pelo menos três semanas para demonstrar aumentos significativos decorrentes do treinamento, ficando claro que essa variável pode não ser a única responsável pelo aumento da contração voluntária máxima no grupo TF, visto que a mesma sofreu aumentos significativos neste período.

Balshaw e colaboradores (2017) constataram que um dos fatores mais importantes para a produção de força muscular é o aumento da atividade neural dos músculos agonistas quando comparado com as alterações morfológicas (hipertrofia muscular e/ou diminuição do ângulo de penação do fascículo muscular) e com outros fatores neurais (redução da co-ativação de antagonistas).

Eklund e colaboradores (2015) dividiram um grupo de homens em dois grupos: grupo que realizou o treinamento de força e treinamento aeróbio (F+A), respectivamente, e outro grupo que realizou o treinamento aeróbio e treinamento de força (A+F), respectivamente.

Após 24 semanas de treino foi constatado um aumento na atividade eletromiográfica do vasto medial

substancialmente maior no grupo F+A. Esse resultado demonstra que a ordem dos exercícios pode promover diferentes adaptações neurais, visto que as taxas de descarga de unidades motoras podem diminuir nos treinamentos aeróbios de baixa intensidade (Vila-chã, Falla e Farina, 2010).

Tal fator pode ter sido um dos contribuintes para essa redução da atividade eletromiográfica do músculo vasto lateral.

Adicionalmente, no respectivo estudo foi constatado um aumento similar na produção de força máxima e hipertrofia muscular em ambos os grupos.

Wilhelm e colaboradores (2014), reportaram que a desproporção entre a atividade eletromiográfica e a produção de força muscular, pode ser justificada pelo fato de se ter avaliado a ativação muscular apenas de músculos específicos, faltando assim justificativas concretas para correlacionar a ativação muscular com a produção de força máxima.

### **Exercícios unilaterais: educação de força cruzada e déficit bilateral**

A educação de força cruzada é definida como a transferência de força para o membro contralateral não treinado (Adamson e colaboradores, 2008).

Fimland e colaboradores (2009) analisaram a transferência de força e atividade eletromiográfica do membro contralateral após quatro semanas de treinamento do músculo tríceps sural (gastrocnêmios e sóleo). Os autores encontraram diferenças no ganho de força para os músculos do membro treinado (40%,  $p < 0,01$ ) e do membro não treinado (33%,  $p < 0,01$ ).

Também foi reportado um aumento na atividade eletromiográfica do músculo sóleo do membro treinado ( $42 \pm 17\%$ ) e do membro contralateral não treinado ( $45 \pm 43\%$ ). Os autores justificam esse aumento de força e atividade eletromiográfica devido ao aumento da excitabilidade dos motoneurônios, mudanças na inibição pré-sináptica e ocorrência do fenômeno "spillover" descrito por Mitchell, Feng e Lee (2007).

O "spillover" é considerado como uma possível transmissão do impulso nervoso destinado a determinados neurônios para neurônios vizinhos, o que pode favorecer a

uma estimulação neural do lado/membro não treinado (Carroll e colaboradores, 2006).

Hendy, Spittle e Kidgell (2012), alegam que os possíveis fenômenos da educação cruzada são interações entre os hemisférios cerebrais, através do corpo caloso, bem como as fibras corticospinais ipsilaterais que possivelmente podem influenciar a produção de força do membro não treinado através do "spillover". Os autores também reportaram um fenômeno denominado de irradiação motora, que possivelmente ocorre em movimentos unilaterais, em que apenas um dos lados do córtex cerebral é estimulado, podendo desencadear uma transferência de atividade excitatória para o córtex do lado oposto. Esse fenômeno também é descrito por Leenus e colaboradores (2013).

Ao se avaliar a influência desses mecanismos em membros imobilizados, Farthing, Krentz e Magnus (2009) e Magnus e colaboradores (2010) constataram que o nível de força, bem como a hipertrofia muscular foram mantidas sem alterações por três semanas quando realizados exercícios com o membro contralateral.

Tais achados corroboram com aqueles reportados por Palmer e colaboradores (2013), em que através da utilização de ressonância magnética, os autores constataram alterações no trato córtico espinhal, verificando-se uma diminuição da difusão média do trato córtico espinhal de todos os indivíduos treinados unilateralmente.

Adicionalmente, foi demonstrado através da anisotropia fracionada um aumento da densidade das fibras, diâmetro do axônio e mielinização dos mesmos na massa branca em 3,6%, fator que pode ter contribuído para o aumento de 39,5% na contração voluntária máxima do membro treinado e 30,1% no membro não treinado, além da possível influência do mecanismo "spillover" relatado anteriormente por Mitchell, Feng e Lee (2007).

Em contrapartida, exercícios unilaterais podem promover um déficit bilateral, caracterizado pela somatória das cargas utilizadas unilateralmente serem maiores do que a carga utilizada bilateralmente (Bobbert e colaboradores, 2006).

Beurskens e colaboradores (2015) constataram que exercícios bilaterais no TF ou em treinamentos de equilíbrio podem diminuir

o déficit bilateral em indivíduos jovens e idosos.

Neste sentido, a utilização de exercícios unilaterais para indivíduos com membros imobilizados é uma estratégia interessante, contudo o treinamento unilateral realizado de forma crônica pode ocasionar uma redução da força bilateral.

### **Relação agonista/antagonista: influências no aumento da força muscular**

A ativação simultânea de agonista e antagonista denominada de cocontração se mostrou eficiente em indivíduos destreinados para aumentar o recrutamento de unidades motoras e hipertrofia nos extensores e flexores de cotovelo, mesmo sem a presença de carga externa (Maeo e colaboradores, 2014).

Neste contexto, podemos constatar que as adaptações neurais acontecem simultaneamente em músculos agonistas e antagonistas, mesmo com baixos volumes e baixas intensidades de treinamento.

Geertsen, Lundbye-Jensen e Nielsen (2008) realizaram um estudo para verificar a ativação dos músculos antagonistas e sua possível inibição recíproca na força muscular dos músculos agonistas em decorrência de um treinamento para aumentar a velocidade de contração e produção de força no movimento de dorsiflexão dos músculos flexores plantares.

Após 4 semanas de treinamento foi constatado um aumento da taxa de desenvolvimento binário (utilizado para medir a ativação de acordo com o período de tempo dado em milissegundos) em todos os períodos de tempo medidos: 0-30 ms aumentou 32% ( $p < 0,05$ ), 0-50 ms aumentou 33% ( $p < 0,05$ ), 0-100 ms aumentou 30% ( $p < 0,05$ ) e 0-200 ms aumentou 24% ( $p < 0,05$ ).

Foi constatado um aumento de 20% na quarta semana e continuou significativamente aumentado após as 2 semanas de destreino (21%).

Porém a coativação avaliada pré e pós treino não sofreu alteração significativa (10%,  $p > 0,05$ ). Assim, a diminuição da coativação parece não influenciar no aumento da atividade neural dos agonistas, corroborando os achados de Morse e colaboradores (2007) e Billot e colaboradores (2014). Contudo, divergindo dos achados de Amarantini e Bru (2015).

Portanto, a relação deste fenômeno com o comportamento da força muscular não está totalmente esclarecida até o presente momento, necessitando da realização de mais pesquisas.

### CONCLUSÃO

Até o presente momento, podemos constatar que as adaptações neurais podem ocorrer de diferentes formas e são influenciadas pelo tipo de treinamento, exercícios bilaterais ou unilaterais, volume, intensidade e tipos de contração muscular.

Adicionalmente, apesar das divergências presentes nas atuais pesquisas, o conhecimento sobre os fatores neurais é de extrema importância principalmente para os Profissionais de Educação Física que lidam diariamente com indivíduos que necessitam aumentar a produção de força muscular.

### REFERÊNCIAS

- 1-Adamson, M.; MacQuaide; Niall, H.; Jan, H.; Jan K.; Ole, J. Unilateral arm strength training improves contralateral peak force and rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 103. Num. 5. p. 553-559. 2008.
- 2-Amarantini, D.; Bru, B. Training-related changes in the EMG-moment relationship during isometric contractions: Further evidence of improved control of muscle activation in strength-trained men? *Journal of Electromyography and Kinesiology*. Vol. 25. Num. 4. p. 697-702. 2015.
- 3-American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 41,. Num. 3. p. 687-708. 2009.
- 4-Andersen, L. L.; Andersen, J. L.; Magnusson, S.; Peter, A. P. Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 93. Num. 5-6. p. 511-518. 2005.
- 5-Artero, E. G. L.; Ruiz, D. C.; Sui, J. R.; Ortega, X.; Church, F. B.; Lavie, T. S.; Castillo, C. J.; Blair, M. J. A prospective study of muscular strength and all-cause mortality in men with hypertension. *Journal of the American College of Cardiology*. Vol. 57. Num. 18. p. 1831-1837. 2011.
- 6-Balshaw, T. G.; Massey, G. J.; Maden-Wilkinson, T. M.; Morales-Artacho, A. J.; McKeown, A. A.; Clare L. F.; Jonathan, P. Changes in agonist neural drive, hypertrophy and pre-training strength all contribute to the individual strength gains after resistance training. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 117. Num. 4. p. 631-640. 2017.
- 7-Baroni, B. M.; Rodrigues, R.; Franke, R.A.; Geremia, J.M.; Rassier, D.E.; Vaz, M.A. Time course of neuromuscular adaptations to knee extensor eccentric training. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 34. Num. 10. p. 904-911. 2013.
- 8-Bear, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A. *Neurociência: desvendando o sistema nervoso*. 2a edição ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- 9-Beurskens, R. G.; Albert, M.; Thomas C.; Marco G. U. Effects of heavy-resistance strength and balance training on unilateral and bilateral leg strength performance in old adults. *PLoS ONE*. Vol. 10. Num. 2. 2015.
- 10-Billot, M. D.; Julien S. B.; Emilie M. B.; Yves M. A. Is co-contraction responsible for the decline in maximal knee joint torque in older males? *Age*. Vol. 36. Num. 2. p. 899-910. 2014.
- 11-Bird, S. P.; Tarpinning, K. M.; Marino, F. E. Designing Resistance Training Programmes to Enhance Muscular Fitness. *Sports Medicine*. Vol. 35. Num. 10. p. 841-851. 2005.
- 12-Bobbert, M. F.; Graaf, W. W. J.; Jan N. C.; Richard L. J. Explanation of the bilateral deficit in human vertical squat jumping. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 100. Num. 2. p. 493-499. 2006.
- 13-Carroll, T. J.; Herbert, R. D.; Munn, J. L.; Gandevia, S. C. Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *Journal of Applied*

# Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

[www.ibpex.com.br](http://www.ibpex.com.br) / [www.rbpfex.com.br](http://www.rbpfex.com.br)

Physiology. Vol. 101. Num. 5. p. 1514-1522. 2006.

14-Cormie, P.; McGuigan, M. R.; Newton, R. U. Developing Maximal Neuromuscular Power. Sports Medicine. Vol. 41. Num. 1. p. 17-38. 2011.

15-Czapla, Z.; Szczepanowska, E.; Cieslik, J. The Electrophoretic Mobility of Cell Nuclei (EMN) index and changes in acid-base homeostasis under conditions of the intensive physical exercise. Collegium Antropologicum. Vol. 31. Num. 4. p. 973-978. 2007.

16-De França, H. S. B.; Paulo A. N.; Dilmar P. G. J.; Gentil, P.; James, S.; Cauê, V. L. S. T. The Effects of Adding Single-Joint Exercises To a Multi-Joint Exercise Resistance Training Program on Upper Body Muscle Strength and Size in Trained Men. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. Vol. 826. Num. p. 822-826. 2015.

17-De Vos, N. J. S.; Nalin, R. D. S.; Theodora, M. O.; Rhonda, F. S.; Maria A. Optimal load for increasing muscle power during explosive resistance training in older adults. The journals of gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences. Vol. 60. Num. 5. p. 638-647. 2005.

18-Eklund, D.; Pulverenti, T.; Bankers, S.; Avela, J.; Newton, R.; Schumann, M.; Häkkinen K. Neuromuscular adaptations to different modes of combined strength and endurance training. International Journal of Sports Medicine. Vol. 36. Num. 2. p. 120-129. 2015.

19-Enoka, R. Bases Neuromecânicas da Cinesiologia. 2ª edição. Barueri: Manole, 2000.

20-Farthing, J. P.; Krentz, J. R.; Magnus, C. R. Strength training the free limb attenuates strength loss during unilateral immobilization. Journal of Applied Physiology. Vol. 106. Num. 3. p. 830-836. 2009.

21-Ferri, A.; Scaglioni, G.; Pousson, M.; Capodaglio, P.; Van Hoecke, J.; Narici, M.V. Strength and power changes of the human plantar flexors and knee extensors in response to resistance training in old age. Acta

Physiologica Scandinavica. Vol. 177. Num. 1. p. 69-78. 2003.

22-Fimland, M. S.; Helgerud, J. S.; Gerd, M. I.; Vegard, M. Leivseth, G. H. J. Neural adaptations underlying cross-education after unilateral strength training. European Journal of Applied Physiology. Vol. 107. Num. 6. p. 723-730. 2009.

23-Fleck, S. J.; Kraemer W. J. Fundamentos do treinamento de força muscular. 4ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2017.

24-Gabriel, D. A.; Kamen, G.; Frost, G. Neural adaptations to resistive exercise: Mechanisms and recommendations for training practices. Sports Medicine. Vol. 36. Num. 2. p.133-149. 2006.

25-Geertsen, S. S.; Lundbye-Jensen, J.; Nielsen, J. B. Increased central facilitation of antagonist reciprocal inhibition at the onset of dorsiflexion following explosive strength training. Journal of Applied Physiology. Vol. 105. Num. 3. p. 915-922. 2008.

26-Gentil, P. Bases científicas do treinamento de hipertrofia. 5ª edição. Rio de Janeiro: Sprint, 2014.

27-Hay, D.; De Souza, V. A.; Fukashiro, S. Human bilateral deficit during a dynamic multi-joint leg press movement. Human Movement Science. Vol. 25. Num. 2. p. 181-191. 2006.

28-Hendy, A. M.; Spittle, M.; Kidgell, D. J. Cross education and immobilisation: Mechanisms and implications for injury rehabilitation. Journal of Science and Medicine in Sport. Vol. 15. Num. 2. p. 94-101. 2012.

29-Higbie, E. J.; Cureton, K. J.; Warren, G. L.; Prior, B. M. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. Journal of Applied Physiology. Vol. 81. Num. 5. p. 2173-2781. 1996.

30-Kubo, K. O.; Takeishi, R. K.; Yoshinaga, K.; Tsunoda, N.; Kanehisa, H.; Fukunaga, T. Effects of isometric training at different knee angles on the muscle tendon complex in vivo. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. Vol. 16. Num. 3. p. 159-167. 2006.

- 31-Leenus, J.F.D.; Cuypers, K. B.; Nitsche, M.A.; Thijs, H. W.; Meesen, R. L. P 86. Increased tDCS intensity improves motor learning in healthy subjects. *Clinical Neurophysiology*. Vol. 124. Num. 10. p. e107. 2013.
- 32-Lent, R. Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência. 2ª edição, Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.
- 33-Maeo, S. Y.; Yasuhide, T.; Yohei, F.; Tetsuo K. H. Neuromuscular adaptations following 12-week maximal voluntary co-contraction training. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 114. Num. 4. p. 663-673. 2014.
- 34-Magnus, C. B.; Trevor, S. L.; Joel, L. F., Jonathan, P. Effects of cross-education on the muscle after a period of unilateral limb immobilization using a shoulder sling and swathe. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 109. p. 1887-1894. 2010.
- 35-Mitchell, C. S.; Feng, S. S.; Lee, R. H. An analysis of glutamate spillover on the N-methyl-D-aspartate receptors at the cerebellar glomerulus. *Journal of Neural Engineering*. Vol. 4. Num. 3. p. 276-282. 2007.
- 36-Morse, C. I.; Thom, J. M.; Mian, O. S.; Birch, K. M.; Narici, M. V. Gastrocnemius specific force is increased in elderly males following a 12-month physical training programme. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 100. Num. 5. p. 563-570. 2007.
- 37-Noorköiv, M.; Nosaka, K.; Blazevich, A. J. Neuromuscular adaptations associated with knee joint angle-specific force change. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 46. Num. 8. p. 1525-1537. 2014.
- 38-Pain, M. T. G. Considerations for single and double leg drop jumps: Bilateral deficit, standardizing drop height, and equalizing training load. *Journal of Applied Biomechanics*. Vol. 30. Num. 6. p. 722-727. 2014.
- 39-Palmer, H. S.; Håberg, K. F.; Solstad, G. M.; Moe, I. V.; Hoff, J. H.; Eikenes, J. L. Structural brain changes after 4 wk of unilateral strength training of the lower limb. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 115. Num. 2. p. 167-175. 2013.
- 40-Paoli, A.; Moro, T.; Bianco, A. Lift weights to fight overweight. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. Vol. 35. Num. 1. p. 1-6. 2015.
- 41-Paulsen, G.; Mykkestad, D.; Raastad, T. The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 17. Num. 1. p. 115-120. 2003.
- 42-Prestes, J.; Foschini, D.; Marchetti, P.; Charro, M. Prescrição e periodização do treinamento de força em academias. São Paulo: Manole, 2010.
- 43-Radaelli, R. B.; Wilhelm, C. E.; Bottaro, M. L.; Gaya, F.; Moraes, A.; Peruzzolo, K.; Brown, A.; Lee E.; Pinto, R. S. Low- and high-volume strength training induces similar neuromuscular improvements in muscle quality in elderly women. *Experimental Gerontology*. Vol. 48. Num. 8. p. 710-716. 2013.
- 44-Schmidt, R. Aprendizagem & performance motora. São Paulo: Editora Movimento, 1993.
- 45-Vila-chã, C.; Falla, D.; Farina, D. Motor unit behavior during submaximal contractions following six weeks of either endurance or strength training. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 109. Num. 5. p. 1455-1466. 2010.
- 46-Walker, S P.; Sautel, J. S.; Kraemer, W. J.; Avela, J.; Häkkinen, K. Neuromuscular adaptations to constant vs. variable resistance training in older men. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 35. Num. 1. p. 69-74. 2014.
- 47-Wilhelm, E. N.; Rech, A. M.; Botton, F.; Radaelli, C. E.; Teixeira, B. R.; Costa R. O.; Pinto, R. S. Concurrent strength and endurance training exercise sequence does not affect neuromuscular adaptations in older men. *Experimental Gerontology*. Vol. 60. p. 207-214. 2014.

# Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

[www.ibpex.com.br](http://www.ibpex.com.br) / [www.rbpfex.com.br](http://www.rbpfex.com.br)

---

## **Conflito de interesses**

Todos os autores declaram não existir nenhum tipo de conflito de interesses.

Recebido para publicação 27/11/2017

Aceito em 01/01/2018