

Fisioterapia e Pesquisa



Este é um artigo publicado em acesso aberto sob uma licença Creative Commons.

Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1809-29502016000300257&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 18 dez. 2017.

REFERÊNCIA

TELES, Fernanda Sampaio et al. Parâmetros eletromiográficos em exercícios fatigantes realizados com diferentes tipos de resistência. **Fisioterapia e Pesquisa**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 257-262, jul./set. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1809-29502016000300257&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 dez. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-2950/15008423032016>.

Parâmetros eletromiográficos em exercícios fatigantes realizados com diferentes tipos de resistência

Electromyographic parameters in fatiguing exercises performed with different types of resistance

Estándares electromiográficos en ejercicios extenuantes empleando distintos tipos de resistencia

Fernanda Sampaio Teles¹, Maria Claudia Pereira², Valdinar de Araújo Rocha-Júnior³, Jake Carvalho do Carmo⁴, Marcelino Monteiro de Andrade⁵

RESUMO | Buscou-se investigar os parâmetros eletromiográficos da fadiga muscular durante exercício dinâmico realizado com resistência variável (elástica) e resistência fixa (polia). Dez homens treinados participaram voluntariamente do estudo. Foram realizadas duas contrações voluntárias isométricas máximas (CVIM) de flexão do cotovelo com 5 segundos de duração cada e 2 minutos de intervalo entre as mesmas. Em seguida, os voluntários realizaram a flexão unilateral do cotovelo até a exaustão, utilizando resistência fixa e elástica com ritmo pré-estabelecido de 2 segundos para cada fase do movimento. A resistência constante foi realizada na polia a 30% da CVIM. Para a resistência elástica, o controle de carga era baseado na percepção subjetiva de esforço do participante. A ordem do exercício foi randomizada, e o sinal de eletromiografia do músculo bíceps braquial foi registrado durante as contrações. A partir do sinal eletromiográfico referente a cada execução de movimento, foram traçadas retas de regressão linear para as variáveis RMS e frequência de potência mediana (FPM). As inclinações das retas normalizadas pelo coeficiente linear das equações de regressão foram comparadas por meio do teste t pareado. Não foram observadas diferenças significativas entre os tipos de resistência (elástica e polia). Os parâmetros eletromiográficos de fadiga não foram diferentes durante o exercício de flexão do cotovelo realizado com resistência elástica e polia. A percepção de esforço durante o exercício com implemento elástico

não influencia no padrão do sinal eletromiográfico (RMS e FPM).

Descritores | Eletromiografia; Fadiga Muscular.

ABSTRACT | The present study sought to investigate the electromyographic parameters of muscle fatigue during dynamic exercise conducted with variable resistance (elastic) and fixed resistance (pulley). Ten trained men participated voluntarily in the study. Two maximum voluntary isometric contractions (MVIC) of the elbow flexors were performed for 5 seconds and a two minutes interval rest was given between reps. Then, the volunteers performed unilateral elbow flexion repetitions until the exhaustion using fixed and elastic resistance with a pre-established rhythm of two seconds for each phase of the movement. Constant resistance was carried out at the pulley at 30% of MVIC. For the elastic resistance, load control was based on the subjective perception of the participant's effort. The exercise order was randomized, and electromyography signal of the biceps brachii muscle was recorded during contractions. From the electromyographic signal related to every movement, linear regression lines were drawn for root mean square (RMS) variables and median power frequency (MPF). The inclination of the lines normalized by the linear coefficient of regression equations were compared using the paired t-test. No significant differences between the types of resistance (elastic and pulley) were found. During elbow flexion exercise

¹Professora de Educação Física; mestranda em Educação Física pela Universidade de Brasília.

²Professora doutora em Educação Física; profa. visitante do curso de Educação Física da Universidade de Brasília.

³Professor mestre em Educação Física; técnico de Assuntos Educacionais da Polícia Federal do Brasil.

⁴Professor doutor em Educação Física; prof. adjunto do curso de Educação Física da Universidade de Brasília.

⁵Professor doutor e engenheiro eletricista; prof. adjunto do curso de Engenharia do campus Gama da Universidade de Brasília.

performed with elastic resistance and pulley, electromyographic parameters of fatigue did not differ. Effort perception during the exercise with an elastic implement does not influence the electromyographic signal pattern (RMS and MPF).

Keywords | Electromyography; Muscle Fatigue.

RESUMEN | En esta investigación se pretendió estudiar los estándares electromiográficos de fatiga muscular durante la realización de ejercicio dinámico con resistencia variable (elástico) y resistencia fija (polea). Han participado voluntariamente diez varones entrenados. Se llevó a cabo dos contracciones voluntarias máximas (CVIM) de flexión de codo, cada cual de cinco segundos de duración y dos minutos de intervalo entre las mismas. Después los voluntarios hicieron la flexión unilateral del codo hasta sentirse cansados, y emplearon la resistencia fija y elástica con ritmo preestablecido de dos segundos para cada fase del movimiento. Se llevó a cabo la resistencia constante en la

polea a 30% de la CVIM. Relativo a la resistencia elástica, el control de carga se basaba en una percepción subjetiva del esfuerzo empleado por el participante. El orden del ejercicio fue aleatorio, y se registró la señal electromiográfica del músculo bíceps durante las contracciones. Desde la señal electromiográfica relativa a cada ejecución del movimiento se dibujó rectas de regresión lineal para las variables RMS y la frecuencia de potencia media (FPM). Se confirmó las inclinaciones de rectas normalizadas por el coeficiente lineal de las ecuaciones de regresión a través de la prueba t pareada. No se observaron diferencias significantes entre los tipos de resistencia (elástica y polea). Los estándares electromiográficos de fatiga durante la práctica de ejercicios de flexión de codo empleando resistencia elástica y polea no fueron distintos. La percepción del esfuerzo durante la práctica de ejercicio con elástico no trae consecuencias al estándar de señal electromiográfico (RMS y FPM).

Palabras clave | Electromiografía; Fadiga Muscular.

INTRODUÇÃO

O treinamento resistido é comumente utilizado como estratégia para desenvolver e aprimorar capacidades físicas. Atualmente há grande variedade de implementos que possibilitam sua prática, variando de acordo com o objetivo almejado¹.

Exercícios realizados com pesos livres ou em máquinas possuem resistência constante. Já exercícios praticados com resistência variável, como elásticos, possuem variações de carga no decorrer da execução do movimento¹. Apesar dos elásticos possuírem características singulares como praticidade, portabilidade e baixo custo, há carência de estudos que buscam comparar implementos de carga elástica com carga constante.

Além dos poucos estudos sobre resistência elástica, a dificuldade em se obter um procedimento metodológico capaz de permitir um comparativo entre os tipos de resistências a serem usadas e as consequências fisiológicas para cada intervenção torna o uso da resistência elástica restrito e voltado para programas de reabilitação articulares ou clínicos, em que os exercícios são realizados, na maioria das vezes, com intensidades submáximas^{2,3}. Segundo Andersen et al.³, poucos estudos analisaram adaptações fisiológicas induzidas por exercícios com resistências elásticas comparados a outras modalidades de contração. Além disso, estudos anteriores verificaram que o uso de resistência elástica

em intensidade adequada melhora significativamente testes funcionais e provoca mudanças na composição corporal com diminuição da perimetria abdominal e percentual de gordura corporal^{4,5}.

A eletromiografia de superfície (SEMG) permite analisar as ações musculares tanto de membros inferiores como superiores durante a realização de exercícios. Sabe-se que a utilização da SEMG pode fornecer informações relevantes sobre a atividade das unidades motoras e a mobilização de diferentes tipos de fibras musculares⁶. Para exemplificar, autores verificaram associação entre a amplitude e frequência do sinal eletromiográfico através do padrão de atividades das unidades motoras^{7,8}. Ainda, foi possível identificar relação entre a velocidade de condução obtida por meio da SEMG e o recrutamento de fibras musculares distintas. Adicionalmente, diversos autores empregam a SEMG para analisar o comportamento da fadiga muscular localizada⁹⁻¹¹. Diversos autores fizeram uso dessa ferramenta, agregando valor à discussão acerca do comportamento neuromuscular durante exercícios com diferentes tipos de resistências¹²⁻¹⁴. No entanto, não existe consenso sobre a eficácia em se utilizar diferentes métodos resistivos e suas adaptações neuromusculares, já que em sua maioria tais pesquisas analisam diversos tipos de populações.

O estudo de Melchiorri et al.¹³ investigou as modificações neuromusculares induzidas por exercícios até a fadiga com dois tipos de resistência

(elástica *versus* constante). No entanto, a resistência constante utilizada neste estudo foi dada por uma máquina desenvolvida pelos próprios pesquisadores que não é o tipo de equipamento comumente encontrado nas academias de musculação, limitando a reprodutibilidade da pesquisa.

Portanto, o objetivo deste estudo foi comparar os parâmetros eletromiográficos durante exercícios fatigantes realizados em máquina convencional de musculação com polia e resistência elástica.

METODOLOGIA

Amostra

O estudo foi composto por dez voluntários do sexo masculino ($27,7 \pm 6,0$ anos; $79,8 \pm 5,5$ kg; $175,7 \pm 4,9$ cm) com experiência em treinamento resistido há pelo menos seis meses. Os voluntários não poderiam ter quaisquer problemas físicos e/ou comprometimentos osteomioarticulares que pudessem ser agravados com o movimento de flexão de cotovelo. Antes do início do estudo, todos os voluntários assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, que explicitava os procedimentos da pesquisa. O estudo foi realizado após aprovação no Comitê de Ética e Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília (UnB), cujo CAAE é 16303013.0.0000.0030.

Procedimentos experimentais

A primeira etapa do experimento consistiu na aquisição de medidas antropométricas de massa corporal (Líder Balanças®, modelo PM180, Araçatuba, SP) e estatura (Sanny®) para descrição da amostra. Em seguida, os sujeitos executavam duas contrações voluntárias isométricas máximas (CVIM) de 5 segundos de duração, com 2 minutos de descanso entre elas. Durante a CVIM, os voluntários permaneciam sentados com o cotovelo direito formando um ângulo de 90° entre braço e antebraço. Uma célula de carga modelo TS (AEPH do Brasil Indústria e Comércio Ltda., $50 \text{ k} \pm 10\%$) foi afixada na cadeira por uma corrente inextensível, e uma empunhadura presa a ela foi usada para o exercício. Foi dado incentivo verbal pelos avaliadores durante a aquisição da CVIM.

Em seguida, os voluntários foram orientados a fazer flexões do cotovelo direito até a exaustão. Essa tarefa foi repetida em duas situações: uma delas com a resistência de uma máquina de musculação (Gervasport fitness equipment) com cabo ligado a uma polia, e a outra com a resistência de um cabo elástico como exposto na Figura 1. A ordem das tarefas foi contrabalaneada, e foram dados 10 minutos de intervalo entre elas. A intensidade empregada na tarefa de polia correspondeu a 30% da CVIM, e a cadência das contrações foi de 2 segundos para cada fase do movimento, controlado por um metrônomo digital (Seiko). A tarefa no elástico seguiu o mesmo ritmo, mas a adequação da carga correspondente a 30% da CVIM foi determinada por meio de uma escala de percepção subjetiva de esforço para implementos elásticos validada por Colado et al.¹⁵ (OMNI-RES), em que a intensidade em quilos era informada oralmente. Os voluntários, pela sua percepção de esforço, eram instruídos a se deslocar o suficiente para estender a resistência elástica até a percepção correspondente a 30% da sua CVIM, a fim de executar o máximo de repetições de flexão do cotovelo até a exaustão ou a falta de manutenção do ritmo solicitado. O uso da escala OMNI-RES é atualmente o método mais utilizado para determinar a carga para resistências variáveis.

Todos os testes foram realizados no Laboratório de Processamento de Sinais Biológicos e Controle Motor da Faculdade de Educação Física da UnB, com calibração prévia dos equipamentos e preparação de todos os materiais complementares à coleta de dados, como esparadrapos, lâminas de barbear, algodão, fita adesiva e outros.

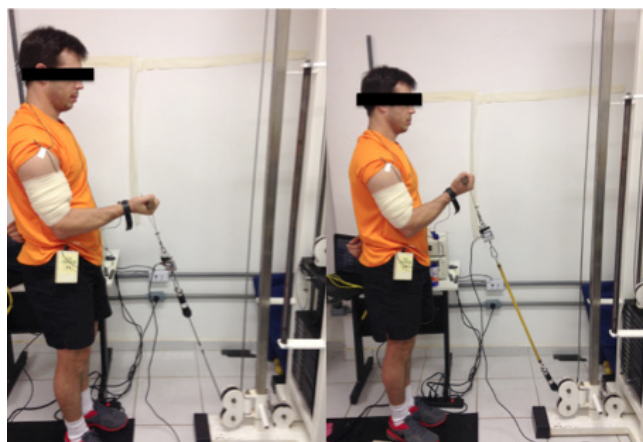


Figura 1. Sujeito exemplificando o protocolo experimental com diferentes resistências: polia e elástico, respectivamente

Eletromiografia

Os sinais de SEMG do músculo bíceps braquial foram coletados por um eletromiógrafo (Bagnoli-2, Delsys, Boston, EUA) com frequência de amostragem de 2.000Hz. Foram utilizados eletrodos bipolares (Ag/AgCl) pré-amplificados com ganho de 1.000V/V, filtro passa-faixa de 20Hz a 450Hz e distância intereletródica de 1 cm. O sinal eletromiógrafo obtido foi transferido para o computador por placa análoga-digital de 12 bits (National Instruments, modelo PCI 6024E, Austin, EUA). As recomendações do SENIAM¹⁶ para posicionamento do eletrodo e assepsia da pele foram observadas na preparação dos testes. Um eletrogoniômetro foi posicionado com seu eixo no epicôndilo lateral do cotovelo, e suas hastes, afixadas no braço e antebraço do sujeito.

O sinal da SEMG foi inicialmente filtrado por um filtro *butterworth* de quarta ordem, com banda passante de 20Hz a 500Hz e correção no atraso de fase¹⁷. Um passa-baixas com as mesmas características, com frequência de corte de 15Hz, foi utilizado para filtrar o sinal de força¹⁸.

O sinal do eletrogoniômetro foi usado como referência para o recorte das bulhas do sinal eletromiográfico em cada repetição. A partir do pico de posição angular, que representava o ângulo de maior extensão do cotovelo, foram percorridas 500 amostras e recortadas janelas de 2.000 amostras. Essa metodologia foi adotada, dado que, mesmo com o controle da cadência com o metrônomo, verificou-se pequena variação na velocidade de movimento nos ângulos mais agudos da flexão de cotovelo. Com esse procedimento, foi possível obter dados mais fidedignos em relação ao ritmo imposto aos voluntários durante todo o experimento. Esse procedimento também proporcionou janelamentos mais uniformes entre as bulhas das duas situações experimentais.

Para as bulhas de cada repetição, foram calculadas a raiz quadrática média (RMS) e a frequência de potência mediana (FPMd). A partir desses parâmetros de amplitude e frequência, foram traçadas regressões lineares para indicar o comportamento do sinal eletromiográfico ao longo do exercício. As inclinações das retas de regressão (coeficientes angulares) foram normalizadas por seus valores iniciais (coeficientes lineares) para facilitar a comparação entre voluntários e situações experimentais. Todo o processamento dos sinais foi feito por rotinas específicas desenvolvidas no *software* Matlab 6.5 (Mathworks; Natick, MA, USA).

Análise estatística

A análise estatística foi feita pelo programa SPSS (versão 20.0). Para testar a normalidade dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. Após confirmada a distribuição normal, as comparações entre os tipos de resistência foram feitas utilizando teste *t* pareado para cada parâmetro eletromiográfico. O nível de significância adotado foi de 5%.

RESULTADOS

Os dados reportados, com os valores de média \pm desvio padrão, referentes a variáveis eletromiográficas podem ser visualizados na Tabela 1. Para as curvas de regressão linear traçadas para as variáveis RMS e FPMd, não foram encontradas diferenças significativas nas inclinações de reta entre os tipos de resistência (polia e cabo elástico) – Tabela 2.

Tabela 1. Valores médios e desvio-padrão das inclinações de reta de regressão das variáveis eletromiográficas para os diferentes tipos de resistências utilizadas (n=8)

Exercícios	RMS	FPMd
Polia (PO)	1,77 \pm 3,26	-2,14 \pm 1,62
Elástico (EL)	0,90 \pm 2,20	-1,71 \pm 1,35

p<0,05; RMS: *root mean square*, normalizada pela contração voluntária máxima; FPMd: frequência de potência mediana

Tabela 2. Valores do teste *t* pareado para cada variável eletromiográfica quando comparados os tipos de resistência (elástico e polia)

Variáveis	Teste-t pareado
RMS	0,38
FPMd	0,45

p<0,05; RMS: *root mean square*, normalizada pela contração voluntária máxima; FPMd: frequência de potência mediana

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo mostram que não houve diferença significativa entre as inclinações das retas de regressão do sinal eletromiográfico registrado durante as flexões de cotovelo realizadas com resistência elástica e fixa para as variáveis estudadas (RMS e FPMd). Apesar de possuir características singulares, a resistência elástica não provocou maior ativação muscular e instalação da fadiga, mesmo com a intensidade variando durante toda a amplitude de movimento, quando comparada à polia que dispõe de controle de carga mensurável.

Em ambos os casos, houve aumento do valor RMS e diminuição da FPMd. Esse padrão é bem descrito na literatura como indicativo de fadiga muscular localizada (FML) e justifica-se pelo aumento de recrutamento por somação das unidades motoras, que consequentemente aumenta a amplitude do sinal no decorrer do tempo¹⁷. Também verificou-se um aumento da potência do sinal eletromiográfico nas baixas frequências, quando comparadas às altas, representando uma assinatura espectral associada à FML^{19,20}.

Estudos prévios que comparam resistências elástica e fixa buscaram adaptar as variáveis de treinamento para essas diferentes resistências e avaliar aspectos fisiológicos e funcionais que resultam em ganhos de força e resistência a fadiga muscular. Sundstrup et al.²¹ investigaram estratégias de recrutamento dos músculos deltoide medial, trapézio superior, esplênio e infraespinhal com uso da SEMG durante o exercício de elevação lateral do ombro realizado com cargas máximas e submáximas por implemento elástico. Os resultados encontrados mostraram que a sobrecarga elástica em exercícios com intensidade submáxima conduzidos até a exaustão muscular leva a níveis de ativação muscular bastante satisfatórios das unidades motoras do músculo exercitado. Esse resultado reforça a usabilidade e a portabilidade do implemento elástico e corrobora o aumento do valor RMS durante a tarefa realizada com o elástico nesse estudo. E, independentemente do método de determinação de carga, o uso de implementos elásticos até a exaustão com cargas submáximas é suficiente para aumentar a ativação do músculo trabalhado.

Calatayud et al.¹⁴ buscaram comparar os níveis de força com diferentes resistências e verificou ganhos similares de força do movimento de apoio no solo feito com resistência elástica e supino no aparelho Smith com uso de barra e anilhas. Esse resultado favorece o uso de implementos elásticos na execução de movimentos biomecanicamente similares, ou seja, indivíduos treinados e familiarizados com o supino e apoio de solo são aptos para usar as duas modalidades de resistência para ganhos de força. Além disso, o exercício de apoio de solo com resistência elástica é versátil e pode ser executado em diversos locais e com diferentes ajustes de intensidade. Agregar os sinais de força juntamente com os sinais eletromiográficos pode ser ferramenta inferencial importante na tentativa de avaliar aspectos fisiológicos do sistema muscular e suas consequências em nível de desenvolvimento de capacidades físicas^{12,13}. Desta forma, sugere-se em

estudos futuros a inclusão de análise de força muscular aos resultados expostos no trabalho.

Tratando-se de membros inferiores, Jakobsen et al.²² analisaram o sinal eletromiográfico dos músculos considerados motores primários e estabilizadores do exercício de avanço com o uso de halteres e elástico. Este determinou intensidades de 33%, 66% e 100%, referentes a dez repetições máximas. Concluiu-se que o maior recrutamento muscular dos músculos do quadril e joelho ocorreu com o uso da resistência elástica com intensidade média (66% de 10 RM), o que difere de baixa (33% de 10 RM) e alta intensidades (100% de 10 RM). Tal achado sugere que o avanço, quando feito com o uso de implemento elástico, parece ser boa alternativa para evocar altos níveis de ativação neuromuscular em grandes grupamentos musculares.

No entanto, este estudo não encontrou um padrão ou comportamento específico para o exercício de flexão do cotovelo realizado com implemento elástico e polia, o que corrobora Melchiorri et al.¹³, que investigaram as modificações neuromusculares induzidas por exercício fatigante com resistência elástica comparada com maquinário. O aparelho de carga fixa, utilizado pelos autores, foi confeccionado por eles para execução do movimento de flexão do cotovelo. Apesar de ser um movimento comum entre praticantes de treinamento resistido, todos os resultados são recorrentes da execução da flexão em um maquinário de confecção única e não existente no mercado.

Nesse sentido, este estudo inova ao efetuar o comparativo entre um mesmo exercício executado com implemento elástico e maquinário encontrado comercialmente. Além disso, Melchiorri et al.¹³ executaram um protocolo de exaustão com contração isométrica da flexão de cotovelo, e, ao compararem as variáveis eletromiográficas pré e pós-exaustão, também não encontraram diferenças significativas.

Este estudo utilizou contrações dinâmicas de flexão do cotovelo, que, apesar de, durante a aquisição dos sinais eletromiográficos, apresentarem maior vulnerabilidade a artefatos de movimentação do eletrodo na pele e dos músculos, mostraram-se consistentes, com variáveis de fadiga e ativação muscular similares àqueles descritos na literatura^{9,19,20}, em que há queda da FPMd e aumento do recrutamento muscular, mas sem diferenças significativas entre as tarefas de polia e cabo elástico.

Portanto, considerando que as tarefas estudadas têm, igualmente, indicativo de fadiga muscular e são distintas quanto à curva de carga, uma com resistência fixa e outra

elástica, os resultados sugerem que a adoção de exercícios intercalados entre essas duas modalidades, durante o processo de treinamento físico, pode ser uma alternativa para evitar um platô de treinamento²³. O exercício praticado com uma única modalidade de resistência tende a promover esse platô¹ e minimizar os resultados almejados²³. A partir dos resultados encontrados, a não significância entre as tarefas sugere que intercalar práticas que acarretam a fadiga muscular localizada no mesmo conjunto muscular, com curvas de carga distintas, tende a postergar o platô de treinamento, levando a resultado mais eficaz.

CONCLUSÃO

Parâmetros eletromiográficos de fadiga muscular durante o exercício de flexão do cotovelo realizado com resistência fixa e variável não diferem entre si. Esses resultados indicam que a percepção de esforço durante o exercício com o uso de implemento elástico não influencia no padrão eletromiográfico característico de fadiga muscular.

Sugerem-se estudos que associem esses parâmetros de fadiga para ambas as resistências e o nível de força gerado durante a execução, já que a resistência variável, além de depender da percepção do indivíduo para “dosar” a intensidade, carece de um controle de carga quantitativo, diferentemente da polia, que possui carga fixa e conhecida.

REFERÊNCIAS

1. Fleck SJ, Kraemer WJ. Fundamentos do treinamento de força muscular. 3. ed. Porto Alegre: Artmed; 2006.
2. Andersen LL, Andersen CH, Mortensen OS, Poulsen OM, Bjornlund IBT, Zebis MK. Muscle activation and perceived loading during rehabilitation exercises: comparison of dumbbells and elastic resistance. *Phys Ther*. 2010; 90(4):538-49.
3. Colado JC, Garcia-Masso X, Pellicer M, Alakhdar Y, Benavent J, Cabeza-Ruiz R. A comparison of elastic tubing and isotonic resistance exercises. *Int J Sports Med*. 2010;31(11):810-7.
4. Colado JC, Triplett NT. Effects of a short-term resistance program using elastic bands versus weight machines for sedentary middle-aged women. *J Strength Cond Res*. 2008;22(5):1441-8.
5. Colado JC, Triplett NT, Tella V, Saucedo P, Abellán J. Effects of aquatic resistance training on health and fitness in postmenopausal women. *Eur J Appl Physiol*. 2009;106(1):113-22.
6. Moritani T, Muro M. Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1987;56(3):260-5.
7. Houtman CJ, Stegeman DF, Van Dijk JP, Zwarts MJ. Changes in muscle fiber conduction velocity indicate recruitment of distinct motor unit populations. *J Appl Physiol*. 2003;95(3):1045-54.
8. Farina D, Ferguson RA, Macaluso A, De Vito G. Correlation of average muscle fiber conduction velocity measured during cycling exercise with myosin heavy chain composition, lactate threshold, and VO₂max. *J Electromyogr Kinesiol*. 2007;17(4):393-400.
9. Gerleman DG, Cook TM. Instrumentation in manual of surface electromyography for use in the occupational setting. Washington: DHHS Publication; 1989. p. 81-126.
10. Bonato P, Gagliati G, Knaflitz M. Analysis of myoelectric signals recorded during dynamic contractions. *IEEE Eng Med Biol Mag*. 1996;15(6):102-11.
11. Farina D, Merletti R. Methods for estimating muscle fibre conduction velocity from surface electromyographic signals. *Med Biol Eng Comput*. 2004;42(4):432-45.
12. Cannon J, Kay D, Tarpenning KM, Marino FE. Comparative effects of resistance training on peak isometric torque, muscle hypertrophy, voluntary activation and surface EMG between young and elderly women. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2007;27(2):91-100.
13. Melchiorri G, Rainoldi A. Muscle fatigue induced by two different resistances: elastic tubing versus weight machines. *J Electromyogr Kinesiol*. 2011;21(6):954-9.
14. Calatayud J, Borreani S, Colado JC, Martin F, Tella V, Andersen LL. Bench press and push-up at comparable levels of muscle activity results in similar strength gains. *J Strength Cond Res*. 2015; 29(1):246-53.
15. Colado JC, Garcia-Masso X, Triplett TN, Flandez J, Borreani S, Tella V. Concurrent validation of the OMNI-resistance exercise scale of perceived exertion with Thera-band resistance bands. *J Strength Cond Res*. 2012;26(11):3018-24.
16. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol*. 2000;10(5):361-74.
17. De Luca, CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. *J Appl Biom*. 1997;13:135-63.
18. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*. 2002;93(4):1318-26.
19. Lindstrom L, Petersen I. Power spectrum analysis of EMG signals and its application. In: Desmedt JE, editor. Computer-aided electromyography: progress in clinical neurophysiology. Basel: Karger; 1970. v.10.
20. De Luca CJ. Physiology and mathematics of myoelectric signal. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1979;26(6):313-25.
21. Sundstrup E, Jakobsen MD, Andersen CH, Zebis MK, Mortensen OS, Andersen LL. Muscle activation strategies during strength training with heavy loading vs repetitions to failure. *J Strength Cond Res*. 2012;26(7):1897-903.
22. Jakobsen MD, Sundstrup E, Andersen CH, Aagaard P, Andersen LL. Muscle activity during leg strengthening exercise using free weights and elastic resistance: effects of ballistic vs controlled contractions. *Hum Mov Sci*. 2013;32(1):65-78.
23. Stone MH, Collins D, Plisk S, Haff G, Stone ME. Training principles: Evaluation of modes and methods of resistance training. *Strength Cond J*. 2000;22(3):65-76.