

Artigo original

Determinação do limiar de fadiga eletromiográfico obtido por protocolo fatigante e protocolo fixo de 30 segundos para o músculo longuíssimo do tórax

Electromyographic fatigue threshold identification obtained by means of a fatiguing protocol and a 30 seconds protocol to the longissimus thoracis muscle

Adalgiso Coscrato Cardozo, D.Sc.*, Mauro Gonçalves, D.Sc.**

.....
**Professor, Laboratório de Biomecânica, Departamento de Ciências da Saúde, UNIFESP, Baixada Santista, **Laboratório de Biomecânica, Departamento de Educação Física, Inst. Biociências, UNESP Rio Claro*

Resumo

O presente estudo tem por objetivo comparar o limiar de fadiga eletromiográfico (EMG_{LF}) do músculo longuíssimo do tórax obtido durante exercício isométrico fatigante com o limiar obtido durante os primeiros 30 segundos do teste. Participaram deste estudo 20 voluntários do gênero masculino. Para a captação dos sinais eletromiográficos foram utilizados eletrodos de superfície bipolares passivos de Ag/AgCl dispostos sobre os músculos longuíssimo do tórax direito e esquerdo, no nível da vértebra L1 a 3 cm lateralmente, com distância inter-eletrodos de 3 cm. Os resultados demonstraram não haver diferenças significativas entre os limiares, indicando que é possível a identificação do EMG_{LF} pelo protocolo de 30 segundos para o músculo longuíssimo do tórax. Desta forma, futuros estudos devem ser realizados sobre este protocolo para avaliar indivíduos portadores de dor lombar para verificar se esta otimização minimizaria as interferências de fatores subjetivos.

Palavras-chave: biomecânica, eletromiografia, coluna, limiar de fadiga eletromiográfico.

Abstract

The objective of the present study was to compare the electromyographic fatigue threshold (EMG_{FT}) of the longissimus thoracis muscle obtained by means of a fatiguing test with the threshold obtained during the first 30 seconds of test. Twenty (20) male subjects participated to this study. To capture the electromyographic signs it was used bipolar passive surface electrodes (Ag/AgCl) placed over the longissimus muscle of thoracis left and right side, 3 cm lateral at L1, with an inter-electrode distance of 3 cm. The results showed that there is no difference between the thresholds, indicating that it is possible the identification of the EMG_{FT} by means of 30 seconds protocol to the longissimus thoracis muscle. Further studies should be conducted about this protocol to evaluate low back pain patients to verify if this protocol could minimize subjective factors.

Key-words: biomechanics, electromyography, spine, electromyographic fatigue threshold.

Recebido em 8 de novembro de 2008; aceito em 16 de julho de 2009.

Endereço para correspondência: Adalgiso Coscrato Cardozo, Departamento de Ciências da Saúde, Universidade Federal de São Paulo, Campus Baixada Santista, Av. Ana Costa, 95 Vila Mathias 11060-001 Santos SP, Tel: (13) 9149-8919, E-mail: adalgiso.cardozo@unifesp.br

Introdução

Acessar a capacidade de resistência de músculos da coluna lombar apresenta-se hoje como uma alternativa para identificar fatores de risco para o desenvolvimento de problemas lombares [1]. Como o aumento da fadigabilidade destes músculos está associado à presença de dor lombar [2], monitorar o processo de fadiga e de se obter um índice que represente este processo se torna de extrema importância.

Uma maneira de se observar o processo de fadiga muscular localizada pela eletromiografia é a utilização do valor RMS como indicador da variação da atividade muscular, tanto na frequência de disparo como na amplitude, pois este valor está diretamente ligado ao comportamento das unidades motoras captadas.

Em contrações isométricas ocorre um aumento da atividade EMG à medida que aumenta a tensão muscular [3], porém esta mudança depende da carga [4], do comprimento muscular [5] e da temperatura muscular [6].

A atividade EMG do músculo aumenta com o tempo de execução do exercício como resultado do processo de fadiga muscular. Prova disto são estudos de Viitasalo *et al.* [7] os quais verificaram que se o músculo entra em processo de fadiga rapidamente com cargas em torno de 30 a 40% da CIVM, a atividade EMG em função do tempo produz curvas exponenciais, de início com poucas mudanças e um final com rápidas mudanças, com um longo período de linearidade.

DeVries *et al.* [8] propuseram um método para determinar um indicador, o qual denominaram limiar de fadiga eletromiográfico (EMG_{LF}), no qual os voluntários tinham que pedalar em determinadas cargas até a exaustão, e os sinais eram coletados, no músculo quadríceps, em períodos de 10 s. Este foi comparado com a potência crítica e com o limiar anaeróbio, e verificou-se que não houve diferença significativa entre os valores do EMG_{LF} e o limiar anaeróbio, porém o EMG_{LF} foi maior que a potência crítica.

Pavlat *et al.* [9], em um protocolo adaptado de DeVries *et al.* [8], propuseram uma metodologia para a determinação do EMG_{LF} na qual realizaram cargas preditivas com duração fixa de um minuto, e com duração de cinco segundos cada coleta. Por meio deste protocolo os autores puderam determinar o EMG_{LF} com a vantagem de cada carga ser realizada por um curto período de tempo e não até a exaustão, otimizando assim o teste de DeVries *et al.* [8].

Outros autores que estudaram o EMG_{LF} foram Matsumoto, Ito e Moritani [3], que, com a utilização de um cicloergômetro, avaliaram o músculo quadríceps por meio de cargas de 200 W, 250 W, 300 W e 350 W. Neste estudo os autores compararam o EMG_{LF} com o limiar anaeróbio e verificaram uma elevada correlação entre eles, porém os valores encontrados para o EMG_{LF} foram maiores que os encontrados no limiar anaeróbio, mostrando, portanto, uma superestimativa da capacidade física avaliada pelo EMG_{LF} .

Moritani, Takaishi e Matsumoto [4] utilizaram diferentes cargas em homens (275 W, 300 W, 350 W, 400 W) e em mulheres (200 W, 250 W, 300 W, 350 W) para determinar o EMG_{LF} durante teste em um cicloergômetro. O EMG_{LF} obtido dos sinais eletromiográficos do músculo quadríceps foi, em média, 286 W e o tempo de exaustão de 250s. Após obtenção do EMG_{LF} , os voluntários realizaram um teste até a exaustão na carga do EMG_{LF} e foi verificado que o EMG_{LF} não pode ser sustentado sem evidência de fadiga.

Neste sentido, Pavlat *et al.* [9] realizaram um teste e re-teste em homens, com cargas de 300 W, 350 W, 375 W e 400 W, no cicloergômetro, e os sinais EMG foram obtidos no músculo vasto lateral. Verificou-se um índice de correlação de 0,65 entre o teste e o re-teste, não havendo diferenças significativas entre eles.

Cardozo e Gonçalves [10] propuseram uma adaptação do teste de DeVries *et al.* [8] para a determinação do EMG_{LF} para os músculos eretores da espinha. Os voluntários realizaram quatro testes até a exaustão com cargas de 30%, 40%, 50% e 60% da CIVM, durante as quais foram realizadas as coletas do sinal eletromiográfico no nível L1. Verificou-se, por meio deste protocolo adaptado, que é possível a determinação do EMG_{LF} para os músculos lombares. Porém esta determinação ocorreu por meio de protocolo realizado até a exaustão, o que o tornaria de difícil execução em pacientes que possuem um quadro clínico de dor lombar, uma vez que os mesmos são mais influenciados por fatores subjetivos passíveis de interferência nos resultados de testes de resistência isométrica [11].

Na continuidade em otimizar ainda mais a obtenção do EMG_{LF} o presente estudo tem por objetivo comparar o limiar de fadiga eletromiográfico do músculo longuíssimo do tórax obtido durante exercício isométrico fatigante com o limiar obtido durante os primeiros 30 segundos do teste.

Material e métodos

Características da amostra

Participaram deste estudo 20 voluntários do gênero masculino, sem antecedentes de doenças músculo-esqueléticas, com médias e desvios padrão da idade, altura e peso de 21,35 ± 2,35 anos, 176,30 ± 5,54 cm, e 72,91 ± 9,33 kg respectivamente. Antecipadamente ao experimento os voluntários foram orientados sobre as atividades a serem realizadas e assinaram um termo de consentimento em submeter-se às mesmas. O presente estudo foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa local.

Eletródos e localização para captação dos sinais

Para a captação dos sinais eletromiográficos foram utilizados eletrodos de superfície bipolares passivos de Ag/

AgCl da marca Meditrace, de 3 cm de diâmetro e com área efetiva de captação de 1 cm de diâmetro. Os eletrodos foram dispostos sobre os músculos longuíssimo do tórax direito (LT-D) e esquerdo (LT-E), no nível da vértebra L1 e 3 cm lateralmente. A distância inter-eletrodos foi de 3 cm e sua localização seguiu as indicações de Roy, DeLuca e Casavant [12].

Os pontos de colocação dos eletrodos foram marcados na pele dos voluntários por uma caneta demográfica de modo que possibilitasse sua recolocação durante os dias de teste.

Para evitar possíveis interferências na captação do sinal eletromiográfico, realizou-se, previamente à colocação dos eletrodos, tricotomia, abrasão com lixa fina e limpeza da pele com álcool no nível dos músculos estudados bem como na região do punho direito. O eletrodo de referência foi colocado no processo estilóide da ulna. Anteriormente ao início das coletas, os valores de atividade EMG estavam inferiores a 5 μ V.

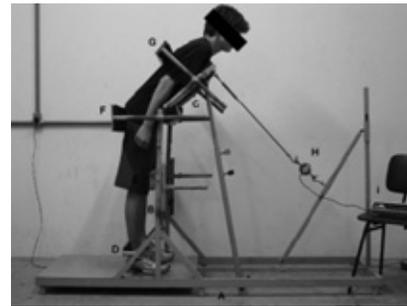
Módulo de aquisição de sinais biológicos

Foi utilizado um módulo de aquisição de sinais biológicos (Lynx) de quatro canais, no qual foram conectados os eletrodos, configurado com o ganho em 1000 vezes, o filtro de passa alta em 20 Hz e o filtro de passa baixa em 500 Hz. A conversão dos sinais analógicos para digitais foi realizada por uma placa A/D com faixa de entrada de -5 a +5 Volts (CAD 1026-Lynx®). Para a aquisição dos sinais foi utilizado um software específico (Aqdados-Lynx®) configurado para uma frequência de amostragem de 1000 Hz. O sistema possui uma razão de rejeição de modo comum maior que 80 dB. Para evitar a interferência da rede local no registro EMG foi utilizado um filtro notch de 60 Hz.

Equipamento para a realização do teste

O teste foi realizado no equipamento *M.A. Isostation 2001* (Figura 1), cujas medidas são: 2m de base (a); 1m (regulável) do apoio da base do pé até o apoio anterior na espinha ilíaca ântero-superior (b); 0.5 m (regulável) do apoio na espinha ilíaca ântero-superior até o apoio anterior do tronco (c). Este equipamento também proporciona um apoio horizontal na parte posterior dos tornozelos de 0.48 m de comprimento (d), um apoio horizontal na parte anterior dos joelhos de 0.60 m de comprimento (e), um apoio horizontal na parte posterior dos quadris de 0.67 m de comprimento (f) e um apoio horizontal na parte posterior do tronco de 0.65 m de comprimento (g), local no qual será aplicada a força do voluntário para a execução das contrações isométricas. Uma célula de carga (Kratos®-MM200kgf) foi acoplada perpendicular ao tronco do voluntário (h) e um indicador digital (Kratos®-IK-14A) promoveu um retorno visual aos voluntários para que estes pudessem controlar a carga a ser tracionada durante o teste (i).

Figura 1 - Equipamento MA Isostation 2001.

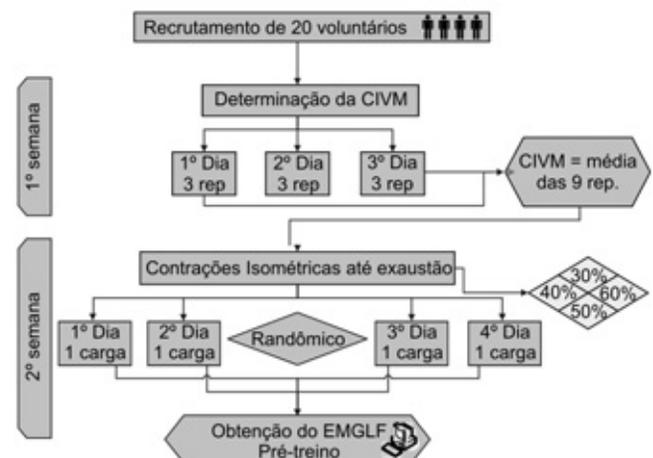


Experimento

Inicialmente foi determinada a CIVM de cada voluntário. Esta foi realizada em três dias de teste com um intervalo mínimo de 24 horas e máximo de 48 horas entre cada dia. Em cada um dos dias foram realizadas três contrações voluntárias máximas com cinco segundos de duração e com um intervalo de três minutos entre elas. A partir dos resultados obtidos foi realizada a média dos nove valores correspondentes à força de tração na célula de carga, sendo esta definida como a CIVM.

O teste de contração isométrica até a exaustão, ou seja, realizar a contração isométrica até o momento de incapacidade de manutenção da contração voluntária na carga estipulada [13], consistiu na execução de testes em 4 diferentes níveis de contração voluntária submáxima, a saber: 30%, 40%, 50% e 60% da CIVM. A ordem das cargas foi apresentada aleatoriamente. Foi estabelecido um intervalo mínimo de 24 horas entre cada teste e anteriormente a realização de cada teste foi realizada uma CIVM para a posterior normalização dos dados. Durante cada contração isométrica foram mensurados simultaneamente a atividade eletromiográfica dos músculos selecionados e o valor da força aplicada na célula de carga do M.A. Isostation 2001. O abaixamento do tronco e a variação em 5% sem retorno à carga estipulada após cinco segundos foram os critérios adotados para o encerramento do teste. A descrição do experimento completo está apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos experimentais.



Determinação das variáveis de estudo

Para a análise dos sinais EMG foram utilizadas rotinas específicas em ambiente MatLab (MathWorks®). Neste *software* foi obtida a atividade EMG dos músculos selecionados durante o teste de contração isométrica até a exaustão, para a determinação dos valores de RMS em pacotes de 1s a cada 0.5s (*overlap*).

Antes do cálculo da RMS foi retirada a média do sinal para evitar possíveis erros de interpretação do mesmo. O valor da RMS matematicamente é definido como a raiz quadrada da média dos quadrados dos valores instantâneos do sinal.

$$\text{Valor (RMS)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt}$$

Onde:
 $x(t)$ - sinal variante no tempo
 T - período de duração do sinal

Determinação do EMG_{LF}

Todos os valores de RMS foram correlacionados com o tempo de exaustão dentro de cada uma das quatro porcentagens de carga obtendo-se assim os interceptos (Valores Iniciais) e os coeficientes angulares (Slopes). Quando os Slopes foram correlacionados com as respectivas cargas, obteve-se o EMG_{LF} representado pelo intercepto [10]. Este mesmo procedimento foi realizado com os valores de RMS obtidos durante os primeiros 30 segundos de contração em cada carga para a obtenção do EMG_{LF-30} . Os valores iniciais de cada variável foram normalizados pela CIVM realizada no dia de cada teste.

Forma de análise dos resultados

Para as comparações entre os valores iniciais de exaustão e valores iniciais de 30s, entre os slopes de exaustão e slopes de 30s e entre EMG_{LF} e EMG_{LF-30} foi utilizado o teste t de *student* para amostras dependentes, com nível de significância menor que 0.05.

Resultados

O tempo até a exaustão foi de 132 ± 34 s, 101 ± 30 s, 74 ± 21 s e 52 ± 19 s para as cargas de 30%, 40%, 50% e 60% respectivamente. Os valores de RMS foram correlacionados com o tempo de execução para obter-se as retas de regressão linear tanto do protocolo até a exaustão quanto do protocolo de 30 segundos. A Figura 3 apresenta um exemplo destas retas nos dois protocolos.

Analisados os valores iniciais foram encontradas diferenças significativas entre os valores obtidos da exaustão e os valores obtidos de 30 segundos nas cargas de 40% e 50% da CIVM para o músculo longuíssimo do tórax do lado direito, e entre os valores obtidos da exaustão e os valores obtidos de 30 segundos nas cargas de 30%, 40% e 50% da CIVM para o músculo longuíssimo do tórax do lado esquerdo, sendo que os valores obtidos da exaustão se apresentaram maiores (Figura 4).

Figura 3 - Exemplo de Retas de Regressão Linear entre as correlações da RMS e o tempo de execução dos protocolos de exaustão e de 30 segundos.

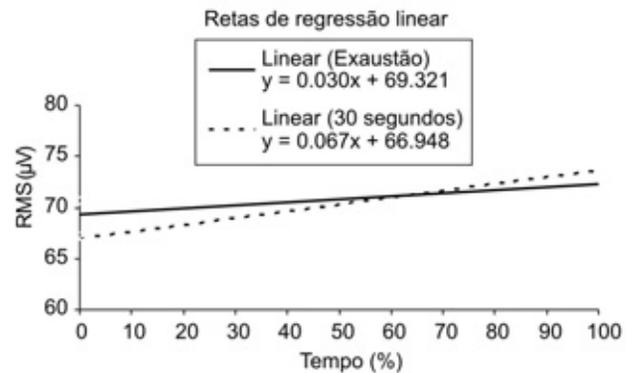
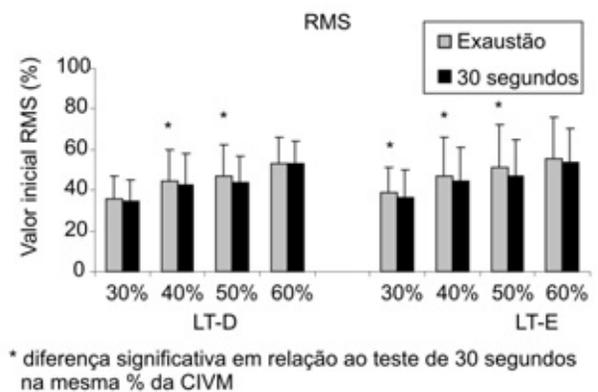
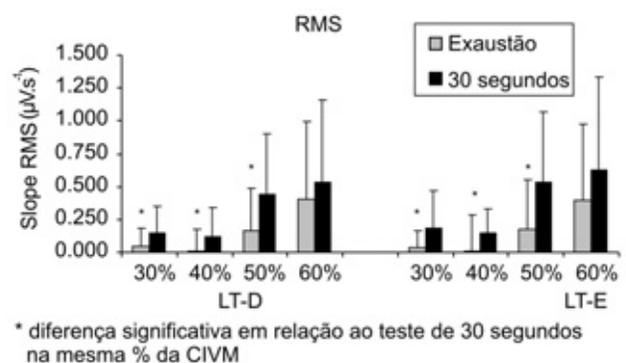


Figura 4 - Médias e desvios padrão dos Valores Iniciais de RMS nas cargas de 30%, 40%, 50% e 60% da CIVM para os protocolos de exaustão e 30 segundos.



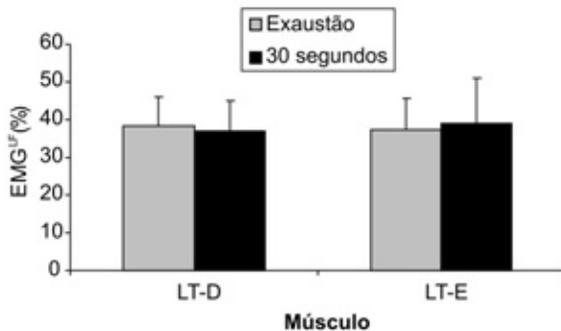
Quanto aos Slopes foram encontradas diferenças significativas entre os valores obtidos da exaustão e os valores obtidos de 30 segundos nas cargas de 30%, 40% e 50% da CIVM para o músculo longuíssimo do tórax bilateralmente, onde os valores obtidos do protocolo de 30 segundos se apresentaram maiores (Figura 5).

Figura 5 - Médias e desvios padrão dos Slopes de RMS nas cargas de 30%, 40%, 50% e 60% da CIVM para os protocolos de exaustão e 30 segundos.



Para o EMG_{LF} não foram encontradas diferenças significativas entre o limiar obtido pelo protocolo de exaustão com o limiar obtido pelo protocolo de 30 segundos. Este comportamento ocorreu bilateralmente (Figura 6).

Figura 6 - Médias e desvios padrão dos EMG_{LF} para os protocolos de exaustão e 30 segundos.



Discussão

O presente estudo visa determinar o EMG_{LF} por meio de protocolo de 30 segundos, seguindo o protocolo desenvolvido por Cardozo e Gonçalves. Neste protocolo, bem como no protocolo do presente estudo, foi utilizada a técnica de regressão linear para descrever mudanças nos parâmetros EMG [14-20]. Esta tem a grande vantagem de se obter o valor inicial e o slope, os quais podem ser utilizados para análise da fadiga muscular localizada [12,16,21-23], além de possibilitar a determinação do EMG_{LF} .

A verificação da fadiga por meio de protocolo fixo de 30 segundos se torna uma vantagem, particularmente na avaliação de pacientes com dor lombar os quais são mais influenciados por fatores subjetivos, que podem interferir nos resultados de testes de fadiga muscular localizada [11].

Com o protocolo proposto é possível afirmar que tanto o teste até a exaustão quanto o teste de 30 segundos foram capazes de induzir a fadiga, uma vez que ocorreu um aumento dos valores de RMS em função do tempo para todas as cargas bilateralmente para o músculo longuíssimo do tórax [10,11,24,25].

Pela análise dos valores iniciais foi possível detectar que eles são menores para o protocolo de 30 segundos. Este comportamento ocorre, pois os valores iniciais são obtidos pelo intercepto da reta de regressão linear [12,18,19,22,26,27] e estão diretamente relacionados com a inclinação da reta, ou seja, com os slopes. Como estes são maiores no protocolo de 30 segundos isto faz com que os interceptos das retas sejam menores.

Os slopes se apresentaram maiores para o protocolo de 30 segundos em função do comportamento dos valores da RMS com o desenvolver do exercício fatigante. Isto é explicado pelo rápido aumento no início do exercício resultante da maior taxa de sincronização e do aumento dos disparos das unidades motoras [10,20]. Quando atingido um limite destas estratégias para a manutenção da contração, a atividade EMG

diminui, em função agora da redução da taxa de disparo das unidades motoras e da utilização de músculos sinergistas para a continuidade do exercício [11,28,29], fazendo com que os slopes sejam menores.

Para a carga de 60% da CIVM não foram encontradas diferenças significativas entre o protocolo de exaustão e o protocolo de 30 segundos tanto para os valores iniciais quanto para os slopes, pois o tempo até a exaustão nesta carga ficou próximo dos 30 segundos de teste, tornando-os semelhantes.

Mesmo tendo sido encontradas diferenças nos slopes entre os protocolos, isto não influenciou a obtenção do EMG_{LF} uma vez que seus valores são semelhantes.

No presente estudo foi possível determinar o EMG_{LF} pelo protocolo de 30 segundos, o que o torna mais otimizado e oferece uma possibilidade de ser utilizado para a avaliação de pacientes com problemas lombares, uma vez que os mesmos são mais influenciados por fatores subjetivos passíveis de interferência nos resultados em testes que são conduzidos até a exaustão [11].

Conclusão

Com base nos resultados obtidos no presente estudo pode-se afirmar que é possível a identificação da fadiga muscular localizada por meio de protocolo de teste de 30 segundos e assim como o EMG_{LF} para o músculo longuíssimo do tórax. Desta forma, futuros estudos devem ser realizados sobre este protocolo aplicado em indivíduos portadores de dor lombar para verificar se esta otimização minimizaria as interferências de fatores subjetivos.

Agradecimentos

Fundunesp – Fundação para o Desenvolvimento da UNESP (Processos 076/90-DFP e 384/90-DPE); Fapesp – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo 04/01070-3).

Referências

1. Koumantakis GA. Paraspinal muscles EMG fatigue testing with two methods in healthy volunteers. Reliability in context of clinical application. Clin Biomech 2001;16:263-6.
2. Deluca CJ. Use of surface EMG signal for performance evaluation of back muscles. Muscle Nerve 1993;16:210-6.
3. Matsumoto T, Ito K, Moritani T. The relationship between anaerobic threshold and electromyographic fatigue threshold in college women. Eur J Appl Physiol 1991;63:1-5.
4. Moritani T, Takaishi T, Matsumoto T. Determination of maximal power output at neuromuscular fatigue threshold. J Appl Physiol 1993;74:1729-34.
5. Bazy AR, Kortjen JB, Haddad GG. Increase in electromyogram low-frequency power in non fatigued contracting skeletal muscle. J Appl Physiol 1986;61: 1012-7.

6. Petrofsky J, Lind AL. The influence of temperature on the amplitude and frequency components of the EMG during brief and sustained isometric contractions. *Eur J Appl Physiol* 1980;44:189-200.
7. Viitasalo JT, Luftanen P, Rahkila P, Rusko H. Electromyographic activity related to aerobic and anaerobic threshold in ergometer bicycling. *Acta Physiol Scand* 1985;124:287-93.
8. Devries HA, Moritani T, Nagata A, Magnussen K. The relation between critical power and neuromuscular fatigue as estimative from electromyographic data. *Ergonomics* 1982;25:783-91.
9. Pavlat DJ, Housh TJ, Johnson GO, Schmidt RJ, Eckerson JM. An examination of the electromyographic fatigue threshold test. *Eur J Appl Physiol* 1993;67:305-8.
10. Cardozo AC, Gonçalves M. Electromyographic fatigue threshold of erector spinae muscle induced by muscular endurance test in health men. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2003;43:377-80.
11. Barbosa FSS, Gonçalves M. Comparação de protocolos eletromiográficos utilizados para a identificação de sobrecarga na coluna vertebral. *Rev Bras Biomec* 2005;10:27-33.
12. Roy SH, DeLuca C, Casavant D. Lumbar muscle fatigue and chronic low back pain. *Spine* 1989;14: 992-1001.
13. Edwards RH. Human muscle function and fatigue. *Ciba Found Symp* 1981;82: 1-18.
14. Dolan P, Mannion AF, Adams MA. Fatigue of the erector spinae muscles. A quantitative assessment using "frequency banding" of the surface electromyography signal. *J Biomech* 1995;20:149-59.
15. Larivière C, Gravel D, Arseneault AB, Gagnon D, Loisel P. Muscle recovery from a short fatigue test and consequence on the reliability of EMG indices of fatigue. *Eur J Appl Physiol* 2003;89:171-6.
16. Mannion AF, Connolly B, Wood K, Dolan P. The use of surface EMG power spectral analysis in the evaluation of back muscle function. *J Rehabil Res Dev* 1997; 34: 427-39.
17. Nargol AVE, Jones AP, Kelly PJ, Greenough CG. Factors in the reproducibility of electromyographic power spectrum analysis of lumbar paraspinal muscle fatigue. *Spine* 1999;24(9):883-8.
18. Peach JP, Gunning J, McGill SM. Reliability of spectral EMG parameters of health back extensors during submaximum isometric fatiguing contractions and recovery. *Spine* 1998;8:403-10.
19. Sparto PJ, Parnianpour M, Reinsel TE, Simon S. Spectral and temporal responses of trunk extensor electromyography to an isometric endurance test. *Spine* 1997;22:418-26.
20. Tsuboi T, Satou T, Egawa K, Izumi Y, Miyazaki M. Spectral analysis of electromyogram in lumbar muscles: fatigue induced endurance contractions. *Eur J Appl Occup Physiol* 1994;69:361-6.
21. Oliver CW, Tillotson KM, Jones AP, Royal RA, Greenough CG. Reproducibility of lumbar paraspinal surface electromyogram power spectra. *Clin Biomech* 1996;11:317-21.
22. Thompson DA, Biedermann HJ. Electromyographic power spectrum analysis of the paraspinal muscles. Long-term reliability. *Spine* 1993;18:2310-3.
23. Biedermann HJ, Shanks GL, Forrest WJ, Inglis J. Power spectrum analyses of electromyographic activity: discriminators in the differential assessment of patients with chronic low back pain. *Spine* 1991;16:1179-84.
24. Basmajian JV, DeLuca CJ. *Muscle alive: their functions revealed by electromyography*. Baltimore: Williams e Wilkins; 1985.
25. Milner-Brown HS, Mellenthin M, Miller RG. Quantifying human muscle strength, endurance and fatigue. *Arch Phys Med Rehabil* 1986;67:530-5.
26. Dederling A, Nemeth G, Harms-Ringdahl K. Correlation between electromyographic spectral changes and subjective assessment of lumbar muscle fatigue in subjects without pain from the lower back. *Clin Biomech* 1999; 14:103-11.
27. Ng JK, Richardson CA, Jull GA. Electromyographic amplitude and frequency changes in the iliocostalis lumborum and multifidus muscles during a trunk holding test. *Phys Ther* 1997;77:954-61.
28. Clark BC, Manini TM, Ploutz-Snyder LL. Derecruitment of the lumbar musculature with fatiguing trunk extension exercise. *Spine* 2003;28:282-7.
29. Seidel H, Beyer H, Brauer D. Electromyographic evaluation of back muscle fatigue with repeated sustained contractions of different strengths. *Eur J Appl Occup Physiol* 1987;56:592-602.