

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**Fatores determinantes da produção de força:
Influência dos fatores nervosos centrais e
periféricos**

**LIÇÃO SÍNTESE
(SUMÁRIO PORMENORIZADO)**

Francisco José Félix Saavedra



Vila Real, 2021

Sumário pormenorizado da lição síntese elaborado nos termos do artigo 5.º do Decreto-Lei 239/2007 (Diário da República, 1.ª série – n.º 116 – de 19 de junho de 2007) e do artigo 4.º do Regulamento n.º 657/2016 (Diário da República – 2.ª série – n.º 113 – de 13 de julho de 2016), para apreciação na prestação de provas para a atribuição do título de Agregado pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Índice

Índice de abreviaturas.....	ii
Índice de figuras	iii
Sumário	1
Nota prévia	2
Enquadramento	4
1. Fatores determinantes da capacidade de produção de Força.....	5
1.1. Fatores nervosos centrais	5
1.1.1. Recrutamento das unidades motoras.....	7
1.1.2. Frequência de ativação das unidades motoras	9
1.1.3. Sincronismo	10
1.2. Fatores nervosos periféricos	11
1.2.1. Fuso neuromuscular	12
1.2.2. Órgão tendinoso de Golgi	14
1.2.3. Recetores articulares	15
1.3. Consequências metodológicas para o treino de força decorrentes dos fatores nervosos	16
1.3.1. Coordenação intra e intermuscular	17
1.3.2. Dinâmica da carga e ativação nervosa	18
Bibliografia.....	19

Índice de abreviaturas

Fuso neuro muscular – FNM

Órgãos tendinosos de Golgi – OTG

Sistema Nervos Central – SNC

Unidade motora – UM

Índice de figuras

Figura 1 – Representação esquemática de uma unidade motora, com as ramificações para as fibras musculares por meio das sinapses, chamadas placas motoras terminais (adaptado de Brooks et al., 2000).	5
Figura 2 – Representação gráfica do princípio do tamanho, que se baseia na relação entre a força de contração da unidade motora e o seu limiar de recrutamento, ou seja, de excitabilidade (adaptado de Haff & Triplett, 2016).	7
Figura 3 – Descrição de como o processo de treino provoca o aumento da ativação dos músculos agonistas, incrementando a capacidade de gerar força. O aumento da frequência de ativação pode aumentar a força produzida pela UM. O treino pode permitir taxas de descarga suficientemente altas para se atingir o <i>plateau</i> da relação força-frequência, onde a força produzida é máxima (adaptado de Sale, 2003).	9
Figura 4 – Ilustração de uma contração singular (A), somação (B) e estimulação contínua (C). Variação da força produzida, de acordo com a frequência de descarga dos impulsos nervosos. (Adaptado de Brooks et al., 2005).	10
Figura 5 – Mecanorreceptores do músculo esquelético e respetiva inervação sensitiva. A – Músculo esquelético com localização de um FNM e de um OTG. B – Fuso neuromuscular com a sua inervação motora (a azul) feita através do neurónio motor gama e inervação sensitiva (a amarelo) através das fibras Ia e II. C – Órgão tendinoso de Golgi e sua inervação sensitiva, as fibras Ib (Extraído de Correia & Espanha, 2012).	12
Figura 6 – Reflexo miotático: o alongamento do quadríceps crural (1) é detetado pelos FNM (2), estimulando as suas fibras sensitivas (3). A terminação monossináptica destas fibras nos neurónios motores alfa [α] (4) do quadríceps promove um aumento de tensão nesse músculo. Está também representado o respetivo processo de inervação recíproca: ramos colaterais das fibras aferentes do FNM ativam um interneurónio inibitório (representado a preto) que contribui para a menor ativação dos neurónios motores (5) dos músculos posteriores da coxa e uma consequente redução de tensão desses músculos (Extraído de Correia & Espanha, 2012). ...	13
Figura 7 – Reflexo miotático inverso: o aumento de tensão do quadríceps crural (1) é detetado pelos OTG (2), estimulando as suas fibras sensitivas (3). A terminação destas fibras num interneurónio inibitório (representado a preto) vai diminuir a ativação dos neurónios motores alfa (α) (4) do quadríceps. Está também representado o respetivo processo de inervação recíproca: ramos colaterais das fibras aferentes do OTG ativam um interneurónio excitatório (representado a vermelho) que contribui para aumentar a ativação dos neurónios motores dos músculos antagonistas, os músculos posteriores da coxa (5) (Extraído de Correia & Espanha, 2012). ...	14

Sumário

1. Fatores determinantes da capacidade de produção de força

1.1. Fatores nervosos centrais

1.1.1. Recrutamento das unidades motoras

1.1.2. Frequência de ativação das unidades motoras

1.1.3. Sincronismo

1.2. Fatores nervosos periféricos

1.2.1. Fuso neuromuscular

1.2.2. Órgão tendinoso de Golgi

1.2.3. Recetores articulares

1.3. Consequências metodológicas decorrentes dos fatores nervosos

1.3.1. Coordenação intra e intermuscular

1.3.2. Dinâmica da carga e ativação nervosa

Nota prévia

Esta lição é apresentada, de acordo com a alínea c) do Artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 239/2007 de 19 de junho, para apreciação na prestação de provas para a atribuição do título de Agregado pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Tratando-se de uma lição de síntese com a duração de sessenta minutos, foram destacados os temas aqui apresentados, não pretendendo diminuir a importância e relevância de outros temas, quer no âmbito da unidade curricular, como do módulo aqui desenvolvido.

Assume-se como cenário para esta lição o equivalente à 6ª aula da unidade curricular de Teoria e Metodologia do Treino, a qual faz parte do plano curricular, 2º ano, 1º Semestre, do 1º Ciclo (Licenciatura) em Ciências do Desporto, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, e da qual o candidato é regente.

Assume-se, ainda, que o conteúdo desta lição se insere no módulo II (O treino das capacidades motoras: força), desta unidade curricular, sendo referente a uma parte dos assuntos abordados no tema “*Fatores determinantes da força*”. Adicionalmente, poderá ser articulada em propostas curriculares que respondam a novas necessidades de formação de segundo e terceiro ciclos de estudos, e em cursos de formação contínua.

Genericamente, nesta unidade de ensino teórico, pretende-se que os estudantes identifiquem e conheçam a influência dos fatores nervosos na prestação de força e sejam capazes de os enquadrar no processo de treino e na dinâmica da carga (qualidade e quantidade), que acentue os mecanismos nervosos de adaptação.

O tema foi desenvolvido seguindo o programa da unidade curricular e a sua estrutura abrange os objetivos docentes propostos – inicialmente introduz-se o tema e apresentam-se os conceitos mais básicos, e numa segunda parte pretende-se motivar os estudantes para o aprofundamento e a atualização desses conhecimentos com base em resultados científicos e abordagens recentes. A aula é de cariz teórico, privilegiando-se o uso de uma estratégia, fundamentalmente, didática com recurso a material ilustrativo.

A matéria versada, nesta lição, constitui um tema de grande atualidade pela sua relevância no âmbito do processo de treino, nomeadamente para a melhoria da capacidade de o sistema neuromuscular desenvolver força [superar resistências (trabalho concêntrico), de se opor às resistências (trabalho excêntrico) ou de manter as resistências (trabalho isométrico)]. Além disso, reflete uma vertente do trabalho científico que tem sido desenvolvido pela equipa de investigação que o candidato integra, no âmbito de vários projetos, concluídos com êxito no Centro de Investigação em Ciências do Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano.

Para que os alunos, alvo desta lição, atinjam os objetivos definidos dividiu-se esta lição de síntese em três partes complementares entre si. Na primeira parte, de caráter geral, enquadrámos o tema e fazemos algumas considerações sobre a influência dos aspetos neurofisiológicos na prestação de força. A segunda parte, aprofunda os fatores determinantes de manifestação da força, particularmente, no âmbito do estudo da influência dos fatores nervosos centrais e periféricos. Finalmente, a aula termina com a apresentação dos aspetos metodológicos, de estrutura e organização da carga, que promovem as adaptações do sistema nervoso, induzidas pelo processo de treino, conduzindo ao incremento da taxa de produção de força e ao aumento da ativação nervosa.

Enquadramento

A produção da força muscular é um fenómeno que desperta bastante interesse na área das ciências do desporto devido à sua importância para a realização de diferentes tarefas, desde as mais simples, como por exemplo a execução das atividades de vida diária, às mais complexas e especializadas, determinantes de obtenção de rendimento de uma qualquer modalidade ou disciplina desportiva. O tema desta lição aborda o papel estrutural dos fatores condicionantes da capacidade de manifestação de força, em particular o estudo da influência dos fatores nervosos.

A primeira condição para que o músculo realize trabalho mecânico, e assim possa vencer ou opor-se a uma resistência, é que seja desencadeada uma contração muscular através de um estímulo nervoso que despolete essa ação. Esse impulso, é gerado nos centros nervosos superiores sendo conduzido por uma célula nervosa (neurónio motor), proveniente da espinal-medula, que via fibra nervosa chega às células musculares, fazendo-as reagir (Castelo J, Barreto H, Alves F, Santos PM, Carvalho J, & Vieira J, 2000). O decurso da contração muscular, originará o alongamento de uns músculos e o encurtamento de outros, desencadeando a atividade dos recetores musculares e tendinosos, que desempenham um papel determinante no controlo nervoso ao nível medular.

Como vemos, a capacidade do músculo desenvolver força, através do processo de contração muscular, está dependente da chegada ao músculo de estímulos nervosos e a regulação de força depende da forma como o sistema nervoso central (SNC) controla a atividade dos músculos envolvidos numa determinada ação. Os músculos são o "motor" que gera força, enquanto que o sistema nervoso fornece o controlo da ação do motor (Carroll, Riek & Carson, 2002; Jensen, Marstrand & Nielsen, 2005).

O desempenho de força voluntária é determinado, não apenas, pela quantidade e tipo de fibras musculares, mas também, pela capacidade de o sistema nervoso ativar os músculos. A resposta adaptativa do sistema nervoso ao treino de força melhora o controlo dos músculos aumentando a sua capacidade para gerar e produzir força.

O texto infra ilustra sumariamente os conteúdos a abordar nesta lição.

1. Fatores determinantes da capacidade de produção de Força

1.1. Fatores nervosos centrais

A unidade motora (UM), é a unidade funcional através da qual o SNC controla e regula os mecanismos responsáveis pela atividade neuromuscular. Ao conjunto formado por um neurónio motor, seu axónio e fibras musculares, designamos por UM (figura 1). Sendo esta, a mais pequena estrutura do sistema neuromuscular que se pode ativar isoladamente (Castelo et al., 2000).

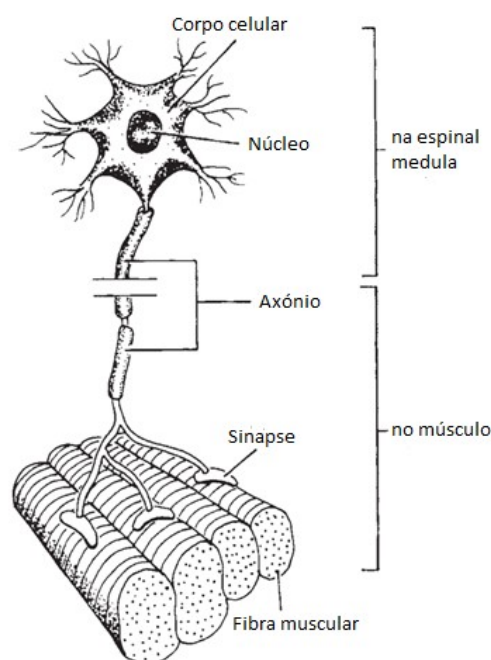


Figura 1 – Representação esquemática de uma unidade motora, com as ramificações para as fibras musculares por meio das sinapses, chamadas placas motoras terminais (adaptado de Brooks et al., 2000).

Cada UM pode ser constituída por algumas ou por centenas de fibras musculares. O número de fibras que compõem uma UM determinará tanto, a sua capacidade de realizar força, quanto a precisão dos seus movimentos (Fleck, Kraemer, 2014)

Cada músculo é composto de algumas dezenas de UM e um axónio pode estar ramificado com poucas fibras musculares; no caso de estas pertencerem a uma estrutura de movimento de coordenação fina; ou algumas centenas, se estas estiverem associadas a um músculo forte e de grandes dimensões (Komi, 2003).

As UM também podem variar de acordo com a característica das fibras que a formam, podendo ser compostas predominantemente por de fibras tipo I (lentas) ou do tipo II (rápidas). Ao contrário do que se imagina habitualmente, a UM não

é composta de neurónios vizinhos. Desta forma, fibras adjacentes não pertencem necessariamente à mesma UM, o que possibilita que o músculo se contraia como um todo (Fleck, et al., 2014).

Nos músculos, há uma maior quantidade de UM de menores dimensões (capazes de gerar menores quantidades de força), comparativamente às de maior calibre; admitindo-se que a sua distribuição, em termos de capacidade de gerar força, seja exponencial.

O SNC envia estímulos eletroquímicos para os músculos através das UM, estímulos esses, provenientes do córtex pré motor e motor, remetidos através do tronco cerebral e da espinal medula. Chegam aos músculos, induzindo as fibras musculares, gerando uma tensão adequada para a tarefa requerida.

A forma como a solicitação de determinados músculos, ou grupos musculares, é efetuada não é consensual. Existem evidências que o treino de alguns movimentos, efetuados com níveis de tensão baixo, possam induzir alterações no córtex motor e aumentar a sua excitabilidade (Lotze, Braun, Birbaumer, Anders & Cohen, 2003; Perez, Lungholt, Nyborg, & Nielsen, 2004). Igualmente, há um processo de aprendizagem, de uma determinada ação muscular ou motora, dividido em duas fases: i) ação breve, que ocorre numa sessão única em que o sujeito de forma intencional aprende essa ação e ii) ação mais longa, que se desenvolve durante semanas, onde há uma consolidação dessa ação ou movimento. Estas duas fases desenvolvem um padrão de execução no córtex cerebral dessa ação ou movimento (Karmi et al., 1995; Dupont-Hadwen, Bestmann & Stagg, 2019).

Em indivíduos não treinados, o aumento dos níveis de força muscular ocorre, aparentemente, de forma mais acentuada durante as primeiras semanas de treino (Carroll et al., 2002; Hakkinen et al., 1988; Jensen et al., 2005; Komi, 1986; Narici, Roi, Landoni, Minetti & Cerretelli, 1989).

Observando o mais comum dos exercícios de treino de força (supino ou semi agachamento, por exemplo), verificamos que evidenciam uma considerável complexidade, obrigando a uma clara e decisiva ativação do SNC, sobre o complexo músculo tendinoso, para que essas tarefas motoras possam ser realizadas ao seu melhor nível.

Assim, é fácil perceber, sempre que se introduza um exercício não familiar, num programa de treino, os primeiros ganhos de força, expressos pela melhoria de rendimento, explicam-se, em parte, pelas adaptações do SNC, isto é, devido à aprendizagem coordenativa dos exercícios de treino, otimizando o controlo dos músculos envolvidos nessa tarefa (Hartmann et al., 2015; Helm et al., 2020; Ohira et al., 2006; Suchomel, Nimphius, Bellon & Stone, 2018; Rutherford & Jones, 1986; Sale, 1988).

O SNC dispõe de três mecanismos fundamentais para regular a intensidade da contração muscular, a saber: (i) Recrutamento das UMs, (ii) Frequência de ativação das UMs e (iii) Sincronismo.

1.1.1. Recrutamento das unidades motoras

O ser humano é incapaz de ativar todas as fibras musculares compostas por um músculo ou grupo muscular de forma voluntária (Dowling, Konert, Ljucovic & Andrews, 1994; Norberto, de Arruda & Papoti, 2020).

O incremento do desempenho da força é conseguido pelo aumento contínuo de ativação de UMs com limiares de excitabilidade superiores. As UMs solicitadas inicialmente (mais pequenas de contração lenta), desenvolvem baixas manifestações de força, enquanto que as ativadas mais tardiamente (maiores de contração rápida), exercem maiores expressões de força (Enoka, 1988; Saavedra, 1998, 2020; Thomas, Bakels, Klein & Zijdwind, 2014).

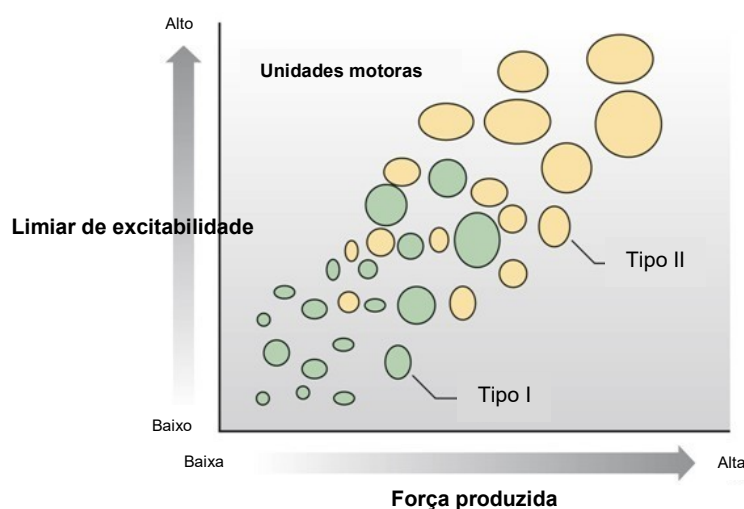


Figura 2 – Representação gráfica do princípio do tamanho, que se baseia na relação entre a força de contração da unidade motora e o seu limiar de recrutamento, ou seja, de excitabilidade (adaptado de Haff & Triplett, 2016).

Este padrão de recrutamento é conhecido como o princípio de Henneman¹ (figura 2). Segundo este princípio, as UMs de menores dimensões, que possuem um limiar de excitabilidade menor, são as primeiras a serem recrutadas e à medida que aumenta a necessidade de produção de força as UMs de maiores dimensões, com grau de excitabilidade superior, vão sendo progressivamente recrutadas (Henneman, Somjen & Carpenter, 1965).

Quanto ao limiar de excitabilidade, uma UM, só é ativada quando o seu limiar de recrutamento for atingido e todas as fibras musculares, por si enervadas, gerarem tensão máxima. A este fenómeno chama-se lei do “Tudo ou Nada”, isto é, o potencial de ação de um neurónio motor, só viaja através do axónio mielinizado, até ao músculo, quando a despolarização de uma membrana atingir o seu limiar de excitabilidade. Ultrapassado este limiar, o potencial de ação provocará ao nível das unidades contrácteis das respetivas fibras, uma contração de intensidade máxima (Saavedra, 1998, 2020).

Com isto, não quer dizer que a contração muscular se processe em todo o músculo, pois este é constituído por várias UMs permitindo, que este consiga desenvolver tensão e força de diferente magnitude, podendo variar entre uma intensidade fraca a muito forte.

Alguns autores afirmam que o SNC tem uma capacidade seletiva de excitar as UMs (Fleck & Kraemer, 2014; Hutton & Enoke, 1986; Nardone, Romanò & Schieppati, 1989; ter Haar Romeny, Denier van der Gon & Gielen, 1982). Quando temos de realizar um movimento explosivo o princípio de tamanho não ocorre e

¹ Este modelo, princípio do tamanho, tem grande validade para contrações isométricas voluntárias. Alguns estudos, indiciam que se adapta com alguma consistência a exercícios dinâmicos, de progressão lenta da carga.

Há, contudo, alguns indicadores que revelam violações a este princípio (Fleck et al., 2014). Na realização de ações musculares rápidas, do tipo balístico, as UMs de contração rápida podem ser recrutadas preferencialmente às UMs de contração lenta (Hutton, et al., 1986; Sale, 2003). Do mesmo modo, em movimentos pluriarticulares, algumas UMs podem ser ativadas seletivamente (Forman et al., 2020; Grimby & Hannerz, 1977; Hunter, 2016), ou ainda, para a execução de movimentos específicos (Desmedt & Godaux, 1977; Sale, 1987). Em contrações explosivas, todas as UMs são ativadas, mesmo quando só são exigidos pequenos valores de força. No entanto as UMs mais pequenas podem sentir dificuldade, em ter uma efetiva intervenção pela escassez de tempo de atividade (Muller, 1987; Nardone et al., 1989).

Constatamos que o princípio de Henneman, tem uma aplicabilidade bastante razoável, na maior parte das ações de força, transportando algumas vantagens, tais como: (1) as ações motoras, através deste recrutamento, são pré-determinadas, (2) possibilita que os centros nervosos superiores, não tenham de especificar quais as UMs ativadas; (3) torna mais económicos e eficientes os movimentos e (4) permite uma regulação gradual e ajustada de força (Saavedra, 1998, 2020).

as UMs do tipo IIb, são automaticamente recrutadas. Contudo, o que parece acontecer é uma diminuição do intervalo de disparo das UMs, chamado *Doublet Firing*, sendo desta forma ativadas mais cedo nos movimentos balísticos (Kudina & Andreeva, 2010, 2019; Van Cutsem, Duchateau, Hainaut, 1998).

1.1.2. Frequência de ativação das unidades motoras

A força produzida por um músculo é devida, à combinação do número de UMs ativadas e à razão, em que nessas UMs são despoletados os potenciais de ação, isto é, com o aumento da frequência da descarga de impulsos nervosos das UMs, incrementa-se a taxa de produção de força (Figura 3).

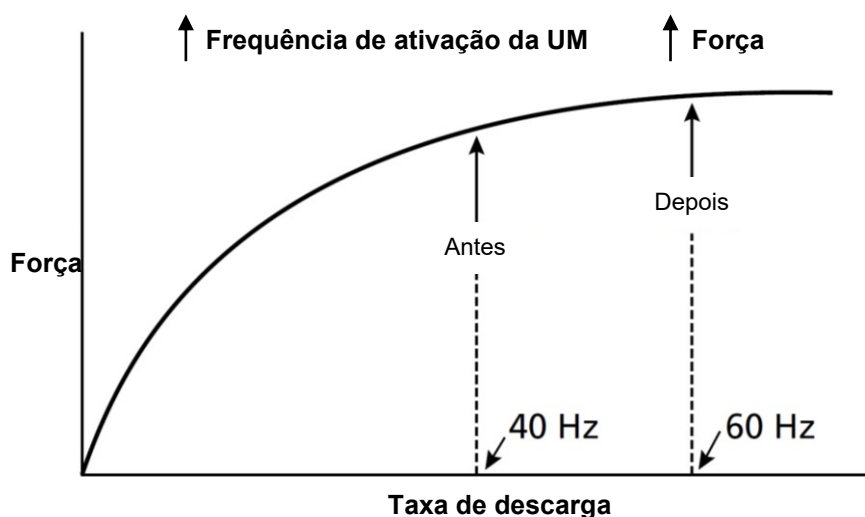


Figura 3 – Descrição de como o processo de treino provoca o aumento da ativação dos músculos agonistas, incrementando a capacidade de gerar força. O aumento da frequência de ativação pode aumentar a força produzida pela UM. O treino pode permitir taxas de descarga suficientemente altas para se atingir o *plateau* da relação força-frequência, onde a força produzida é máxima (adaptado de Sale, 2003).

Desta forma, quanto maior for a frequência da descarga dos impulsos nervosos, maior tensão as fibras musculares irão conseguir gerar, aumentando, essa capacidade, à medida que a frequência de impulso é desenvolvida. Contudo, existe um limiar (*plateau*), em que a frequência do impulso nervoso aumenta, mas a tensão gerada pelas fibras musculares não é mais incrementada, isto é, mantem-se constante.

A frequência de ativação das UMs está fortemente relacionada com a velocidade de contração, assumindo papel determinante na capacidade do músculo produzir força. Numa contração voluntária, os neurónios motores raramente emitem um só impulso nervoso, sendo então, pela elevação da frequência da

descarga dos impulsos nervosos, que uma UM pode variar cerca de dez vezes o seu desempenho (Sale, 2003). O aumento da frequência de ativação das UMs, permite incrementar a taxa de produção de força, assim, eleva o declive da curva força tempo (Bellemare, Woods, Johansson & Bigland-Ritchie, 1983; Enoka & Fuglevand 2001; Hali et al., 2020).

A este propósito, salientamos que frequências ótimas não são necessariamente frequências máximas. Altas-frequências de descargas de impulsos nervosos não trazem mais do que pequenas melhorias da força máxima, mas induzem rápidos desenvolvimentos de força, significando que, no menor espaço de tempo, se alcancem níveis superiores de força máxima.

1.1.3. Sincronismo

Entendemos por sincronismo a coincidência temporal dos impulsos de duas ou mais UMs. Traduz-se na capacidade de o nosso SNC recrutar, simultaneamente, o maior número de UMs dos músculos que participam e contribuem para a realização da ação pretendida. Quanto maior o número de UMs recrutadas, simultaneamente, maior será a tensão exercida por esses músculos, ou grupos musculares.

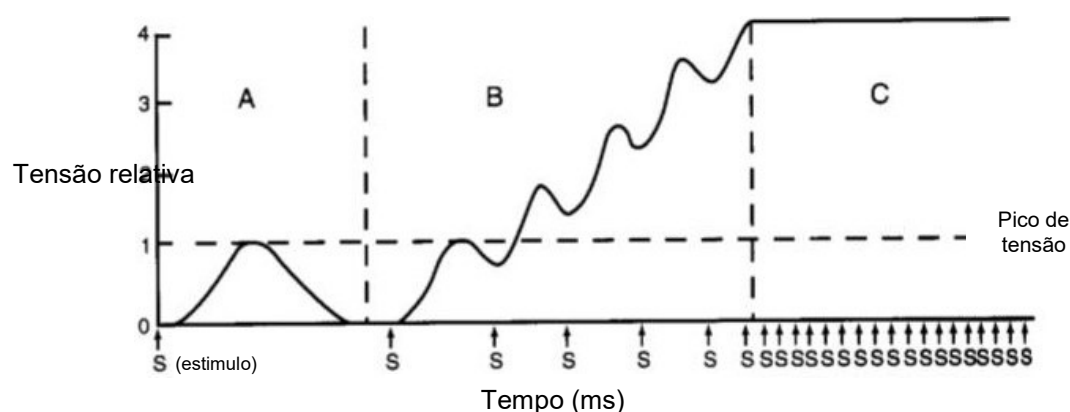


Figura 4 – Ilustração de uma contração singular (A), somação (B) e estimulação contínua (C). Variação da força produzida, de acordo com a frequência de descarga dos impulsos nervosos. (Adaptado de Brooks et al., 2005).

Diferentes estudos, sugerem que a sincronização das UMs, de sujeitos treinados a realizar tensões musculares de alta intensidade, é superior em relação aos não treinados (Dalton & Rice, 2016; Kirk, Copithorne, Semmler & Nordstrom, 1998; Kirk, Gilmore, Stashuk, Doherty & Rice, 2019; Suchomel et al., 2018). Assim, o aumento da força de contração poder ser conseguido pela sincronização dos

processos de somação temporal. Deste modo, quanto maior for a capacidade de recrutar, simultaneamente, um elevado número de UMs, maior será a força gerada pelo músculo (Figura 4).

O estudo clássico de Milner-Brown, Stein & Lee (1975), evidenciou que halterofilistas conseguem que as suas UMs descarreguem potenciais de ação muito mais sincronizados. Deste modo, podemos inferir que, se uma maior sincronização de disparo das UMs não conduz a um aumento da força máxima, um músculo sujeito a um programa de treino de força, consegue uma maior taxa de produção de força (Sale 2003).

1.2. Fatores nervosos periféricos

Uma parte considerável do controlo do músculo esquelético é realizada ao nível medular, com base na informação periférica proveniente de um amplo conjunto de recetores somáticos e nas redes interneuronais da substância cinzenta medular.

Os fatores nervosos periféricos estão associados aos processos de enervação sensitiva dos músculos, tendões e articulações que têm como objetivo oferecer informações sensitivas ao SNC. Os circuitos internos constituintes do complexo neuromuscular, revestem-se de extrema complexidade. Muitas das suas conexões são inibidoras por natureza, permitindo-nos, dizer que a maior ou menor expressão de força, pode não ser devida à estimulação, mas sim motivada pela eliminação dos efeitos inibidores, sendo esta desinibição, provavelmente resultante, de uma ativação acrescida dos neurónios motores, resultando uma maior produção de força (Saavedra, 1998, 2020).

A proprioção é a capacidade do sistema nervoso receber estímulos provenientes do complexo músculo tendinoso (músculos, tendões e articulações), assumindo extrema importância na autorregulação da postura e dos movimentos do homem. O sistema propriocetivo informa o SNC, permanentemente sobre a posição e orientação da força exercida pelos músculos e o movimento dos segmentos e do corpo na sua totalidade.

No que concerne às influências reflexas a que os neurónios motores estão sujeitos, provenientes de diferentes recetores como os localizados na pele, nas

articulações, nos tendões e nos músculos, o fuso neuromuscular (FNM), os órgãos tendinosos de Golgi (OTG) e os mecanorreceptores articulares, representam um papel determinante no processo de manifestação de força.

1.2.1. Fuso neuromuscular

Os FNM são sensíveis ao alongamento do músculo e estão na base do mais importante mecanismo reflexo, o reflexo miotático (Correia & Espanha, 2012). Esta estrutura nervosa, tem a função de informar o SNC do comprimento dos músculos e é composta por 4 a 20 pequenas fibras musculares especializadas, com o nome de fibras intrafusais e por terminações nervosas, sensoriais e motoras associadas a essas fibras (Figura 5).

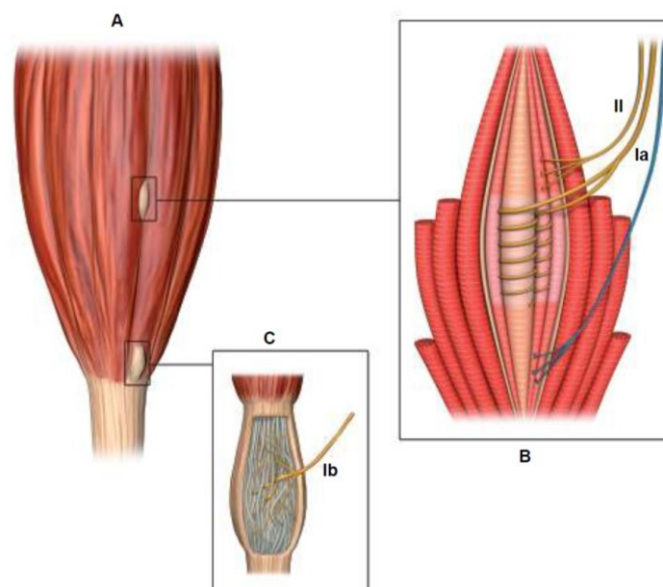


Figura 5 – Mecanorreceptores do músculo esquelético e respetiva inervação sensitiva. A – Músculo esquelético com localização de um FNM e de um OTG. B – Fuso neuromuscular com a sua inervação motora (a azul) feita através do neurónio motor gama e inervação sensitiva (a amarelo) através das fibras Ia e II. C – Órgão tendinoso de Golgi e sua inervação sensitiva, as fibras Ib (Extraído de Correia & Espanha, 2012).

O FNM está localizado entre as fibras musculares esqueléticas extrafusais, que se fixam ao seu endomísio através de uma bainha de tecido conjuntivo. As fibras intrafusais são controladas pelo neurónio motor gama (γ) e as extrafusais pelo neurónio motor alfa (α). Qualquer alteração do comprimento das fibras intrafusais estimula dois tipos de fibras sensitivas (tipo Ia e II) que enviam informações à espinhal-medula e ao SNC, sobre a posição do músculo. Estas informações tornam-se importantes, na execução do movimento, pois antes que o SNC possa

informar o músculo do que deve fazer a seguir, conhecendo, o que o músculo está a fazer no momento (Ellaway, Taylor & Durbaba, 2015).

As fibras sensitivas aferentes Ia e II do FNM devem ser encaradas como dois canais distintos, mas complementares. As primeiras são bastante mais importantes nos movimentos rápidos, pois são sensíveis ao grau e à velocidade do estiramento, enquanto que as segundas, apesar de mais lentamente, transportam informação sobre o alongamento total do músculo e a posição do segmento. São por isso utilizadas, fundamentalmente, no controlo de movimentos lentos (Kröger & Watkins, 2021).

Para além da sua grande importância como sensor do grau e velocidade do alongamento muscular, como referimos anteriormente, o FNM está também na base de um reflexo fundamental na regulação da atividade motora, o reflexo miotático² (Figura 6).

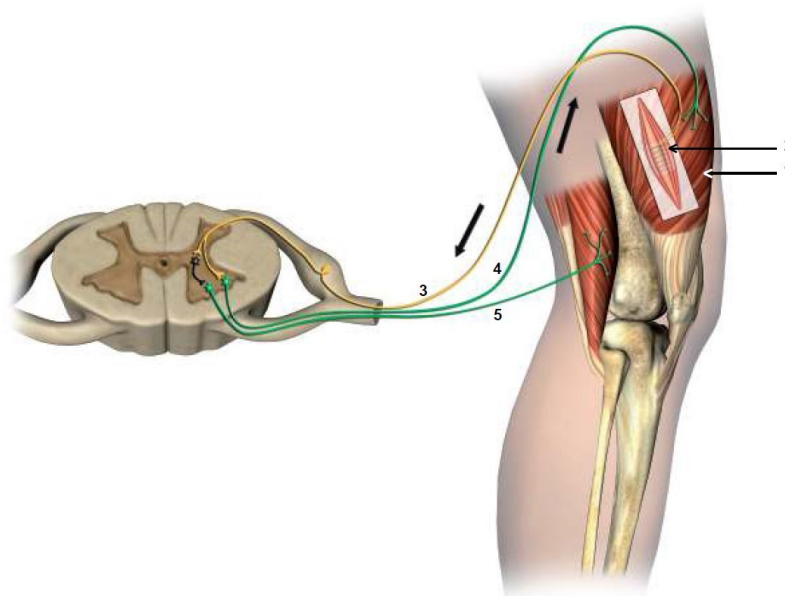


Figura 6 – Reflexo miotático: o alongamento do quadríceps crural (1) é detetado pelos FNM (2), estimulando as suas fibras sensitivas (3). A terminação monossináptica destas fibras nos neurónios motores alfa [α] (4) do quadríceps promove um aumento de tensão nesse músculo. Está também representado o respetivo processo de inervação recíproca: ramos colaterais das fibras aferentes do FNM ativam um interneurónio inibitório (representado a preto) que contribui para a menor ativação dos neurónios motores (5) dos músculos posteriores da coxa e uma consequente redução de tensão desses músculos (Extraído de Correia & Espanha, 2012).

² O reflexo miotático consiste, sumariamente, na tendência para o aumento de tensão de um músculo após ter sofrido um alongamento. Está associado aos movimentos em que intervém o ciclo muscular alongamento e encurtamento (saltar, correr, andar, etc), ou seja, apelam à forma reativa de manifestação de força. Ocorre, quando existe uma ação excêntrica de um músculo ou grupo muscular e o FNM envia essa informação à espinal medula que por sua vez estimula o neurónio motor alfa (α), desse músculo, ou grupos musculares, potenciando a sua ação concêntrica.

Devido à sua componente monossináptica, este reflexo possibilita uma resposta do músculo quase imediata, evitando estiramentos não desejados e representando um mecanismo para manter o comprimento pretendido para o músculo quando tal é necessário (Thompson, 2019).

1.2.2. Órgão tendinoso de Golgi

O OTG é um recetor sensorial propriocetivo encapsulado delgado, com 1 milímetro de comprimento e 0,1 milímetro de diâmetro. Localiza-se na junção musculo tendinosa (entre o músculo e o seu tendão), onde as fibras de colagénio do tendão se juntam às extremidades das fibras musculares extrafusais. O OTG é sensível à tensão muscular e está na base de um importante mecanismo reflexo, o reflexo miotático inverso (figura 7) (Correia et al., 2012).

Esta estrutura é composta por recetores sensoriais que informam (via fibras do tipo Ib), o SNC da intensidade da tensão gerada pela ação muscular. Tem uma sensibilidade tal, que consegue responder à tensão desenvolvida por uma só fibra muscular.

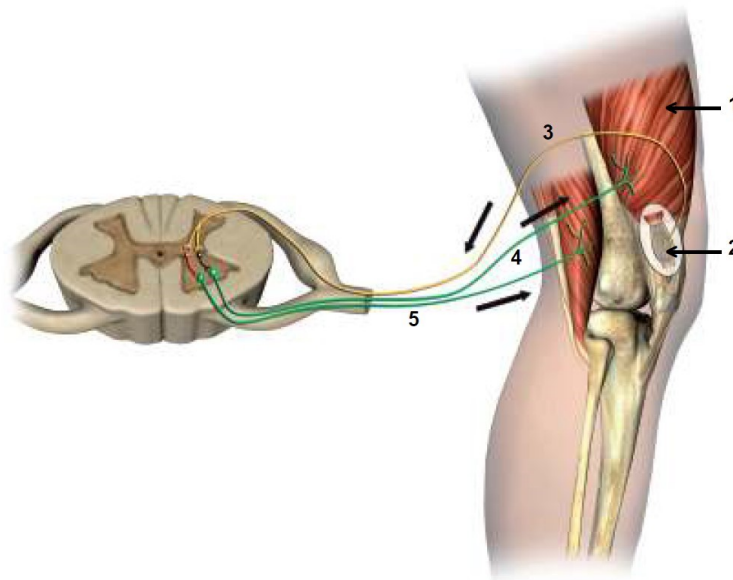


Figura 7 – Reflexo miotático inverso: o aumento de tensão do quadríceps crural (1) é detetado pelos OTG (2), estimulando as suas fibras sensitivas (3). A terminação destas fibras num interneurónio inibitório (representado a preto) vai diminuir a ativação dos neurónios motores alfa (α) (4) do quadríceps. Está também representado o respetivo processo de inervação recíproca: ramos colaterais das fibras aferentes do OTG ativam um interneurónio excitatório (representado a vermelho) que contribui para aumentar a ativação dos neurónios motores dos músculos antagonistas, os músculos posteriores da coxa (5) (Extraído de Correia & Espanha, 2012).

O OTG tem um papel essencialmente inibidor da atividade dos músculos agonistas para gerar tensão, evitando desta forma, o risco potencial de ocorrência de lesão mio articular (muscular, tendinosa ou articular). Esta ação ocorre através da inibição do neurónio motor alfa (α) do músculo agonista, pelo interneurónio inibitório Ib que é ativado pelas fibras sensitivas Ib e da inibição do interneurónio inibitório Ia do músculo antagonista. Por sua vez, o neurónio motor alfa (α) dos músculos antagonistas é ativado de forma a que estes gerem tensão e dificultem a ação dos agonistas.

Estes dois tipos de recetores musculares, o FNM e o OTG, assumem um papel fundamental nos processos propriocetivos. Têm uma ação bastante complexa, contendo conexões excitadoras e inibidoras, entre os neurónios motores enervadores, de determinadas estruturas musculares.

Sinteticamente, podemos dizer que o FNM se dispõe e é constituído de tal modo, que sempre que se dá um estiramento (por exemplo: salto em profundidade), ativa-se o neurónio motor alfa (α) que estimula as fibras alongadas, originando a sua brusca contração. Quanto maior a intensidade de alongamento do músculo, maior será a força produzida pelo reflexo miotático.

Este fenómeno só se dá dentro de determinados limites, pois quando a tensão atinge uma elevada intensidade, a contração cessa rapidamente, relaxando-se o músculo. Esta função de proteção (reflexo miotático inverso), dá-se pela influência inibidora aferente exercida pelos OTG (Alter, 2004; Konrad, Stafilidis & Tilp, 2017; Takeuchi & Nakamura, 2020).

Estes processos podem ser melhorados através do treino, pela otimização da sua funcionalidade; com o intuito de aumentar a prestação de força; não deixando de manter as características inerentes à proteção da estrutura músculo-tendinosa (Saavedra, 1998, 2020).

1.2.3. Recetores articulares

Microscopicamente, os ligamentos são compostos por vasos e estruturas nervosas especializadas, conhecidas como mecanorreceptores.

Estas estruturas, convertem a energia física, originada pela tensão muscular, num impulso nervoso, informando o SNC quanto ao posicionamento e movimento articular, assim como da velocidade e amplitude do movimento. Estes órgãos assumem papel de relevo como mecanismo preventivo e de proteção para o risco potencial de ocorrência de lesões (Castelo et al., 2000).

1.3. Consequências metodológicas para o treino de força decorrentes dos fatores nervosos

Observando o mais comum dos exercícios de treino de força (por exemplo: supino ou agachamento), verificamos que evidenciam uma considerável complexidade, obrigando a uma clara e decisiva ativação do SNC, sobre o complexo músculo tendinoso, para que essas ações musculares possam ser realizadas ao melhor nível.

O incremento do desempenho da força muscular, é possível pelo aumento contínuo de ativação de UMs com limiares de excitabilidade superiores. De salientar que, as UMs solicitadas mais precocemente, desenvolvem manifestações mais baixas de força, mantendo-se em atividade por períodos mais prolongados de tempo, enquanto que, as ativadas mais tardiamente, exercem maiores expressões de força, contudo cessam a sua atividade mais prematuramente (Enoka, 1988; Saavedra, 1998, 2020; Thomas, et al., 2014).

Assim, com o propósito de melhorar a capacidade de desenvolvimento de força, de um músculo ou grupo muscular, será necessário envolver (ativar) todas as UMs, isto é, todas as fibras musculares por si enervadas (especialmente as de mais alta entrada). Sendo esta mobilização conseguida pelo aumento da intensidade da atividade muscular voluntária, através do recurso a cargas máximas ou submáximas (recrutamento das UMs e frequência da descarga dos impulsos nervosos) (Saavedra, 1998, 2020).

É conveniente salientar que, estes mecanismos, não devem ser considerados isoladamente. Numa ação efetiva de força, ocorrem simultaneamente, sobrepondo-se o seu efeito, funcionando em estreita relação e perfeita harmonia (Muller, 1987; Saavedra, 1998, 2020).

1.3.1. Coordenação intra e intermuscular

Os fatores neuronais, denominados por coordenação inter³ e intramuscular⁴, assumem um papel fundamental e determinante na capacidade de manifestação de força. Pelas vivências práticas do processo de treino e consubstanciado em estudos longitudinais, podemos dizer que a estrutura muscular necessita de tempo para se adaptar. Em função da qualidade e quantidade das adaptações, estas podem demorar meses, ou até anos de treino. (Hartmann et al., 2015; Helm et al., 2020; Ohira et al., 2006; Suchomel, Nimphius, Bellon & Stone, 2018; Rutherford & Jones, 1986; Kang, 2018; Sale, 1988).

Os ganhos na capacidade de rendimento, alcançados após pequenos períodos de treino, são devidos à melhoria da eficiência da coordenação intermuscular, isto é, dá-se a assimilação e integração (aprendizagem técnica) das tarefas a executar. Após esse processo, as adaptações neuronais do tipo intramuscular - diminuição do tempo para recrutar mais UMs e o aumento da tolerância dos neurónios motores para suportar elevadas frequências de ativação - são responsáveis pelo ganhos subsequentes na capacidade de gerar força (Hakkinen, Komi, 1983; Walker, Trezise, Haff, Newton, Häkkinen, & Blazevich, 2020).

Se um indivíduo, estiver sujeito a quatro sessões de treino semanais de força, as adaptações processar-se-ão no tempo, da seguinte forma: primeiros ganhos devidos à melhoria da coordenação intermuscular, que se estabiliza ao fim da segunda semana. O recrutamento e frequência de ativação dos neurónios motores (adaptações nervosas de natureza intramuscular), maximiza-se, ao fim de 6 a 8 semanas de treino, induzindo adaptações positivas fundamentalmente ao nível da potência muscular (Saavedra, 1998, 2020).

³ Coordenação intermuscular - expressa a melhor eficiência de intervenção dos diferentes grupos musculares (agonistas, antagonistas e sinergistas) na execução de um movimento.

⁴ Coordenação intramuscular - ação sincronizada das fibras musculares dentro de um músculo. Relação entre os mecanismos de excitação e inibição de um músculo.

1.3.2. Dinâmica da carga e ativação nervosa

Se considerarmos, como exemplo, um processo de treino de força de alta intensidade⁵ (80 a 100% da contração voluntária máxima), realizando uma cadência de movimento explosiva (elevada velocidade de contração⁶), com um baixo número de repetições (1 a 5); efetuando 3 a 5 séries e um tempo de repouso (intervalo), entre as séries, de 5 minutos, estamos a desencadear adaptações neuromusculares, acompanhadas de pequenos ganhos de massa muscular, induzindo as seguintes adaptações neuronais:

- (i) Aumento do recrutamento das UMs, especialmente as de "alta entrada", recrutadas exclusivamente em esforços voluntários máximos, o que algumas vezes não acontece, pela desfamiliarização com a tarefa motora e;
- (ii) Capacidade de desencadear maior frequência de descarga de impulsos e sincronismo, potenciador de uma atividade neuromuscular mais intensa no menor período de tempo, aumentando o nível de incremento de força, refletindo-se num drástico aumento da força rápida, explosiva e inicial.

Estes mecanismos, possibilitam um aumento na expressão de força máxima, sem alteração significativa da área de secção transversal muscular. Favorecem o incremento da taxa de produção de força e um aumento da ativação nervosa, melhorando o recurso a todo o potencial do músculo, sem grandes aumentos da massa muscular ou corporal.

⁵ O requisito mínimo para que um atleta se envolva num processo de treino com estas características são dois anos de consistente treino de força.

⁶ A eventual dificuldade de atletas e treinadores, compreenderem a exigência de um ritmo de execução explosivo, poderá ser explicada fazendo-se a distinção entre velocidade de contração e velocidade de movimento. A velocidade de contração deverá ser máxima, no entanto, a velocidade de movimento será reduzida, devido à carga a superar ser muito elevada.

Bibliografia

- Alter, MJ (2004). *Science of Flexibility*. Third edition. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Brooks, G., Fahey, TD, White, TP & Baldwin, KM (eds) (2000). *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications*, 3rd edn. Mayfield Publishing Co, Mountain View.
- Baechle TR & Earle RW (eds.) (2008). *Essentials of strength training and conditioning*. Third edition. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bellemare, F, Woods, JJ, Johansson, R, & Bigland-Ritchie, B (1983). Motor-unit discharge rates in maximal voluntary contractions of three human muscles. *Journal of neurophysiology*, 50(6), 1380–1392. <https://doi.org/10.1152/jn.1983.50.6.1380>
- Carroll, TJ, Riek, S, & Carson, RG (2002). The sites of neural adaptation induced by resistance training in humans. *Journal of Physiology*, 544(2): 641-652. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2002.024463>
- Castelo J, Barreto H, Alves F, Santos PM, Carvalho J, & Vieira J (2000). *Metodologia do treino desportivo (3ª Edição)*. Lisboa: Edições FMH-UTL.
- Correia, P & Espanha, M. (2012). *Aparelho Locomotor – Volume 2. Funções neuromusculares e adaptações à actividade física*. Lisboa: Edições FMH-UTL.
- Desmedt, JE & Godaux, E (1977). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *The Journal of physiology*, 264(3), 673–693. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1977.sp011689>
- Dupont-Hadwen, J, Bestmann, S, & Stagg, CJ (2019). Motor training modulates intracortical inhibitory dynamics in motor cortex during movement preparation. *Brain stimulation*, 12(2), 300–308. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.11.002>
- Dowling, JJ, Konert, E, Ljucovic, P, & Andrews, D. M. (1994). Are humans able to voluntarily elicit maximum muscle force? *Neuroscience letters*, 179(1-2), 25–28. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(94\)90926-1](https://doi.org/10.1016/0304-3940(94)90926-1)
- Ellaway, P H, Taylor, A & Durbaba, R (2015). Muscle spindle and fusimotor activity in locomotion. *Journal of anatomy*, 227(2), 157–166. <https://doi.org/10.1111/joa.12299>
- Enoka RM (1988). Muscle strength and its development. New perspectives. *Sports medicine* 6(3), 146–168. <https://doi.org/10.2165/00007256-198806030-00003>
- Enoka, RM & Fuglevand, AJ (2001). Motor unit physiology: some unresolved issues. *Muscle & nerve*, 24(1), 4–17. [https://doi.org/10.1002/1097-4598\(200101\)24:1<4::aid-mus13>3.0.co;2-f](https://doi.org/10.1002/1097-4598(200101)24:1<4::aid-mus13>3.0.co;2-f)
- Fleck, SJ, & Kraemer, WJ (2014). *Designing resistance training programs*. Fourth edition. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Forman, DA, Forman, GN, Mugnosso, M, Zenzeri, J, Murphy, B, & Holmes, M (2020). Sustained Isometric Wrist Flexion and Extension Maximal Voluntary Contractions Similarly Impair Hand-Tracking Accuracy in Young Adults Using a Wrist Robot. *Frontiers in sports and active living*, 2, 53. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00053>

Grimby, L, & Hannerz, J (1977). Firing rate and recruitment order of toe extensor motor units in different modes of voluntary contraction. *The Journal of physiology*, 264(3), 865–879. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1977.sp011699>

Haff, G & Triplett, NT (2016). *Essentials of strength training and conditioning*. Fourth edition. Champaign, IL: Human Kinetics.

Hali, K, Dalton, BH, Harwood, B, Fessler, AF, Power, GA, & Rice, CL (2020). Differential Modulation of Motor Unit Properties from the Separate Components of the Triceps Surae in Humans. *Neuroscience*, 428, 192–198.

Häkkinen, K, Kallinen, M, Izquierdo, M, Jokelainen, K, Lassila, H, Mäkiä, E, Kraemer, W J, Newton, RU, & Alen, M (1998). Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 84(4), 1341–1349. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.84.4.1341>

Häkkinen, K & Komi, PV (1983). Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine and science in sports and exercise*, 15(6), 455–460.

Hartmann, H, Wirth, K, Keiner, M, Mickel, C, Sander, A & Szilvas, E (2015). Short-term Periodization Models: Effects on Strength and Speed-strength Performance. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.), 45(10), 1373–1386. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0355-2>

Hassan, AS, Kim, EH, Khurram, OU, Cummings, M, Thompson, CK, Miller McPherson, L, Heckman, CJ, Dewald, J & Negro, F (2019). Properties of Motor Units of Elbow and Ankle Muscles Decomposed Using High-Density Surface EMG. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference*, 2019, 3874–3878. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857475>

Helm, M, Freyler, K, Waldvogel, J, Lauber, B, Gollhofer, A, & Ritzmann, R (2020). Anticipation of drop height affects neuromuscular control and muscle-tendon mechanics. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 30(1), 46–63. <https://doi.org/10.1111/sms.13550>

Henneman, E, Somjen, G & Carpenter, DO (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 28, 560–580. <https://doi.org/10.1152/jn.1965.28.3.560>

Hunter SK (2016). Sex differences in fatigability of dynamic contractions. *Experimental physiology*, 101(2), 250–255. <https://doi.org/10.1113/EP085370>

Hutton, RS & Enoka, RM (1986). Kinematic assessment of a functional role for recurrent inhibition and selective recruitment. *Experimental neurology*, 93(2), 369–379. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(86\)90197-4](https://doi.org/10.1016/0014-4886(86)90197-4)

Jensen, JL, Marstrand, PC, & Nielsen, JB (2005). Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system. *Journal of Applied Physiology*, 99(4), 1558–1568. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01408.20>

Kang S (2018). Difference of neuromuscular responses by additional loads during plyometric jump. *Journal of exercise rehabilitation*, 14(6), 960–967. <https://doi.org/10.12965/jer.1836428.214>

- Karni, A., Meyer, G., Jezard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*, 377(6545), 155–158. <https://doi.org/10.1038/377155a0>
- Kirk, EA, Gilmore, KJ, Stashuk, DW, Doherty, TJ & Rice, CL (2019). Human motor unit characteristics of the superior trapezius muscle with age-related comparisons. *Journal of neurophysiology*, 122(2), 823–832. <https://doi.org/10.1152/jn.00138.2019>
- Kirk, EA, Copithorne, DB., Dalton, BH & Rice, CL (2016). Motor unit firing rates of the gastrocnemii during maximal and sub-maximal isometric contractions in young and old men. *Neuroscience*, 330, 376–385. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.05.059>
- Komi, PV (2003) *Strength and Power in Sport* (2nd. Edition). Blackweel Science Publications. Oxford.
- Komi PV (1986). Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *International journal of sports medicine*, 7 Suppl 1, 10–15. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025796>
- Konrad, A, Stafilidis, S & Tilp, M (2017). Effects of acute static, ballistic, and PNF stretching exercise on the muscle and tendon tissue properties. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(10), 1070–1080. <https://doi.org/10.1111/sms.12725>
- Kröger, S & Watkins, B (2021). Muscle spindle function in healthy and diseased muscle. *Skeletal muscle*, 11(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s13395-020-00258-x>
- Kudina, LP & Andreeva, RE (2019). Repetitive doublet firing in human motoneurons: evidence for interaction between common synaptic drive and plateau potential in natural motor control. *Journal of neurophysiology*, 122(1), 424–434. <https://doi.org/10.1152/jn.00874.2018>
- Kudina, LP & Andreeva, RE (2010). Repetitive doublet firing of motor units: evidence for plateau potentials in human motoneurons? *Experimental brain research*, 204(1), 79–90. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2298-z>
- Lotze, M, Braun, C, Birbaumer, N, Anders, S, & Cohen, LG (2003). Motor learning elicited by voluntary drive. *Brain: a journal of neurology*, 126(4), 866–872. <https://doi.org/10.1093/brain/awg079>
- Milner-Brown, HS., Stein, RB & Lee, RG (1975). Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 38(3), 245–254. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(75\)90245-x](https://doi.org/10.1016/0013-4694(75)90245-x)
- Muller, KJ (1987). *Statische und Dynamische Muskelkraft. Eine Empirish Grundlagenuntersuchung*. Verlag Harri Deutsch. Frankfurt am Main. Thun.
- Nardone, A, Romanò, C & Schieppati, M (1989). Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *The Journal of physiology*, 409, 451–471. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1989.sp017507>
- Narici, MV, Roi, GS, Landoni, L, Minetti, AE & Cerretelli, P (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 59(4), 310–319. <https://doi.org/10.1007/BF02388334>

Norberto, MS, de Arruda, TB & Papoti, M (2020). A New Approach to Evaluate Neuromuscular Fatigue of Extensor Elbow Muscles. *Frontiers in physiology*, 11, 553296. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.553296>

Ohira, Y, Yoshinaga, T, Ohara, M, Kawano, F, Wang, XD, Higo, Y, Terada, M, Matsuoka, Y, Roy, RR, & Edgerton, VR (2006). The role of neural and mechanical influences in maintaining normal fast and slow muscle properties. *Cells, tissues, organs*, 182(3-4), 129–142. <https://doi.org/10.1159/000093963>

Perez, MA, Lungholt, BK, Nyborg, K, & Nielsen, JB (2004). Motor skill training induces changes in the excitability of the leg cortical area in healthy humans. *Experimental brain research*, 159(2), 197–205. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-1947-5>

Rutherford, OM., & Jones, DA (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(1), 100–105. <https://doi.org/10.1007/BF00422902>

Saavedra, FJ (1998). *Força Capacidade Motora e Biológica do Ser Humano. Identificação e caracterização dos fatores anatómicos e neurofisiológicos que condicionam a sua expressão. Relatório de uma aula Teórico/prática.* UTAD, Vila Real.

Saavedra, FJ (2020). *Treino dos Fatores de Rendimento – FORÇA. Documento de circulação interna - apoio à unidade curricular de Teoria e Metodologia do Treino, Departamento de Desporto SIDE/UTAD (não publicado).*

Sale, DG (2003). Neural Adaptation to Strength Training. In *Strength and Power in Sport*, PV Komi (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9780470757215.ch15>

Sale DG (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(5 Suppl), S135–S145. <https://doi.org/10.1249/00005768-198810001-00009>

Sale DG (1987). Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exercise and sport sciences reviews*, 15, 95–151.

Semmler, JG & Nordstrom, MA (1998). Motor unit discharge and force tremor in skill- and strength-trained individuals. *Experimental brain research*, 119(1), 27–38. <https://doi.org/10.1007/s002210050316>

Suchomel, TJ, Nimphius, S, Bellon, CR & Stone, MH (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports medicine*, 48(4), 765–785. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>

Takeuchi, K. & Nakamura, M. (2020). Influence of Aerobic Exercise After Static Stretching on Flexibility and Strength in Plantar Flexor Muscles. *Frontiers in physiology*, 11, 612967. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.612967>

ter Haar Romeny, BM, Denier van der Gon, JJ & Gielen, CC (1982). Changes in recruitment order of motor units in the human biceps muscle. *Experimental neurology*, 78(2), 360–368. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(82\)90054-1](https://doi.org/10.1016/0014-4886(82)90054-1)

Thomas, CK, Bakels, R, Klein, CS & Zijdwind, I (2014). Human spinal cord injury: motor unit properties and behaviour. *Acta physiologica*, 210(1), 5–19. <https://doi.org/10.1111/apha.12153>

Thompson, WR (2019). ACSM's clinical exercise physiology. First edition. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins

Van Cutsem, M, Duchateau, J & Hainaut, K (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *The Journal of physiology*, 513, 295–305. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1998.295by.x>

Walker, S., Trezise, J., Haff, G. G., Newton, R. U., Häkkinen, K., & Blazevich, A. J. (2020). Increased fascicle length but not patellar tendon stiffness after accentuated eccentric-load strength training in already-trained men. *European journal of applied physiology*, 120(11), 2371–2382. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04462-x>