

Estudo Sobre Procedimentos de Normalização do Sinal Eletromiográfico Durante o Movimento Humano

U.F. Ervilha¹, M. Duarte² e A.C. Amadio²

¹ Bolsista FAPESP, Processo nº 962961-0 (EEFEUSP)

² Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Recebido: 28.07.97; Aceito: 03.06.98

Resumo: A normalização da amplitude do sinal eletromiográfico tem sido descrita na literatura científica como crucial para comparações entre diferentes sujeitos, dias de medida, músculos ou estudos. Já que um valor de referência comum facilitaria a comparação entre diferentes estudos, esforços têm sido feitos para selecionar o melhor critério. Simplificadamente, o presente estudo consiste no registro do sinal eletromiográfico dos músculos *m. vastus medialis*, *m. gastrocnemius lateralis* e *m. tibialis anterior* de dez coletas realizadas em dez indivíduos saudáveis, durante a passada completa do andar humano e a normalização deste sinal por um outro valor do sinal eletromiográfico através de três procedimentos distintos, a saber: 1) normalização pela média do sinal eletromiográfico durante uma passada 2) pelo pico do mesmo sinal e 3) normalização pelo valor máximo do sinal eletromiográfico durante uma contração isométrica voluntária máxima. Para se fazer a comparação entre os três procedimentos de normalização e o sinal não normalizado, utilizou-se o coeficiente de variabilidade obtido através da divisão do desvio padrão pela média. Os resultados mostraram uma variabilidade média da intensidade do sinal eletromiográfico para os valores não normalizados de 146%, 134% para os valores normalizados pela contração isométrica voluntária máxima e 57% e 50% respectivamente para os sinais normalizados pelo pico e pela média do sinal. Estes resultados permitem concluir que o sinal eletromiográfico tem que ser normalizado para que se possa comparar valores obtidos de diferentes sujeitos e em dias diferentes e que o valor médio ou o pico da amplitude do sinal obtido em tarefas cíclicas mostram-se valores adequados para este procedimento.

Palavras-Chave: normalização, eletromiografia

Abstract: The normalization of the electromyographic amplitude (EMG) signal has been described in the scientific literature as crucial for comparisons between different subjects, measuring days, muscles or studies. Given that a common reference value facilitates the comparison between different studies, efforts have been made to select the best criterion. Essentially, in the present study we recorded the EMG signal of the *m. vastus medialis*, *m. gastrocnemius lateralis* and *m. tibialis anterior* of ten samples from ten healthy individuals, during a complete stride. We then normalized this signal in three ways: 1) by using the mean EMG signal during one stride 2) by using the peak of the EMG signal and 3) by using the maximum value during one maximal voluntary isometric contraction (MVIC). To make a comparison between the three normalization procedures and the non-normalized signal, we used the coefficient of variability obtained by dividing the standard deviation by the mean. The results showed a mean variability in the intensity of the EMG signal for the non-normalized values of 146%, 134% for values normalized by the MVIC and 57% and 50% respectively for the signals normalized by the peak and mean signals. These results allow us to conclude that the EMG signal must be normalized to compare values obtained from different subjects and on different days and that the mean or peak values of the amplitude signal obtained in cyclical tasks seem to be adequate for this procedure.

Keywords: normalization, electromyography

Introdução

O sinal eletromiográfico (EMG) de superfície tem sido utilizado para se estimar padrões de atividade dos músculos envolvidos na marcha humana normal e patológica desde meados do século XX¹. No entanto, há muitas dificuldades em se estabelecer o que é padrão normal de intensidade do sinal EMG do que passa a ser caracterizado como padrão patológico de intensidade do sinal EMG, sendo a grande variabilidade do sinal EMG de indivíduos saudáveis, um dos maiores obstáculos para se estabelecer um padrão normal^{2,3}.

A normalização do sinal EMG tem sido descrita na literatura científica como crucial para comparações entre diferentes sujeitos, dias de medida, músculos ou estudos⁴ e existem vários procedimentos de normalização do sinal EMG⁵. Genericamente, normalizar um sinal significa uma tentativa de minimizar as diferenças entre diferentes indivíduos, tornando-se necessária para se fazer tais comparações⁴.

Na prática, diversas variáveis influenciam o sinal eletromiográfico, como por exemplo colocação dos eletrodos, espessura do tecido adiposo, temperatura da pele e outras; e diversos fatores de normalização têm sido propostos na literatura⁵⁻⁹, porém, nenhum procedimento de normalização é capaz de eliminar todas estas variáveis intervenientes. Já que um valor de referência comum facilitaria a comparação entre diferentes estudos, esforços têm sido feitos para selecionar o melhor critério²⁻⁴.

Embora alguns trabalhos utilizem um valor do sinal EMG adquirido em uma contração isométrica voluntária máxima (CVMI) como procedimento de normalização, na última década investigadores têm sugerido a normalização por outros valores, particularmente quando o evento de interesse é dinâmico e não estático⁵.

Sugestões para outros valores têm incluído o uso de uma porcentagem do pico do sinal EMG adquirido durante uma CVMI, o pico do sinal adquirido durante uma atividade dinâmica ou a média do sinal EMG adquirido durante uma atividade dinâmica^{10,11}.

Pelo fato de o uso de um valor comum facilitar comparações entre diferentes estudos, esforços têm sido feitos para a seleção do melhor procedimento de normalização^{5,6,8-10}.

O objetivo do presente estudo foi determinar o efeito de três métodos de normalização da intensidade do sinal EMG na variabilidade, determinando desta forma qual dos três métodos é o mais indicado para a análise do sinal EMG adquirido durante uma atividade dinâmica.

Material e Métodos

Dentre os vários procedimentos de normalização utilizados, três dos mais referidos na literatura foram compara-

dos com o sinal não normalizado². São eles: normalização pela média do sinal EMG durante uma passada, normalização pelo pico do mesmo sinal e normalização pelo valor máximo do sinal EMG durante uma CVMI.

Para o estudo dos procedimentos de normalização, a tarefa analisada foi o andar humano e para o registro da temporização do ciclo completo do andar utilizou-se de sinal obtido através de duas plataformas de força de reação do solo sincronizadas e dispostas em série, sobre as quais os sujeitos em teste realizaram a marcha. O intervalo correspondente à passagem do sujeito pelas duas plataformas de força foi analisado e inicia-se com o contato do pé dominante sobre a primeira plataforma e termina com o primeiro contato deste mesmo pé com a segunda plataforma.

Amostra experimental

Constituiu-se em amostra populacional 10 (dez) voluntários adultos com idade entre 20 e 24 anos, sem disfunções neuromusculares. Os sujeitos foram previamente comunicados sobre os procedimentos experimentais a serem adotados e consentiram verbalmente em participar do experimento. Cada sujeito repetiu a mesma tarefa 10 vezes.

Eletromiografia

Para o registro do sinal EMG a Sociedade Internacional de Eletrofisiologia Cinesiológica (ISEK) tem estabelecido recomendações relativas ao emprego da eletromiografia⁵. Tais recomendações e padronizações foram respeitadas no desenvolvimento deste estudo e serão descritas a seguir. Todos os registros foram feitos no membro inferior dominante do sujeito.

A superfície da pele sobre a qual foram aderidos os eletrodos foi limpa com uma gaze embebida em álcool. Devido ao uso de eletrodos ativos, com alta impedância de entrada ($10^{12} \Omega$), os efeitos da impedância da interface pele/eletrodo são bastante minimizados⁴.

Eletrodos

Os eletrodos utilizados foram eletrodos ativos diferenciais (Delsys Inc.) compostos por duas barras paralelas de prata pura, cada uma com 1 cm de comprimento, 1 mm de largura e distanciadas 1 cm entre si. Estes eletrodos são acoplados a um molde de poliuretano de 20 mm de largura, por 33 mm de comprimento e 5 mm de espessura, ligado a um cabo de 1 m de comprimento.

O sinal é pré-amplificado no eletrodo diferencial com ganho de 10 e razão do modo comum de rejeição igual a 80 dB; valor descrito na literatura como mínimo para a eletromiografia de superfície^{6,10}.

Eletromiógrafo

Dois eletromiógrafos de dois canais da DELSYS Inc. foram utilizados. Este equipamento opera com uma bateria de 9 V, amplifica linearmente o sinal em 100 vezes, filtra (passa banda de 20 - 450 Hz), possui as saídas coaxiais e pode ser acoplado a um cinto ou à roupa do sujeito. Suas dimensões são de 4 cm de altura, 6,5 cm de largura e 10 cm de comprimento e peso de aproximadamente 230 g.

Colocação dos eletrodos

Os eletrodos foram colocados no sentido longitudinal das fibras do músculo estudado, sendo um colocado sobre o ponto motor - uma vez que ponto motor é definido como sendo o local por onde o nervo periférico penetra no músculo, este passa a ser o local de mais fácil captação e concentração de sinais elétricos⁷ - e o outro distalmente a este (distância de 1 cm), como descrito na literatura⁸. Para a localização dos pontos motores a serem utilizados na captação do sinal eletromiográfico, utilizou-se eletroestimulação com a técnica monopolar, segundo descrito na literatura⁹.

Foram analisadas as atividades elétricas dos seguintes músculos: *m. vastus medialis*, *m. gastrocnemius lateralis* e *m. tibialis anterior*. A escolha destes músculos deu-se em função dos nossos objetivos para o movimento selecionado, mas os procedimentos de normalização são válidos independentemente do músculo sob estudo.

Aquisição do sinal eletromiográfico

Os dados experimentais foram adquiridos sincronizadamente via um conversor analógico/digital (A/D) de 12 bits, (Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda), interfaciado em um computador 386 DX padrão PC/AT, sendo a aquisição gerenciada por um software próprio para aquisição do sinal (programa Aqdados, versão 4.0). Os sinais dos eletromiógrafos e das plataformas de força foram amostrados de forma sincronizada com uma frequência de 1000 Hz, e armazenados para posterior processamento e visualização.

Processamento do sinal

Uma vez amplificado, o sinal EMG deve ser processado para comparação ou correlação com outro sinal EMG. A necessidade de se mudar o sinal EMG bruto para um sinal processado deve-se à dificuldade em se fazer correlações com o sinal EMG bruto em uma análise biomecânica^{6,10}.

Constituiu-se em processamento do sinal: 1) retificação, 2) envoltório linear, 3) normalização na base do tempo, 4) normalização da amplitude do sinal EMG pelo pico do sinal obtido em uma contração isométrica voluntária máxima, pela média do sinal EMG obtido durante a marcha ou pelo pico do sinal EMG obtido durante a marcha e 5) média das curvas.

Retificação do sinal

Retificar a amplitude de um sinal significa obter seus valores absolutos (módulo da amplitude do sinal) (Fig. 1). Este procedimento é imprescindível para torná-lo operável, uma vez que a média dos valores do sinal EMG são sempre próximas do valor zero.

Envoltório linear

Se o sinal EMG retificado é filtrado por um filtro passa-baixa, teremos o que é chamado envoltório linear, como mostrado na Fig. 1, que ilustra em primeiro lugar o sinal retificado. O envoltório linear segue o contorno do sinal EMG e segue também, muito proximamente, o formato da curva de tensão muscular⁴.

A decisão mais importante em relação ao envoltório está relacionada à frequência de corte do filtro passa-baixa. Para a representação da tensão muscular, a frequência comumente usada varia de 2,3 à 8,5 Hz⁶, uma vez que esta é a faixa de frequências do movimento humano, ou seja, a frequência de resposta do aparelho locomotor aos sinais elétricos que excitam os músculos. No presente estudo foi utilizada uma frequência de 3 Hz; isto significa que para uma frequência de aquisição de 1000 Hz, foi usada uma frequência de corte (passa baixa) de 3 Hz, com o intuito de se obter o envoltório linear.

Normalização na base do tempo

Para que se possa comparar os sinais EMG adquiridos em diferentes coletas do mesmo sujeito ou sujeitos diferentes, alguns procedimentos devem ser efetuados: 1) determinação do momento exato do início e do final da passada, 2) Considerar do início ao final da passada como 100% do ciclo e dividir este período em intervalos iguais.

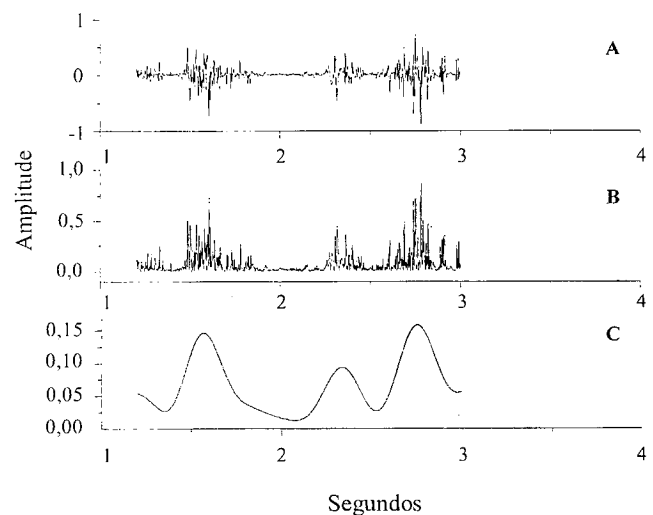


Figura 1. Diagrama esquemático mostrando na seqüência: A) o sinal EMG bruto, B) retificado por onda completa e C) sinal EMG após envoltório linear.

Normalização da amplitude

A normalização da amplitude do sinal EMG por três diferentes métodos e a comparação destes métodos com o sinal EMG não normalizado foi o objetivo deste estudo. Para tanto, aplicou-se os métodos de normalização da amplitude após o sinal bruto ter sido retificado, filtrado digitalmente (envoltória linear) e normalizado na base do tempo.

Média das curvas

Cabe aqui lembrar que todas as figuras foram interpoladas e que o número de pontos no eixo das abscissas é o mesmo para todos e igual a 51. Com os sinais normalizados na base de tempo é feito primeiramente a média das curvas intra-sujeitos, obtendo-se desta forma uma única curva representativa das dez coletas efetuadas em cada sujeito com respectivos desvios padrões. Após este procedimento obtém-se a média e desvio padrão entre os valores médios de cada um dos indivíduos da amostra.

O índice escolhido para calcular a variabilidade foi o coeficiente de variabilidade (CV) que é o quociente entre o desvio padrão e a média

Resultados

Para melhor visualização, os resultados são apresentados na Fig. 2, sendo que a figura representa o padrão de atividade eletromiográfica dos músculos estudados durante uma passada completa (de 0 - 100%), cujos valores resultantes foram obtidos através da média dos valores de 10 coletas efetuadas em cada um dos 10 sujeitos.

Como já mencionado, o coeficiente utilizado para se comparar a variabilidade dos sinais EMG inter sujeitos antes e após normalizá-los por três diferentes procedimentos, foi o coeficiente de variabilidade (CV), cujos valores são apresentados em porcentagem na Fig. 2.

Discussão dos Resultados

Ao analisar o sinal eletromiográfico de um músculo durante determinada tarefa, procura-se o padrão de recrutamento deste músculo; ou seja, procura-se, através das diferentes intensidades alcançadas no decorrer de um período de tempo, determinar seu padrão elétrico de comportamento.

Como previamente descrito, normalizar o sinal eletromiográfico representa uma tentativa de minimizar as diferenças existentes entre os sinais elétricos de diferentes sujeitos, possibilitando desta maneira uma comparação entre os mesmos.

Para o presente estudo, optou-se pela utilização do índice CV como instrumento de comparação dos valores obtidos após normalizados pelos três procedimentos citados e também dos valores não normalizados. Uma vez que o CV é obtido através da razão entre o desvio padrão e a média

dos valores analisados, um CV alto significa um grande desvio padrão, que por sua vez advém de uma baixa reprodutibilidade dos dados.

O fato de os valores dos coeficientes de variabilidade para os sinais eletromiográficos não normalizados terem se apresentado maiores do que os valores para os sinais normalizados, mostra que a normalização da intensidade do sinal EMG diminui diferenças existentes entre os sinais de diferentes indivíduos. Já os coeficientes de variabilidade apresentados após a normalização do sinal pela contração isométrica voluntária máxima apresentaram-se significativamente maiores do que os coeficientes de variabilidade calculados após a normalização pelo pico do sinal EMG e a normalização pela média do sinal EMG durante uma passada completa. Este resultado deve-se provavelmente ao fato de que o sinal adquirido através de uma CVMI é um valor externo ao fenômeno estudado. Além disso, deve-se considerar que o sinal EMG satura quando o indivíduo atinge valores próximos a 35% de sua força máxima¹¹.

As normalizações dos sinais EMG por valores obtidos durante o movimento estudado (a normalização pelo pico ou pela média do sinal EMG durante uma passada) apresentaram-se como os procedimentos mais fáceis de se realizar, pois requerem simples adaptações dos programas de computador empregados e não requerem coletas extras de dados, o que ratifica a sua utilização como importante ferramenta matemática para a análise do sinal, mesmo porque os valores indicativos de variabilidade quando da normalização por estes índices não apresentaram uma diferença significativa, sugerindo que para a análise de um movimento cíclico não há diferença entre um e outro procedimento.

Conclusão

Através da análise dos dados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que:

- Para que se possa fazer comparações do sinal eletromiográfico entre sujeitos, há a necessidade de normalizar previamente o sinal, o que está de acordo com a literatura^{2,3,6,10};
- O procedimento de normalização do sinal EMG pelo valor máximo de uma contração isométrica voluntária máxima apresenta maior coeficiente de variabilidade do que os procedimentos de normalização pela média e pelo pico do sinal EMG, sugerindo ser recomendado normalizar a intensidade do sinal EMG por um desses dois procedimentos e não por aquele;
- Não há diferença significativa entre os procedimentos de normalização pelo pico ou pela média do sinal eletromiográfico.

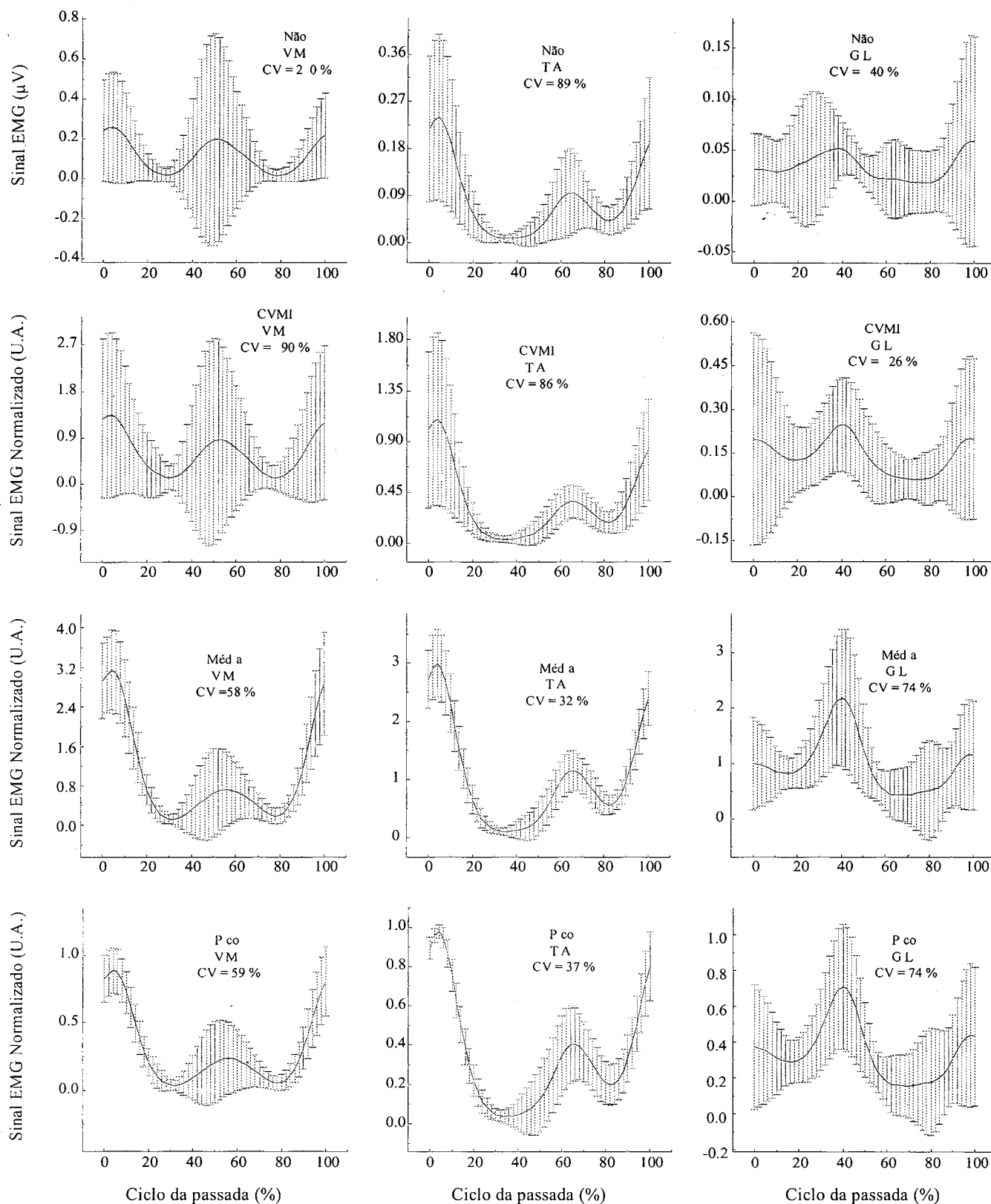


Figura 2. Médias e desvios padrões dos sinais EMG não normalizados (Não), normalizados pelo sinal CVM (CVMI), pela média do sinal (Média) e pelo pico do sinal (Pico) dos músculos: *m. vastus medialis* (VM), *m. tibialis anterior* (TA) e *m. gastrocnemius lateralis* (GL) durante um ciclo da passada (10 coletas de 10 sujeitos, totalizando uma amostra de 100).

Referências

1. Hirshberg, G.G.; Nathanson, M. Electromyographic recording of muscular activity in normal and spastic gaits. **Arch Phys Med Rehabil**, vol (33), 217-225, 1952.
2. Dubo, H.I.C. *et al.* Electromyographic temporal analysis of gait: normal human locomotion. **Arch Phys Med Rehabil** vol (56), 415-420, 1976.
3. Shiavi, R. *et al.* Variability of electromyographic patterns for level-surface walking through a range of self-selected speeds. **Bull Prosthet Res** vol (18), 5-14, 1981.
4. Winter, D.A. The biomechanics and motor control of human gait: Normal, elderly and pathological. 2 ed Waterloo. University of Waterloo Press, 1991. 143p.
5. Knutson, L.M. *et al.* A study of various normalization procedures for within day electromyographic data. **J. Electromyography and Kinesiology**, v.4(1), 47-59, 1995.
6. Mathiassen, S.E.; Winkel, J.; Hagg, G.M. Normalization of Surface EMG Amplitude from the Upper Trapezius Muscle in Ergonomic Studies: A Review. **J. Electromyogr. Kinesiol.** vol (5), 4, 197-226, 1995.
7. Attebrant, M.; Mathiassen, S.E.; Winkel, J. Normalization Upper Trapezius EMG Amplitude: Comparison of Ramp and Constant Force Procedures. vol (5), 4, 245-250, 1995.
8. Shiian, B.; Mathiassen, S.E. c Winkel, J. Normalization Upper Trapezius EMG Amplitude: Comparison of Different Procedures. Vol(5), 4, 251-257, 1995.
9. Yang, J.F.; Winter, D.A. Electromyographic amplitude normalization methods: improving their sensitivity as diagnostic tools in gait analysis. **Arch. Phys. Med. Rehabil**, V.65, 517-521, 1984.
10. Knudson, V.; Johnston, D. Comparison of EMG Normalization Methods in a Sit-to-stand Movement. **Journal of Human Movement Studies**.
11. Winter, D.A. Biomechanics and Motor Control of human movement. 2 ed Ontario: John Wiley & Sons, 1990. 277p.
12. Standards for Reporting EMG Data. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 6 (1), III, 1996.
13. Walthard, K.M.; Tchicaloff, M. Puntos Motores. In: Licht, S. Eletrodiagnóstico y **Electromyografia**. 2^a ed. Barcelona: JIMS, 1970. 163-184.
14. Araujo, R.C.; Sá, M.R.; Amadio, A.C. Estudo sobre as Técnicas de Colocação de Eletrodos para Eletromiografia de Superfície em Músculos do Membro Inferior. Anais do VI Congresso Brasileiro de Biomecânica, Universidade de Brasília, 244-250, 1995.
15. Ervilha, U.F.; Araujo, R.C. Estudo Sobre a Frequência de Distribuição da Cronaxia e a sua Correlação com Distintos Graus de Lesões Nervosas Periféricas. **Rev. Bras. Fisiot**, v. 1(2) 45-50, 1996.
16. Acierno, S.P.; Baratta, R.V.; Solomonow, M. A practical guide to eletromyography for biomechanists. Louisiana State University, 1995.
17. Amadio, A.C.; Duarte, M. (ed.) Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento humano. São Paulo: 1996. 126p.