

Níkolos Chaves Nascimento

FATORES NEURAIIS RELACIONADOS COM A FORÇA MUSCULAR

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2013

Nícolas Chaves Nascimento

FATORES NEURAIIS RELACIONADOS COM A FORÇA MUSCULAR

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Treinamento Esportivo da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Treinamento Esportivo.

Área de Concentração: Treinamento Esportivo

Orientador: Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2013

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia à minha namorada Mariana, minha mãe Kátia, minha avó Zilda e a minha tia Mirta que sempre me incentivaram a continuar estudando. Dedico também aos amigos Igor Furtado De Simoni e Leonardo Augusto Fonseca Moreira que sempre estiveram juntos comigo desde a época em que iniciamos os estudos na faculdade de educação física e que continuam com o mesmo entusiasmo pela busca de novos conhecimentos na área. Dedico também aos professores da EEEFTO-UFMG Mauro Heleno Chagas e Fernando Vitor Lima que sempre me deram toda credibilidade e me influenciaram de uma forma positiva fazendo com que eu me tornasse um profissional melhor. A todos os colegas do curso que de alguma forma colaboraram com a minha formação. Ao professor Mauro Roberto França do Clã Delfos. Aos meus amigos Cristiano Malta Machado, Luiz Emanuel, João Paulo Machado, Fábio Amaral Greno, Arnaldo Conte, Álvaro Bonfim, Graciela Cerqueira, Douglas Eduardo Nascimento, Bruno Carielo, Rafael Cravieé, Juliano Botelho, Junia Baeta, Manuela Baeta, Leonard Assis, Roberto Capelão e Maria Bela. E ao Johny (dog).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, à minha namorada Mariana, á minha mãe Kátia, á minha avó Zilda, ao meu avô Fábio, ao meu pai Antônio, á minha tia Mirta, ao meu padrinho Fabinho, ao meu padrasto Olavo, aos meus primos Leonardo, Isabella. Agradeço aos professores da EEEFTO-UFMG Mauro Heleno Chagas, Fernando Vitor Lima, Katia Lemos, Bruno Pena e ao Christian Emmanuel pelos artigos. A Carla da secretaria da especialização pela grande ajuda. Ao professor Mauro Roberto França do Clã Delfos e a todos os atletas délficos. A todos os colegas da turma de 2012.

EPIGRAFE

“Dizem que somos loucos da cabeça, amamos o Cruzeiro é o que interessa, o mundo inteiro teme La bestia negra, seremos campeões e não se esqueça: Nós somos loucos, somos Cruzeiro”

(Torcida do Cruzeiro, 2013)

RESUMO

A produção da força muscular é um fenômeno que desperta bastante interesse na área das ciências do esporte devido sua importância para a realização de diferentes tarefas que o ser humano enfrenta nas demandas da vida diária, assim como, nas demandas altamente especializadas, como no esporte de alto rendimento. Fatores morfológicos e fatores neurais são determinantes na produção da força muscular. Os fatores neurais relacionados com a produção da força muscular são: o recrutamento de unidades motoras, a frequência de estimulação das unidades motoras, sincronização ou coordenação intramuscular, coordenação intermuscular, ativação dos músculos sinergistas e a co-contração dos músculos antagonistas. O presente estudo monográfico tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre os diferentes fatores neurais associados com o aumento da produção de força muscular. Foi realizada uma busca sistematizada na literatura com o objetivo de identificar os estudos experimentais que verificaram as possíveis influências dos fatores neurais na produção de força muscular. As unidades motoras são recrutadas em uma ordem sistemática, durante contrações voluntárias, de acordo com o princípio do tamanho. A quantidade de vezes por unidade de tempo que um motoneurônio dispara um impulso nervoso nas placas motoras das células inervadas por ele recebe o nome de frequência de estimulação. A sincronização das unidades motoras se refere a uma relação no tempo entre os potenciais de ação das mesmas. A coordenação intermuscular refere-se a uma adequada ativação dos músculos agonistas, antagonistas e sinergistas durante um movimento. Todos os músculos que de algum modo contribuam para que um movimento aconteça são definidos como músculos sinergistas. As alterações na atividade muscular dos músculos antagonistas são um dos mais incompreendidos fatores neurais associados com as adaptações ao treinamento de força. Após essa revisão na literatura disponível ficou evidente que o treinamento de força e as adaptações neurais influenciam diretamente na melhora da força muscular.

Palavras-chave: Mecanismos neurais, produção de força, treinamento de força.

ABSTRACT

The production of muscle strength is a phenomenon that arouses great interest in the field of sports sciences because of its importance for the different tasks that human beings face the demands of daily life, as well as the highly specialized demands, as in sport high yield. Morphological factors and neural factors are determinant in the production of muscle strength. Neural factors related to the production of muscle strength is the recruitment of motor units, the firing frequency of the motor units, motor unit synchronization or intra-muscular coordination, inter-muscular coordination, activation of synergists and co-contraction of antagonistic muscles. This monographic study aims to conduct a literature about the different neural factors associated with increased muscle force output. A systematic literature search in order to identify experimental studies that found the possible influences of neural factors in the production of muscle strength test. The motor units are recruited in a systematic order during voluntary contractions, according to the size principle. The number of times per unit time that a neuron triggers a nerve impulse in the motor end plates of cells innervated by it is called firing frequency. The synchronization of the motor units refers to a relationship in time between the action potentials of the same. The intermuscular coordination refers to a suitable activating agonists, antagonists and synergist muscles during movement. All muscles that somehow contribute to a movement that happen are defined as synergistic muscles. Changes in muscle activity of the antagonist muscles are one of the most misunderstood factors associated with neural adaptations to strength training. After this review of the available literature it became apparent that strength training and neural adaptations directly influence the improvement of muscle strength.

Keywords: Neural mechanisms, force production, strength training.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estruturação da Capacidade Motora Força

Figura 2 – Recrutamento de Unidades Motoras – Princípio do Tamanho

Figura 3 - Média dos resultados de força explosiva

Figura 4 - Amplitude do Sinal de EMG

Figura 5 – Relação entre Frequência de Impulso Nervoso e Tensão

Figura 6 – Efeito da estimulação no nervo motor em grande frequência

Figura 7 – Frequência de estimulação das UM's em jovens e idosos

Figura 8 – Esquema ilustrativo de dois interneurônio recebendo vários impulsos

Figura 9 – EMG do Bíceps femoral durante a extensão dos joelhos

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(a) - Aceleração

(CVM) – Contração Voluntária Máxima

(EMG) – Eletromiografia

(F) – Força

(Hz) - Hertz

(I) – Impulso

(m) - Massa

(Ms) – Milissegundos

(T) – Tempo

(UM) – Unidade Motora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.2 Objetivo	12
1.3 Justificativa	12
1.3 Metodologia	13
2 DESENVOLVIMENTO	15
2.1 Estruturação da Capacidade Motora Força.....	15
2.2 Fatores Determinantes do desempenho da Força Muscular.....	17
2.3 Fatores Neurais Relacionados com a Força Muscular.....	17
2.3.1 Recrutamento das Unidades Motoras.....	18
2.3.2 Frequência de Estimulação	21
2.3.3 Sincronização das Unidades Motoras.....	26
2.3.4 Coordenação Intermuscular.....	28
2.3.4.1 Ativação dos Sinergistas.....	29
2.3.4.2 Co-contração dos Antagonistas.....	29
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
4 REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

A produção da força muscular é um fenômeno que desperta bastante interesse na área das ciências do esporte devido sua importância para a realização de diferentes tarefas que o ser humano enfrenta nas demandas da vida diária, assim como, nas demandas altamente especializadas, como no esporte de alto rendimento. A capacidade motora força apresenta grande complexidade devido às suas diferentes formas de manifestação e componentes. O modelo de estruturação desta capacidade motora proposto por Schmidbleicher (1997) é um bom instrumento didático que auxilia na compreensão e no estudo aprofundado da capacidade de produção da força muscular. Neste modelo o autor ilustra a interdependência das formas de manifestações (força rápida e resistência de força) e de seus componentes (força máxima, força explosiva e capacidade de resistência à fadiga) que influenciam diretamente no desempenho da força muscular.

Fatores morfológicos e fatores neurais são determinantes na produção da força muscular. (CORMIE, 2011). Os fatores morfológicos que influenciam diretamente na produção da força são: o tipo da fibra muscular, as características do arranjo arquitetônico do músculo, como a sua área de secção transversa (anatômica e fisiológica), ângulo de penação e comprimento das fibras, além das propriedades dos tendões (SPECTOR *et al.*, 1980; WIDRIEK *et al.*, 2002; KUROKAWA *et al.*, 2003).

Os fatores neurais relacionados com a produção da força muscular são: o recrutamento de unidades motoras, a frequência de estimulação das unidades motoras, sincronização ou coordenação intramuscular, coordenação intermuscular, ativação dos músculos sinergistas e a co-contração dos músculos antagonistas (CORMIE, 2011). Outros mecanismos como o tipo de ação muscular e a capacidade de armazenamento e de utilização da energia elástica também exercem efeitos na produção da força (KOMI, 1986).

Diversos pesquisadores têm dedicado atenção especial para investigar a influência dos fatores neurais na produção da força muscular (CARROLL *et al.*, 2002; GABRIEL *et al.*, 2006). São muitas as pesquisas na literatura que concluem que o treinamento leva a um aumento da força muscular e que as adaptações neurais poderiam ser a explicação para este aumento (ENOKA & FUGLEVAND, 2001; AAGAARD, 2002; KAMEN & KNIGHT, 2004; GRIFFIN & CAFARELLI, 2005). Sendo assim, é fácil deduzir que os diferentes mecanismos neurais que podem fundamentar o aumento do desempenho de força muscular representam um aspecto teórico relevante para o profissional de Educação Física, em especial para aqueles que estão envolvidos na área do treinamento esportivo.

1.1 Objetivo

O presente estudo monográfico tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre os diferentes fatores neurais associados com o aumento da produção de força muscular.

1.2 Justificativa

Diferentes aspectos são relacionados com a produção de força muscular. Os fatores neurais representam um desses aspectos que podem interferir no nível de produção de força. Estes fatores têm sido o foco de diferentes estudos. O entendimento desses

fatores possibilita uma melhor compreensão da capacidade do ser humano em produzir força.

1.3 Metodologia

A presente monografia trata-se de um levantamento bibliográfico. Foi realizada uma busca sistematizada na literatura com o objetivo de identificar os estudos experimentais que verificaram as possíveis influências dos fatores neurais na produção de força muscular. O levantamento bibliográfico foi realizado utilizando os sites de busca Highwire Press da Stanford University (www.highwire.org), Pubmed/Medline (www.pubmed.com.br) e Periódicos CAPES (www.periodicos.capes.gov.br).

Os seguintes critérios foram adotados para a seleção dos estudos. Inicialmente foram utilizadas as palavras-chave “Recrutamento de Unidades Motoras“, “Frequência de Estimulação“, “Sincronização das Unidades Motoras“, “Coordenação Intermuscular“, “Ativação dos Sinergistas“ e “Co-contração dos Antagonistas“ (“Motor Unit Recruitment”, “Firing Frequency”, “Motor Unit Synchronization”, “Inter-Muscular Coordination”, “Activation of Synergists”, “Co-Contraction of Antagonists”) para realizar a busca nos sites anteriormente mencionados. Os seguintes aspectos foram utilizados para uma primeira seleção dos artigos: a) estudos envolvendo seres humanos e animais, b) estudos longitudinais (crônicos), c) estudos a partir de 1975 e d) estudos que estivessem disponíveis para fazer o download ou fizessem parte do acervo de uma das bibliotecas da UFMG. Por último, os resumos dos estudos foram analisados e foram selecionados os artigos que tratavam da influência dos mecanismos neurais na produção da força muscular.

A estrutura deste estudo monográfico foi baseada nas recomendações de França e Vasconcelos (2004) e consistiu de três elementos textuais básicos: Introdução, Desenvolvimento e Considerações Finais (análise crítica).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Estruturação da Capacidade Motora Força

A capacidade motora força é complexa e apresenta duas diferentes formas de manifestação, a força rápida e a resistência de força. Ligados às formas de manifestação estão os componentes, força máxima, força explosiva e capacidade de resistência à fadiga como pode ser visto no modelo de estruturação proposto por Schmidbleicher (1997) na figura 1:

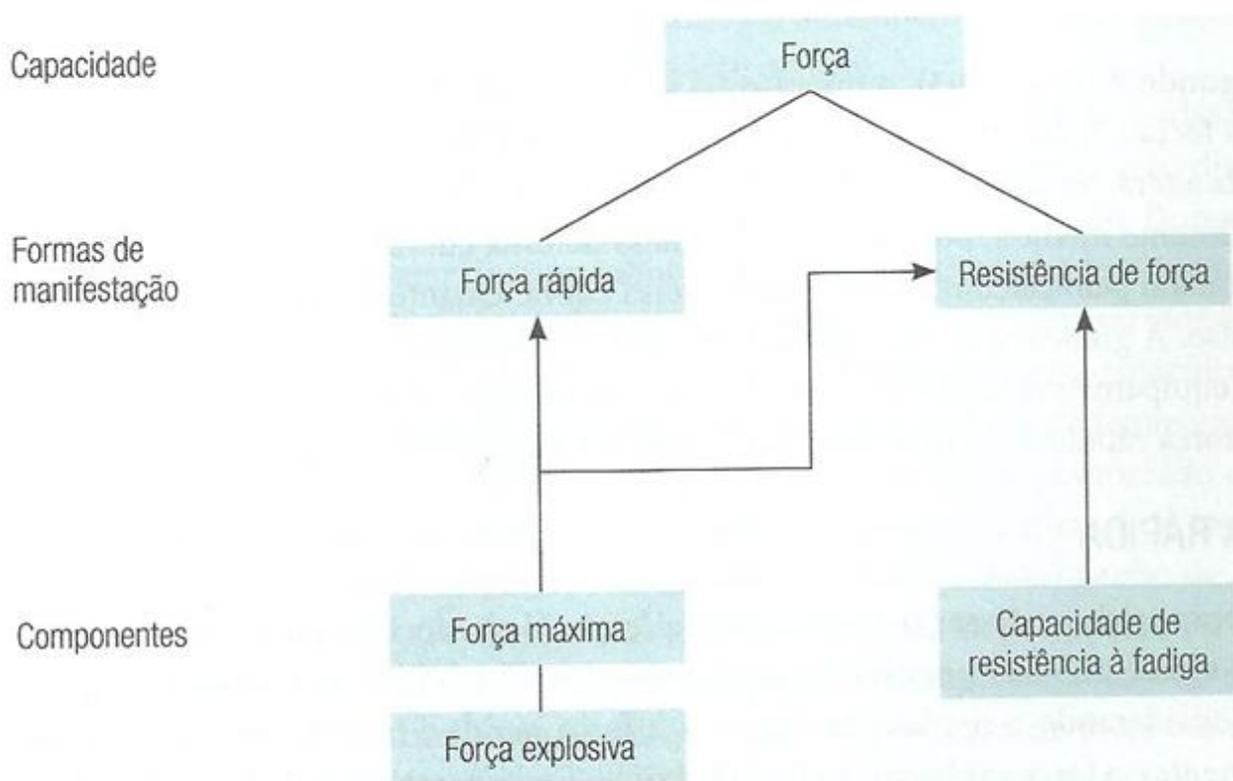


FIGURA 1 – Estruturação da Capacidade Motora Força
Fonte: (Adaptada de SCHMIDTBLEICHER, 1997) apud SAMULSKI *et al.*, 2013, p.95.

No contexto das ciências do esporte interpretar a força de acordo com a 2ª. Lei de Newton, onde ($F = m \cdot a$), não abrange toda a sua complexidade. Uma boa definição que aborda a força muscular foi feita por Platonov (2008) onde segundo ele a força muscular é “a capacidade de superar ou opor-se a uma resistência por meio da atividade muscular”.

A força rápida é uma forma de manifestação da capacidade motora força e é definida por Schmidtbleicher (1992) como a capacidade do sistema neuromuscular de produzir o maior impulso (força) possível no tempo disponível. O impulso (I) é o produto da força (F) x tempo (T). Sendo assim o valor da força rápida (impulso) dependerá da taxa de produção de força (força explosiva), da duração da atuação da força e da força máxima realizada (CHAGAS; CAMPOS; MENZEL, 2001).

Outra forma de manifestação da capacidade motora força, a resistência de força, é definida por Frick (1993) como a capacidade do sistema neuromuscular de produzir a maior somatória de impulsos possíveis sob condições metabólicas predominantemente anaeróbias e em condições de fadiga.

A força máxima, componente da capacidade motora força, representa o maior valor de força registrado a partir de uma contração voluntária máxima contra uma resistência insuperável (SCHMIDTBLEICHER, 1992). A força máxima pode se manifestar tanto de forma dinâmica como estática (EHLENZ; GROSSER; ZIMMERMANN, 1990).

Outro componente da força muscular, a força explosiva, é definido por Schmidtbleicher (1992) como a capacidade do sistema neuromuscular em desenvolver uma elevação máxima da força após o início da contração, ou seja, o maior desenvolvimento da força por unidade de tempo.

De acordo com a Frick (1993), a forma de manifestação resistência de força é definida como a “capacidade do sistema neuromuscular de produzir o maior somatório de impulsos possível sob condições metabólicas predominantemente anaeróbias e de fadiga”. O componente capacidade de resistência à fadiga é a capacidade de manter o

valor do impulso o mais constante possível durante um determinado tempo e é muito importante para garantir o desempenho em condições onde há exigência específica desta forma de manifestação da força. Uma boa capacidade de resistência à fadiga faz com que o indivíduo submetido à determinada tarefa minimize o declínio da capacidade de gerar tensão muscular.

2.2 Fatores Determinantes do Desempenho da Força Muscular

Fatores morfológicos e fatores neurais são determinantes na produção da força muscular (CORMIE, 2011). Os fatores morfológicos que influenciam na produção da força muscular são: o tipo de fibra muscular, as características da arquitetura do músculo como a área de secção transversa (anatômica e fisiológica), o comprimento da fibra, o ângulo de penetração, além das propriedades dos tendões (SPECTOR *et al.*, 1980; WIDRIEK *et al.*, 2002; KUROKAWA *et al.*, 2003).

Os fatores neurais que exercem efeitos no desempenho da força muscular são: o recrutamento de unidades motoras, a frequência de estimulação das unidades motoras, sincronização ou coordenação intramuscular, coordenação intermuscular, ativação dos músculos sinergistas e a co-contracção dos músculos antagonistas (CORMIE, 2011).

2.3 Fatores Neurais Relacionados com a Força Muscular

O recrutamento de unidades motoras, a frequência de estimulação das unidades motoras, a sincronização ou coordenação intramuscular, a coordenação intermuscular, a ativação dos músculos sinergistas e a co-contracção dos músculos antagonistas são os fatores neurais relacionados com a força muscular (CORMIE, 2011).

2.3.1 Recrutamento das Unidades Motoras

Uma unidade motora consiste em um motoneurônio alfa e nas fibras musculares por ele inervadas (KOMI, 2006). As unidades motoras são recrutadas em uma ordem sistemática, durante contrações voluntárias, de acordo com o princípio do tamanho (CORMIE, 2011). O limiar de excitabilidade do motoneurônio obedece a uma ordem de recrutamento de acordo com o tamanho do corpo celular do motoneurônio que inerva a fibra muscular (SALE, 1992).

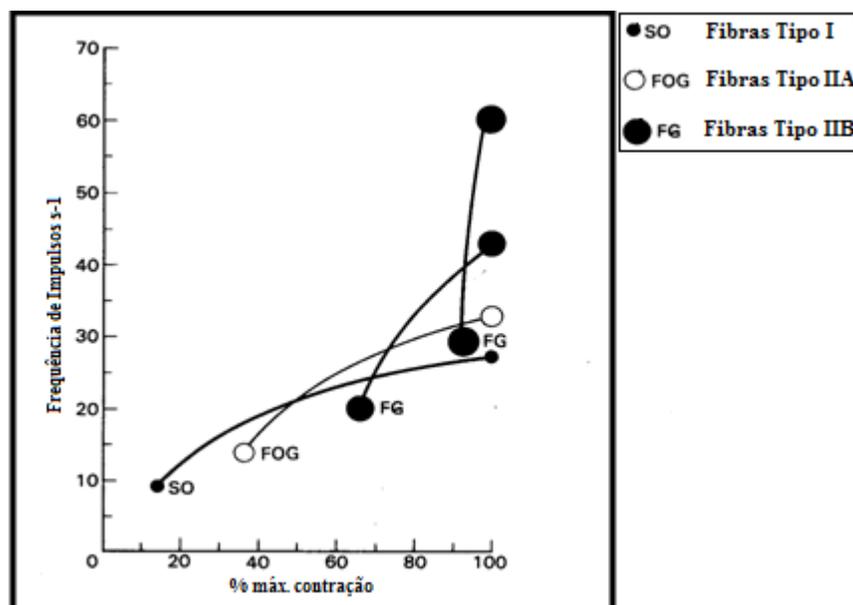


FIGURA 2 – Recrutamento de Unidades Motoras – Princípio do Tamanho
Fonte: SALE, 1992, p. 250

O córtex cerebral representa o nível mais alto da hierarquia do controle motor, e é onde os movimentos voluntários são organizados (AIRES, 2008). Este centro superior transmite as informações até a medula espinal onde estão localizados os corpos celulares dos motoneurônios das unidades motoras (BADILLO; AYESTARÁN, 2001). O sistema nervoso provoca alterações eletroquímicas de membrana, os impulsos nervosos, ou potenciais de ação, causados por variações de permeabilidade iônica das membranas (AIRES, 2008). Quando uma unidade motora é recrutada ou quando um potencial de ação é gerado no corpo celular do motoneurônio, alterando a polaridade da membrana, este se propaga sob o princípio do “tudo ou nada” através do axônio até a placa motora (BADILLO; AYESTARÁN, 2001). Na fisiologia do músculo esquelético, o potencial de ação propagado via axônio até a placa motora é transformado em força muscular (ENOKA, 2000). A força produzida por um músculo está relacionada ao tipo e ao número de unidades motoras recrutadas (CORMIE, 2011).

Diversos autores afirmam que existe um aumento do recrutamento de unidades motoras com o treinamento de força (AAGAARD, 2002; KRAEMER & RATAMESS, 2004; FOLLAND & WILLIAMS, 2007).

No estudo realizado por Aagaard *et al.*, (2002), um dos objetivos da pesquisa era o de verificar o efeito do treinamento na taxa máxima de produção de força (força explosiva). Quinze voluntários do sexo masculino, foram submetidos a 38 sessões de treinamento de força ao longo de 14 semanas. Os resultados encontrados demonstraram ter ocorrido um aumento significativo na força explosiva após o período de treinamento proposto (figura 3):

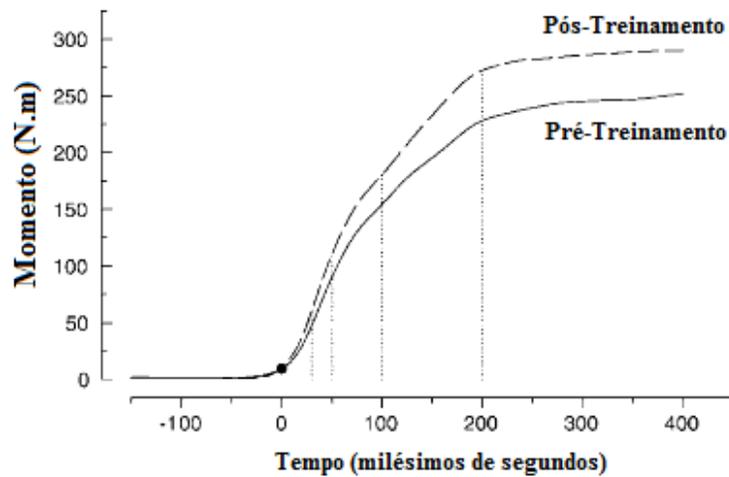


FIGURA 3: Média dos resultados de força explosiva obtidos após 14 semanas de treinamento na curva força-tempo (n= 15). O início da contração está representado pelo ponto sólido. As linhas pontilhadas verticais indicam os intervalos de 30, 50, 100 e 200 milissegundos relativos ao início da contração. O aumento da inclinação da curva é um reflexo do aumento da força explosiva, que pode ser observado nas fases iniciais (30 e 50ms) e nas fases finais (100 e 200ms) da contração muscular.

Fonte: AAGAARD *et al.*, 2002, p. 1319.

Um achado interessante neste estudo foi a constatação do aumento na amplitude do sinal de EMG nos músculos treinados o que indica um aumento no recrutamento de unidades motoras, o que teria influenciado diretamente no aumento da força (figura 4):

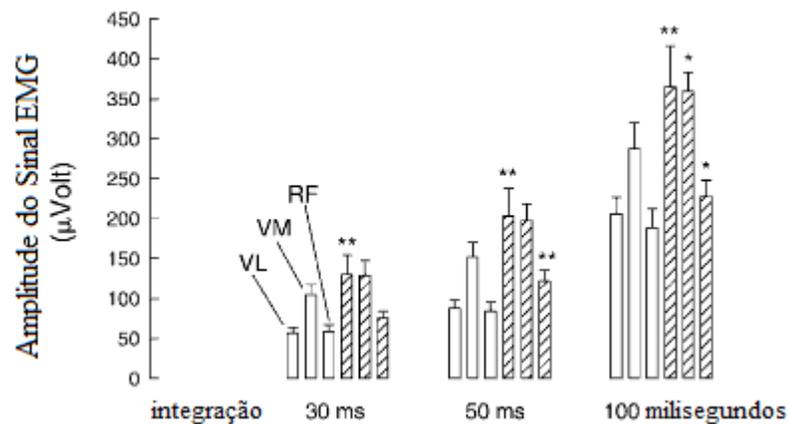


Figura 4: Amplitude do Sinal de EMG antes (barras abertas) e depois (barras rachuradas) de 14 semanas de treinamento de força. VL (vasto lateral), VM (vasto medial) e RF (reto femoral). A condução neural

eferente foi calculada pela média integrada da EMG dividido pelo respectivo tempo dos intervalos de 0-30, 50 e 100 milissegundos desde o início da medição da EMG. Diferenças do pré para o pós treinamento: * $P < 0,05$ e ** $P < 0,01$.

Fonte: AAGAARD *et al.*, 2002, p. 1322.

2.3.2 Frequência de Estimulação

A quantidade de vezes por unidade de tempo que um motoneurônio dispara um impulso nervoso nas placas motoras das células inervadas por ele recebe o nome de frequência de estimulação (RIBEIRO, 2005). A membrana do motoneurônio determina o padrão de frequência de estimulação da unidade motora (KOMI, 2006).

A tensão ou força muscular produzida nas fibras por um impulso nervoso isolado ou potencial de ação isolado de um motoneurônio é sempre a mesma. Porém o sistema nervoso central pode enviar impulsos nervosos a uma unidade motora em diferentes frequências. O aumento da frequência de estimulação (impulsos nervosos) é acompanhado de um aumento da força muscular produzida até um limite máximo apesar de continuar havendo aumento da frequência de estimulação (BADILLO; AYESTARÁN, 2001). A figura 5 ilustra esta situação:

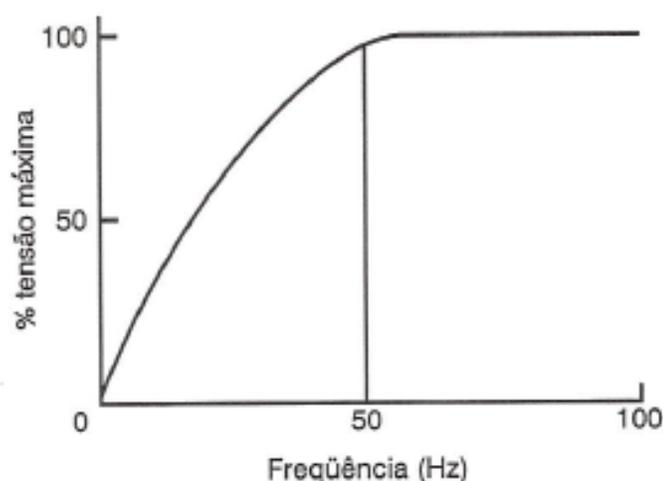


FIGURA 5 – Relação entre Frequência de Impulso Nervoso (em Hz) e tensão (em % da força máxima) desenvolvida pelas fibras musculares inervadas por um nervo motor.

Fonte: BADILLO; AYESTARÁN, 2001, p.77

FLECK & KRAEMER (2006) denominaram “somação em onda” impulsos com alta frequência capazes de atingir a força máxima de uma unidade motora. Essa somação completa é chamada de tetania. O grau de soma dos abalos depende da frequência em que os potenciais de ação disparam (ENOKA, 2000).

As fibras musculares são ativadas por uma série de impulsos elétricos transmitidos pelo neurônio. Aumentar frequência com a qual esses impulsos são enviados pelo neurônio é o mecanismo pelo qual uma única unidade motora pode aumentar a força que ela produz (KRAEMER; HAKKINEN, 2004).

Existem duas formas para modular o aumento da produção da força muscular: Aumentar o recrutamento de unidades motoras e aumentar a frequência de estimulação (KOMI, 2006).

A frequência de estimulação de uma unidade motora pode impactar na geração de força das fibras musculares de duas formas:

- 1- Aumentar a frequência de impulsos melhora a magnitude de força gerada durante a contração. É estimado que a força de contração possa aumentar de 300-1500% quando a frequência de estimulação da unidade motora é aumentada da sua frequência mínima para a sua frequência máxima (CORMIE, 2011).
- 2- A frequência de estimulação da unidade motora influencia na taxa de produção de força - força explosiva. (CORMIE, 2011).

O aumento da frequência de estimulação é acompanhado de um aumento proporcional na produção de força. Pequenos aumentos na frequência de estimulação na faixa compreendida entre 0 e 50Hz (cinquenta impulsos por segundo) fazem com que haja um significativo aumento da força máxima. Porém, quando ocorrem aumentos na frequência de estimulação acima de 50Hz, a força máxima não aumenta mais (BADILLO; AYESTARÁN, 2001). Entretanto, segundo Sale (1992, *apud* BADILLO; AYESTARÁN, 2001) o tempo para que essa força máxima seja alcançada é menor na situação onde a frequência de estimulação é maior (100Hz) do que na situação onde a frequência de estimulação é mais baixa (50Hz) como é demonstrado na curva força x tempo da figura abaixo:

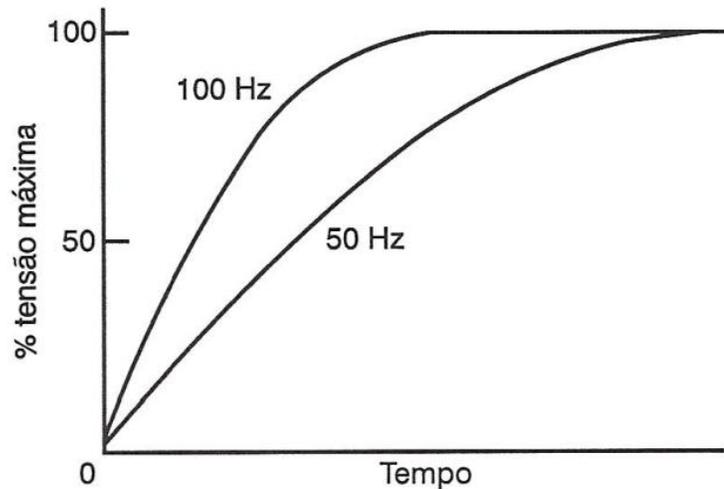


FIGURA 6 – Efeito da estimulação no nervo motor em grande frequência (100Hz) na velocidade de produção de força das fibras inervadas por este nervo. Observa-se que, em frequências elevadas (100 Hz) de impulso nervoso, um nível determinado de força é produzido mais rapidamente do que em frequências baixas (50 Hz). No entanto, a força máxima alcançada é a mesma.

Fonte: (Adaptada de SALE, 1992) apud BADILLO; AYESTARÁN, 2001, p.78

O aumento da frequência de estimulação das unidades motoras tem sido proposto como possível mecanismo responsável pelo aumento da taxa de produção de força ou força explosiva (KOMI, 2006).

Há alguma evidência de que o padrão de ativação das unidades motoras pode ser tão importante como o número de unidades motoras ativadas ou a frequência de ativação em produzir aumentos na força muscular (GABRIEL *et al.*, 2006).

Um único pico extra ou um pico perdido em um trem de potenciais de ação pode ter um efeito dramático, aumentando ou diminuindo a força muscular (CLAMANN & SCHELHORN, 1988).

A estratégia muscular refere-se à mudança no disparo das unidades motoras que ocorre em condições de fadiga. Com a sustentação de uma contração em fadiga, ocorre um declínio na frequência de estimulação (ENOKA, 2000).

O duplo disparo é outro padrão de disparo caracterizado quando ocorrem dois potenciais de ação em uma única unidade motora em cerca de 10ms. Unidades motoras humanas tipicamente disparam numa extensão de 7 a 35Hz, o que significa intervalos de cerca de 30 a 140ms entre os potenciais de ação consecutivos. Quando uma unidade motora é eletricamente estimulada a cerca de 12Hz (intervalo de 82ms) e depois um duplo disparo (intervalo de 10ms) é interposto no trem de estímulos, há um substancial aumento na força. Entretanto, o duplo disparo não ocorre frequentemente em unidades motoras humanas em movimentos voluntários. Todavia, pesquisadores descobriram que duplos disparos podem variar entre os músculos e dependem dos detalhes da tarefa, tais como se as contrações são concêntricas ou excêntricas (ENOKA, 2000).

Para estudar as adaptações do treinamento de força na frequência de estimulação das unidades motoras, Kamen e Knight (2004) realizaram uma pesquisa submetendo 8 adultos jovens e 7 idosos a um período de 6 semanas de treinamento. O protocolo consistiu na prática de extensões de joelho isométricas a 10, 50 e 100% da contração voluntária máxima (CVM). Os resultados obtidos demonstraram que houve um aumento da força isométrica máxima dos extensores de joelhos correspondente ao aumento na frequência de estimulação das unidades motoras no período da primeira semana com o exercício a 100% da CVM. Nas intensidades menores não houve aumento significativo da frequência de estimulação das UM's. O estudo concluiu que há um aumento da

força muscular nos períodos iniciais de treinamento pela influência do fator neural frequência de estimulação das UM's.

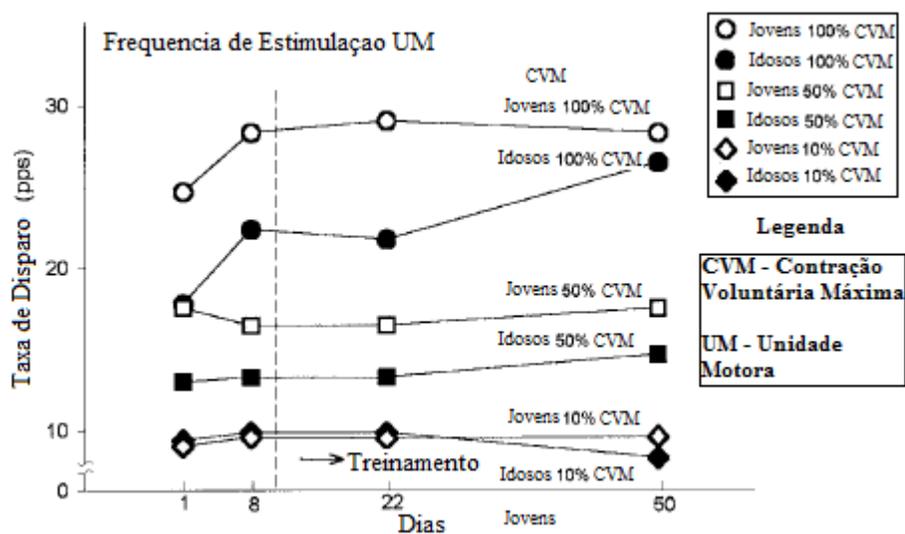


FIGURA 7 – Frequência de estimulação das UM's em jovens e idosos após 1 semana e após 6 semanas de treinamento de força.

Fonte: KAMEN & KNIGHT, 2004, p. 1337.

2.3.3 Sincronização das Unidades Motoras

A sincronização das unidades motoras ocorre quando duas ou mais unidades motoras são ativadas simultaneamente, ou seja, quando os potenciais de ação possuem uma relação no tempo eles são sincronizados (MILNER-BROWN *et al.*, 1975). A figura 8 ilustra dois interneurônios recebendo impulsos comuns a ambos:

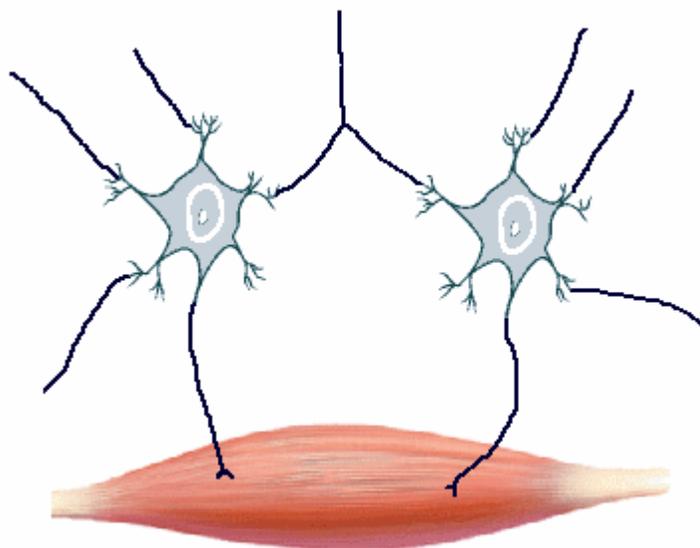


FIGURA 8 – Esquema ilustrativo de dois interneurônios recebendo vários impulsos, sendo um comum a ambos

Fonte: Adaptado de ENOKA, 2000.

A sincronização acontece entre unidades motoras do mesmo músculo e também é denominada coordenação intramuscular, possibilitando ativação simultânea de um maior número de unidades motoras, o que pode contribuir para o aumento de força (ENOKA, 2000).

Várias pesquisas utilizaram a técnica de eletromiografia (EMG) de superfície para medir a sincronização das unidades motoras. Ela possibilita a estimativa de sincronização porque fornece um índice entre os disparos de uma unidade motora de referência com as demais unidades motoras ativas. Esse método tem uma vantagem, pois todas as unidades motoras ativas podem contribuir para o sinal de EMG, e a sua análise exige um curto período de tempo e fornece indicadores da sincronização global (SEMMLER; NORDSTROM, 1999), entretanto, também apresenta desvantagens e limitações (YUE *et al.*, 1995).

Milner-Brown *et al.*, (1975) realizaram um estudo onde o resultado encontrado apontou a ocorrência de aumentos da força muscular devido a uma melhora na sincronização das UM's. Porém este estudo clássico utilizou o método de análise da EMG de superfície, que hoje, sabe-se não ser o padrão ouro e que apresenta limitações.

A correlação cruzada entre os tempos de disparo de duas unidades motoras ativadas é o padrão ouro para quantificar a sincronização. Para medir a sincronização uma das unidades motoras é tomada como referência sendo o seu tempo de disparo definido como zero e correlacionado com o tempo de disparo de uma segunda unidade motora (SEMMLER, 2002). Utilizando este modelo de análise, um estudo recente, realizado por Semmler *et al.* (2006) apontou que houve aumento da força nos músculos interósseos após 4 semana de treinamento sem que houvesse aumento na sincronização das UM's.

2.3.4 Coordenação Intermuscular

A coordenação intermuscular refere-se a uma adequada ativação dos músculos agonistas, antagonistas e sinergistas durante um movimento. Para que um movimento voluntário seja mais eficiente e consiga alcançar maiores valores de força, além de uma ativação aumentada dos músculos agonistas, é necessária uma ótima ativação dos músculos sinergistas e uma diminuição da ativação dos músculos antagonistas (CORMIE, 2011).

2.3.4.1 Ativação dos Sinergistas

Todos os músculos que de algum modo contribuam para que um movimento aconteça são definidos como músculos sinergistas (KOMI, 2006). O músculo braquiorradial é um músculo sinergista quando auxilia o músculo bíceps braquial na flexão do cotovelo. Entretanto este músculo não é sinergista para a ação de supinação do antebraço. Caldwell et al. 1993, propuseram um estudo com o objetivo de examinar a atividade dos músculos flexores do cotovelo em tarefas específicas. Foram coletados os dados do torque de flexão e supinação juntamente com o sinal de EMG dos músculos braquiorradiais, porção curta do bíceps braquial e partes mediais e laterais da porção longa do bíceps braquial. Os 14 voluntários da pesquisa realizaram 4 tipos de exercícios envolvendo contrações isométricas máximas para os flexores dos cotovelos sendo o primeiro exercício a flexão do cotovelo (F) o segundo a supinação do antebraço (S) o terceiro a flexão do cotovelo com supinação do antebraço (FS) e o quarto exercício a supinação do antebraço com flexão do cotovelo (SF). Os resultados apontaram que durante os exercício com ações combinadas (flexão mais supinação) ocorreu uma maior ativação em ambas as porções do bíceps braquial quando comparado com ações isoladas. Esse achado aponta que a ativação do músculo braquiorradial como sinergista para a flexão do cotovelo influenciou em uma maior ativação muscular do músculo bíceps braquial em tarefas com maiores graus de liberdade como a flexão do cotovelo mais a supinação do antebraço.

2.3.4.2 Co-contração dos Antagonistas

A contração de um músculo agonista resulta em movimento do membro no sentido desejado enquanto um músculo antagonista se opõe ao movimento do agonista (SMITH, 1997). As alterações na atividade muscular dos músculos antagonistas são um dos mais incompreendidos fatores neurais associados com as adaptações ao treinamento de força. Acredita-se que aumentos na força muscular estão relacionados com uma redução na co-ativação dos músculos antagonistas (GABRIEL *et al.*, 2006). De acordo com Gabriel *et al.*, (2006) são escassos os estudos que demonstraram haver uma redução da co-contração dos antagonistas após um período de treinamento de força. Um dos poucos estudos que demonstrou este fenômeno foi feito por Carolan e Cafarelli (1992) que submeteram vinte estudantes universitários sedentários do sexo masculino, distribuídos aleatoriamente em um grupo experimental e em um grupo de controle. O grupo experimental treinou os extensores do joelho de uma perna realizando 30 extensões isométricas máximas por dia, três vezes por semana, durante 8 semanas. Após 8 semanas de treinamento de força, a força isométrica máxima da perna treinada aumentou 32,8% ($P < 0,05$), mas não houve alteração na atividade eletromiográfica do músculo vasto lateral. O grupo experimental realizou os testes com a perna dominante (TR) e com a perna não-dominante (UT). O achado mais importante deste estudo foi verificar que o grau de co-contração dos isquiotibiais (antagonistas) diminuiu em aproximadamente 20% após a primeira semana de treinamento o que não aconteceu com o grupo controle.

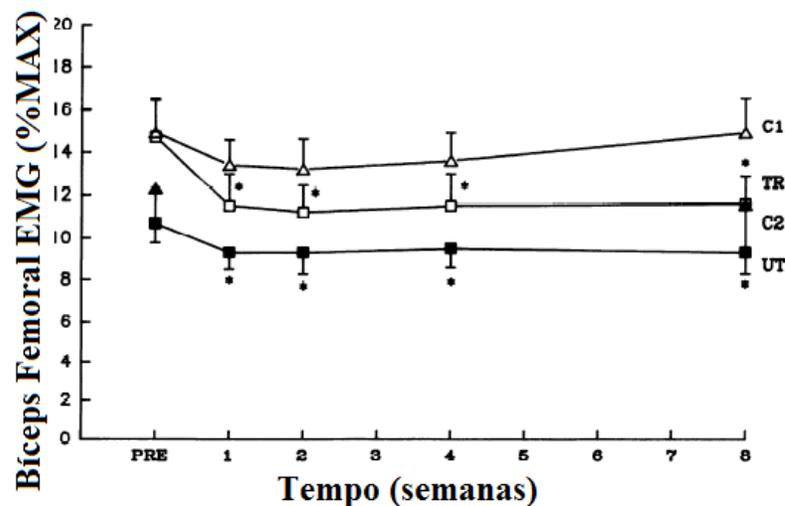


FIGURA 10 - EMG do Bíceps femoral durante a extensão dos joelhos no grupos TR, UT, C1 e C2. Houve diminuição da ativação do antagonista em TR de 14,9 a 11,5% e em UT 10,7 a 9,2% ($p < 0,05$)*.

Fonte: CAROLAN & CAFARELLI, 1992, p. 914.

Os autores atribuem o aumento da força isométrica máxima do extensores de joelhos (agonistas) à diminuição da ativação dos isquiotibiais (antagonistas). É importante lembrar que a co-contração dos antagonistas apesar de parecer contraproducente apresenta alguns aspectos positivos como por exemplo o auxílio na estabilidade articular (CARPENTIER *et al.*, 1996) e como um mecanismo protetor em atividades que envolvam contrações rápidas ou fortes (TYLER & HUTTON, 1986).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o levantamento bibliográfico realizado na literatura para a elaboração deste estudo, considero respaldado pelas evidências, que o treinamento de força influencia diretamente na melhora da força muscular, sendo os fatores neurais, um dos mecanismos responsáveis.

São várias as pesquisas que identificaram uma melhora da força após algum período de treinamento. Um ponto interessante com relação à melhora da força via fatores neurais foi o fato de que o seu aumento se deu na maioria das vezes nos períodos iniciais do treinamento.

Outra situação, comum a várias pesquisas foi que para que ocorresse o aumento da força pela influência dos fatores neurais, como por exemplo, o aumento da frequência de estimulação das unidades motoras, as intensidades dos exercícios de força eram máximas ou próximas da intensidade máxima. Exercícios com intensidades menores muitas vezes não foram eficazes em influenciar na melhora da força via fatores neurais.

Compreender a capacidade motora força nas suas diferentes formas de manifestações e diferentes componentes é fundamental para que os treinadores de diversas modalidades esportivas que possuam algum conhecimento sobre os fatores neurais relacionados com a força muscular possam prescrever cargas de treinamento eficientes para direcionar os seus atletas para um melhor desempenho ou rendimento esportivo.

No contexto da prática de atividades físicas para a melhoria da saúde também é de grande importância que os profissionais que lidam com a prescrição da carga de treinamento de força utilizem o conhecimento sobre os fatores neurais relacionados com a força muscular na prática de forma adequada para influenciar em uma boa saúde da população em geral.

4 REFERÊNCIAS

AAGAARD, P.; SIMONSEN, E. B.; ANDERSEN, J. L.; MAGNUSSON, P. & POUL D-Y. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **J Appl Physiol.** v. 93, p. 1318-1326. 2002.

AIRES, M.M. **Fisiologia**. 3ª. Edição. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, 2008. 1232p.

ASTRAND, P.; RODAHL, K.; DAHL, H. A.; STROMME, S. B. **Tratado de Fisiologia do Trabalho: Bases Fisiológicas do Exercício**. 4ª. Edição. Porto Alegre: Artmed, 2006. 560 p.

BADILLO, J.J.G. & AYESTARÁN, E.G. **Fundamentos do Treinamento de Força – Aplicação ao Alto Rendimento Desportivo**. 2ª. Edição. Porto Alegre: Artmed, 2001. 284p.

CALDWELL, G. E; JAMISON, J. C; LEE, S. Amplitude and frequency measures of surface electromyography during dual task elbow torque production. **Eur. J. of Applied Physiol.** v. 66, n. 4, p. 349-356, 1993.

CAROLAN, B.; CAFARELLI, E. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. **J Appl Physiol.** v. 73, p. 911-917, 1992.

CARPENTIER, A.; DUCHATEAU, J. & HAINAUT, K. Velocity-dependent muscle strategy during plantarflexion in humans. **J. of Electromyography and Kinesiology.**v. 9, p. 1-11. 1996.

CHAGAS, M. H.; CAMPOS, C.E.; MENZEL, H. J. K. Treinamento específico de força para jogadores de voleibol. In: SILAMI-GARCIA, E.; MOREIRA, K. L. (Ed.) **Temas atuais VI em Educação Física e Esportes**. 1ed. Belo Horizonte: Saúde, 2001. p. 107-125.

CLAMANN, H. P.; SCHELHORN, T. B.; Nonlinear force addition of newly recruited motor units in the cat hindlimb. **Muscle Nerve.** v. 11, p. 1070-89, 1988.

CORMIE, P.; McGUIGAN, M.R.; NEWTON, R.U. Developing Maximal Neuromuscular Power. **Sports Med.** v.41, n.1, p.17-38, 2011.

EHLENZ, H.; GROSSER, M.; ZIMMERMANN, E. **Entrenamiento de la fuerza: fundamentos, metodos, ejercicios y programas de entrenamiento.** Barcelona: Martinez Roca, 1990.

ENOKA, R.M. **Bases Neuromecânicas da Cinesiologia.** 2ª. Edição. Barueri: Manole, 2000. 450p.

ENOKA, R.M.; FUGLEVAND, A. J. Motor Unit Physiology: Some Unresolved Issues. **Muscle Nerve.** v. 24, p. 4-17, 2001.

FOLLAND, J.P.; WILLIAMS A.G. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. **Sports Med** v. 37, p. 145-168, 2007.

FRANÇA, J. L.; VASCONCELLOS, A. C. **Manual para normalização de publicações técnico-científicas.** 7ª. Edição. UFMG, 2004.

FRICK, U. **Kraftausdauerverhalten im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus.** Dissertation (Tese) – Frankfurt am Main - Deutschland, 1993.

GABRIEL, D. A., KAMEN, G.; FROST, G. Neural Adaptations to Resistive Exercise – Mechanisms and Recommendations for Training Practices. **Sports Med.** v. 36, n. 2, p. 133-149, 2006.

GRIFFIN, L.; CAFARELLI, E.; Resistance Training: Cortical, Spinal and Motor Unit Adaptation. **Can. J. Appl. Physiol.** v. 30, n. 3, p. 328-340, 2005.

KAMEN, G.; KNIGHT, C. A. Training-Related Adaptations in Motor Unit Discharge Rate in Young and Older Adults. **J. of Gerontology.** v. 59A, n. 12, p. 1334-1338, 2004.

KOMI, P. V. The stretch-shortening cycle and human power output. In; JONES, N.L., McCARTNEY, N.; McCOMAS, A.J. (ED). **H. muscle power.** Champaign (IL); Human Kinetics, 1986; 27-40.

KOMI, P. V. **Força e Potência no Esporte**. 2ª. Edição. Porto Alegre: Artmed, 2006. 536p.

KRAEMER, W. J.; HAKKINEN, K. **Treinamento de Força para o Esporte**. 1ª. Edição. Porto Alegre: Artmed, 2004. 192p.

KRAEMER, W. J.; RATAMESS, N. A. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. **Med Sci Sports Exerc.** v. 36, p. 674-688, 2004.

KUROKAWA, S.; FUKUNAGA, T.; NAGANO, A. Interaction between fascicles and tendinous structures during counter movement jumping investigated in vivo. **J Appl Physiol.** v. 95, n. 6, p. 2306-2314, 2003.

MILNER-BROWN, H. S.; STEIN, R. B.; LEE, R. G. Synchronization of human motor units; possible roles of exercise and supraspinal reflexes. **Electroencephalogr Clin Neurophysiol.** v. 38, n. 3, p. 245-254, 1975.

PLATONOV, V.N. **Tratado Geral de Treinamento Desportivo**. São Paulo. Phorte, 2008.

RIBEIRO, J. R. C. **Modelo Didático para a Prescrição e Controle das Atividades**. 1ª. Edição. Belo Horizonte: Casa da Educação Física, 2005. 226p.

SALE, D. G. Neural adaptation to strength training. In: KOMI, P. V. **Strength and power in sport**. Blackwell, 1992.

SAMULSKI, D. M.; MENZEL, H. J.; PRADO, L. S. **Treinamento Esportivo**. . 1ª. Edição. Barueri. Manole, 2013. 376p.

SANTIAGO, D.C.G. **A correlação entre a capacidade aeróbia máxima e o desempenho de força muscular no exercício supino livre**. Monografia (Graduação em Educação Física) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SCHMIDTBLEICHER, D. Training for power events. In: KOMI, P. V. (Ed.) **Strength and**

power in sport. Boston: Blackwell Scientific, 1992, p. 381-395.

SCHMIDTBLEICHER, D. **Apostila da disciplina introdução ao treinamento de força muscular.** Institut für Sportwissenschaften, Frankfurt Universität, 1997.

SEMMLER, J. G.; NORDSTROM, M. A. A comparison of cross-correlation and surface EMG techniques used to quantify motor unit synchronization in humans. **J. of Neuroscience Methods.** v. 90, p. 47–55, 1999.

SEMMLER, J. G. Motor unit synchronization and neuromuscular performance. **Exerc. Sport Sci. Rev.** v. 30, n. 1, p. 8–14, 2002.

SEMMLER, J. G.; SALE, M. V.; KIDGELL, D. G. Motor unit synchronization measured by cross-correlation is not increased with strength training of a hand muscle. **Proc Int Australas Winter Conf Brain Res.** v. 24, p. 2–5, 2006.

SMITH, L. K.; WEISS, E. L.; DON LEHMKUHL, L. **Cinesiologia Clinica de Brunstrom.** 5ª. Edição. Manole. Barueri. 1997. 538 p.

SPECTOR, S. A.; GARDINER, P. F.; ZERNICKE, R. F. Muscle architecture and the force-velocity characteristics of cat soleus and medial gastrocnemius: implications for motor control. **J Neurophysiol.** v. 44, p. 951-960, 1980.

TER HARR ROMENY, B. M.; DENIER, V. D. G. J. J.; GILIEN, C. A. M. Relation between location of a motor unit in the human biceps brachii and its critical firing levels for different tasks. **Exper. Neurology.** v. 85, p. 631-650, 1984.

TYLER, A. E. & HUTTON, R. S. Was Sherrington right about co-contractions? **Br. Research.** v. 370. p. 171-175. 1986.

WIDRIEK, J. J.; STELZER, J. E.; SHOEPPE, T. C., GARNER, D. P. Functional properties of human muscle fibers after short-term resistance exercise training. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.** v. 283, n. 2, p. 408-416, 2002.

YAO, W.; FUGLEVAND, A. J.; ENOKA, R. M. Motor-Unit Synchronization Increases EMG Amplitude and Decreases Force Steadiness of Simulated Contractions. **J. Neurophysiol.** v. 83, p. 441-451, 2000.

YUE, G.; FUGLEVAND, A. J.; NORDSTROM, M. A. Limitations of the surface electromyography technique for estimating motor unit synchronization. **Biol Cybern.** v. 73, n. 3, p. 223-33, 1995.

M244f Nascimento, Nikolas Chaves
2013 Fatores neurais relacionados com a força muscular. [manuscrito] / Nikolas Chaves Nascimento – 2013.
38 f., enc.: il.

Orientador: Mauro Heleno Chagas

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Bibliografia: f. 34-38

1. Força muscular. 2. Capacidade motora. 3. Exercícios físicos – aspectos fisiológicos. I. Chagas, Mauro Heleno. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 612.76

Ficha catalográfica elaborada pela equipe de bibliotecários da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais.