

Reprodutibilidade da eletromiografia na fadiga muscular durante contração isométrica do músculo quadríceps femoral

Reproducibility of electromyography of muscular fatigue during isometric contraction of the quadriceps muscle

título condensado: EMG na fadiga muscular do quadríceps femoral

Fernanda Ishida Corrêa¹, João Carlos Ferrari Corrêa², José Luiz Martinelli³, Adriano Rodrigues de Oliveira³, Cláudia Santos Oliveira⁴

¹ Fisioterapeuta; doutoranda em Engenharia Biomédica; Profa. MSc do Curso de Fisioterapia, Depto. de Ciências da Saúde do Uninove (Centro Universitário Nove de Julho, SP)

² Fisioterapeuta; Prof. Dr. do Curso de Fisioterapia do Uninove

³ Fisioterapeutas pelo Uninove

⁴ Fisioterapeuta; Profa. Dra. do Curso de Engenharia Biomédica do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Univap (Universidade do Vale do Paraíba, SP)

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA:

João Carlos F. Corrêa

R. Voluntários da Pátria 4280 apto. 81-A Santana

02402-600 São Paulo SP

e-mail: jcorrea@uninove.br

Apresentação: ago. 2005

Aceito para publicação: maio 2006

RESUMO

Visou-se investigar a reprodutibilidade de medições eletromiográficas durante contração isométrica fadigante nos músculos reto femoral, vasto medial e vasto lateral. Dez voluntários saudáveis (cinco homens e cinco mulheres) foram selecionados e avaliados em dois dias (teste e re-teste) com uma semana de intervalo. Os sinais eletromiográficos do reto femoral, vasto medial e vasto lateral foram registrados durante contração sustentada isométrica a 80% da contração isométrica voluntária máxima mantida até a exaustão (considerada quando do decréscimo em 20% dos valores iniciais). A fadiga no mecanismo extensor do quadríceps foi descrita utilizando-se três medidas para a frequência mediana: inicial, final e valor normalizado. Os dados eletromiográficos iniciais, finais e normalizados mostram pouca variação, indicando similaridade entre as medidas; foi constatada alta confiabilidade para os três músculos avaliados. Torna-se evidente, pelo declínio dos valores da frequência mediana, o processo de fadiga muscular, relacionado a mudanças fisiológicas do músculo. Os altos valores do índice de correlação intra-classe encontrados no teste e re-teste indicam a reprodutibilidade da medição da fadiga muscular pela contração sustentada do músculo quadríceps femoral, demonstrando que a metodologia proposta é fidedigna e confiável, permitindo que seja utilizada como base para obtenção de indicadores de fadiga muscular.

Descritores: Eletromiografia; Fadiga muscular; Músculo quadríceps; Reprodutibilidade de testes

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine test-retest reliability of electromyography (EMG) during sustained fatiguing contractions of the quadriceps. Ten healthy subjects (five male, five female) were tested on two days, one week apart. Surface EMG was recorded from rectus femoris, vastus lateralis and vastus medialis during sustained isometric contractions at 80% of maximal voluntary contraction held to exhaustion. Quadriceps fatigue was described using three measures for recorded median frequencies (MDF): initial, final, and normalized. Collected initial, final and normalized values showed little variation, indicating similarity between the measures; high reliability (ICC, Intraclass Correlation Coefficient = 0.60-0.85) was found for all three muscle groups at contraction level. The gradual decline in median frequency values clearly exposes the process of muscle fatigue, related to muscles' physiological changes. The high ICC values found point to reproducibility of measuring muscular fatigue during femoral quadriceps sustained contraction, showing that the proposed methodology is reliable and trustworthy, hence may be used to assess muscular fatigue.

Key words: Electromyography; Muscle fatigue; Quadriceps muscle; Reproducibility of results

INTRODUÇÃO

O termo fadiga descreve uma condição em que um músculo não é mais capaz de gerar ou sustentar a produção de força esperada. A fadiga é altamente variável, e é influenciada pela intensidade e duração da atividade contrátil, pela condição de a fibra muscular estar usando metabolismo aeróbio ou anaeróbio, pela composição do músculo e pelo nível de condicionamento físico do indivíduo¹. A fadiga muscular é considerada um processo fisiológico, causada pela contínua atividade de contração muscular que leva ao aumento da amplitude e duração dos potenciais eletromiográficos, devido aos processos de recrutamento por somação das unidades motoras².

Existem vários métodos para quantificar a fadiga em humanos durante a atividade muscular³. Dentre eles, destaca-se a eletromiografia de superfície (EMG), que é não-invasivo e objetivo para medir o processo fisiológico que ocorre durante a atividade muscular sustentada, aceito e estabelecido para quantificar a fadiga⁴.

A eletromiografia tem sido utilizada para estudar aspectos fisiológicos da atividade muscular. A reprodutibilidade dos parâmetros espectrais do sinal EMG em músculos tem sido analisada por diferentes autores^{3,5-9}, referindo-se à consistência da ferramenta de medida utilizada. Um método reprodutível é aquele que apresenta erro de medida pequeno⁶. A eletromiografia de superfície pode ser influenciada por propriedades fisiológicas, como a característica muscular da fibra, e não-fisiológicas, como o tamanho do eletrodo⁵. Podem ocorrer variações no local de reaplicação do eletrodo e na preparação da pele¹⁰. Assim, é importante estabelecer a reprodutibilidade da medida derivada do sinal EMG para avanços clínicos e de pesquisa, especialmente quando o sinal é utilizado para determinar diferenças na *performance* muscular no tempo em um mesmo indivíduo e em indivíduos diferentes⁵.

Alguns estudos têm testado a reprodutibilidade da eletromiografia para avaliar a fadiga muscular. Mathur *et al.*⁵ avaliaram a fadiga do músculo quadríceps em indivíduos saudáveis durante a contração isométrica com intervalo de uma semana entre cada avaliação. Arnall *et al.*¹¹ avaliaram a fadiga durante contração isométrica do músculo paravertebral com intervalo de três dias entre cada avaliação. Os dois estudos concordam sobre a eficácia da eletromiografia para avaliar a fadiga, porém com o cuidado de sempre manter os mesmos parâmetros, como colocação do eletrodo, preparação da pele, posição do membro e tarefa executada pelo sujeito, pois qualquer mudança em um desses parâmetros pode interferir nos resultados.

Avaliar a reprodutibilidade de diversos parâmetros do sinal EMG pode fornecer informação sobre quais variáveis se modificam em função de intervenções e quais são modificadas pelo acaso.

Assim, este trabalho tem como objetivo investigar a reprodutibilidade na avaliação de medidas eletromiográficas durante contração isométrica fadigante nos músculos reto femoral, vasto medial e vasto lateral, com uma semana de intervalo entre a primeira e a segunda avaliação (teste e re-teste).

METODOLOGIA

Participaram deste estudo dez voluntários adultos jovens e saudáveis, sendo

cinco homens e cinco mulheres, sem história prévia ou associada de doenças cardiorrespiratórias, neuromusculares ou ortopédicas que comprometessem o movimento de extensão do joelho dominante e apresentassem força grau cinco. O experimento foi realizado após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) do Centro Universitário Nove de Julho – Uninove (segundo a resolução CNS 196/96, do Conselho Nacional de Saúde, de 10/10/96). Todos os voluntários foram informados do protocolo de estudo e receberam orientação sobre o procedimento a que seriam submetidos, além de assinarem o Termo de Consentimento livre e esclarecido.

Para garantir homogeneidade na coleta dos dados, foi proposto e realizado o seguinte protocolo: a) verificação da temperatura da sala (aproximadamente 24°), adequada para o funcionamento do equipamento; b) calibrações e configurações dos canais a serem utilizados; c) análise da linha de base em repouso, a fim de constatar o funcionamento e calibração do EMG; d) averiguação da perfeita ordem de todos os materiais complementares à realização da coleta de dados, como fita adesiva, goniômetro, algodão e ficha de controle dos dados.

Durante a coleta dos dados, os voluntários permaneceram sentados em uma cadeira sem encosto, com joelhos fletidos a 60° graus, mãos cruzadas sobre o tórax e tronco ereto. Uma célula de carga, modelo SV-100, com capacidade nominal de 100 Kg, construída de alumínio anodizado, com sensibilidade de $\pm 10\%$ foi fixada ao redor do tornozelo e à cadeira por uma corrente inextensível.

O sistema de aquisição de sinais EMG utilizado consistiu de três pares de eletrodos de superfície do tipo ativo, bipolar e diferencial, utilizado para captação da atividade elétrica dos músculos. O sinal foi pré-amplificado no eletrodo diferencial com ganho de 10 vezes e razão do modo comum de rejeição igual a 80 dB, e uma frequência de amostragem de 2000 Hz. Os dois componentes do sistema de aquisição de sinais foram conectados a um módulo condicionador de sinais, onde os sinais analógicos foram filtrados com filtro passa-banda de 10 Hz a 500 Hz, e amplificados novamente, com um ganho de 100 vezes, totalizando portanto um ganho final de 1000.

Os eletrodos de superfície foram colocados sobre os músculos reto femoral, vasto medial e vasto lateral do membro inferior dominante, a uma distância de 15 cm, 7 cm e 5 cm da patela, respectivamente, acompanhando o sentido longitudinal das fibras musculares. A técnica de localização do ponto motor empregada foi a mesma sugerida por Dainty e Norman¹² que, conforme relatado por Araújo *et al.*¹³, está sujeita a menos erros sistemáticos.

Foi pedido ao voluntário que realizasse três repetições da força máxima de extensão do joelho, obtendo-se uma média. Do produto da força isométrica obtida pelo braço de alavanca, obtivemos o torque médio gerado, do qual se calculou 80%, que seria o valor em que o voluntário deveria manter a contração isométrica do músculo quadríceps femoral até a fadiga, quando o teste era finalizado. O ponto de fadiga das contrações foi determinado quando o torque do voluntário tinha um decréscimo de 20% do nível inicial.

O procedimento foi repetido por todos os voluntários após uma semana de intervalo, no mesmo local e horário onde foi realizada a primeira avaliação.

Para a análise dos dados utilizou-se a média e desvio padrão para descrever o início e final dos valores obtidos; a frequência normalizada foi calculada pela razão entre os valores finais pelos iniciais, ou seja, média do sinal EMG adquirido no segundo final pelo do segundo inicial. Transformada Rápida de Fourier (FFT) foi o método escolhido para calcular a frequência mediana (MDF) com um janelamento (*slice*) de 1 segundo.

O método estatístico utilizado para analisar a variância dos dados foi o índice de correlação intra-classes (ICC, *intraclass correlation coefficient*). Para coeficientes de confiabilidade, valores obtidos entre 0,00 e 0,25 indicam muito baixa correlação; 0,26 a 0,49, baixa correlação; 0,50 a 0,69, correlação moderada; 0,70 a 0,89, alta correlação; e 0,90 a 1,00, correlação excelente.

RESULTADOS

A Tabela 1 mostra os dados demográficos dos participantes. Os voluntários eram adultos saudáveis, com idade entre 20 e 23 anos, sendo cinco do sexo masculino e cinco do sexo feminino, média de idade semelhante entre os sexos porém com massa e altura média de 85,6 Kg e 1,80 cm nos homens e 55 kg e 1,58 cm nas mulheres.

Tabela 1 Dados demográficos dos participantes (n =10)

Sujeitos	Sexo	Idade (anos)	Massa (Kg)	Altura (m)
1	M	20	84	1,85
2	M	20	92	1,88
3	M	20	88	1,78
4	M	21	79	1,78
5	M	23	85	1,72
Média		20,8	85,6	1,80
6	F	21	60	1,60
7	F	20	49	1,55
8	F	21	52	1,49
9	F	21	55	1,52
10	F	20	59	1,75
Média		20,6	55	1,58

Torque mensurado

Todos os voluntários completaram as duas sessões de avaliação. A média do torque máximo obtido para todos os voluntários no membro dominante foi de 102 ± 35 Nm no primeiro dia e $105 \pm 42,1$ Nm no segundo dia, o que através do ICC, demonstra uma confiabilidade na metodologia empregada (ICC = 0,93).

O tempo de duração da contração sustentada a 80% da contração isométrica máxima também mostrou uma reprodutibilidade muito alta quando analisada pelo ICC. A média foi de 82 ± 11 s no primeiro dia e 88 ± 18 s no segundo dia (ICC = 0,96).

Frequência mediana

Os valores iniciais e finais da frequência mediana, bem como os valores normalizados (razão entre frequência mediana final e frequência mediana inicial) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Freqüência mediana para 80% da contração voluntária isométrica máxima (média e desvio padrão)

80% da CVM	Reto femoral		Vasto medial		Vasto lateral	
	1ª Avaliação	2ª Avaliação	1ª Avaliação	2ª Avaliação	1ª Avaliação	2ª Avaliação
Início (Hz)	85,2± 12,3	92,4 ± 13,8	82,8 ± 10,5	83,9 ± 8,9	79,6 ± 12,3	81,2 ± 11,9
Final (Hz)	69,3 ± 11,5	73,6 ± 13,4	65,6 ± 14,2	66,4 ± 12,5	63,2 ± 11,8	64,8 ± 12,5
Normalizado (Hz)*	0,81 ± 0,03	0,79± 0,065	0,79± 0,022	0,79± 0,014	0,81± 0,084	0,83± 0,021

* Normalizado: MDF= final MDF/inicial MDF

Como se pode observar, comparando os valores iniciais, finais e normalizados houve pouca variação, indicando similaridade entre as medidas.

O processo de fadiga, durante a contração voluntária isométrica a 80% da força máxima, torna-se evidente pelo declínio dos valores da freqüência mediana, que estão relacionadas com mudanças fisiológicas do músculo, como a forma de onda dos potenciais de ação das unidades motoras afetadas por alterações na velocidade de condução das fibras musculares. Essa velocidade diminui devido a mudanças no pH muscular que, por sua vez, se altera em função do acúmulo de lactato que é gerado no músculo⁸.

A Tabela 3 apresenta os valores do ICC, que indicam a reprodutibilidade das medidas. Apenas a correlação do músculo vasto lateral (início da atividade) foi considerada moderada, sendo que as demais apresentam alta correlação, com valores entre 0,78 e 0,87.

Tabela 3 Índice de correlação intra-classe (ICC) da freqüência mediana para 80% da contração voluntária isométrica máxima

80% da CVM	Reto femoral	Vasto medial	Vasto lateral
Início (Hz)	0,85	0,78	0,62
Final (Hz)	0,87	0,82	0,79
Normalizado (Hz)*	0,78	0,79	0,85

* Normalizado: MDF= final MDF/inicial MDF

DISCUSSÃO

A fadiga muscular é considerada um processo contínuo. Tem sido estudada pela forma progressiva da atividade voluntária que leva a um aumento da amplitude e duração dos potenciais, devido ao recrutamento por somação das unidades motoras, e também a uma diminuição da freqüência mediana, devido a mudanças fisiológicas do músculo.

Neste estudo, freqüência inicial, final e valores normalizados para a freqüência mediana foram utilizados ao compararmos a reprodutibilidade do sinal EMG entre os músculos durante 80% do torque máximo gerado.

Ferramentas comumente utilizadas para a análise da reprodutibilidade são a medida de erro padrão e o coeficiente de correlação intra-classe (ICC). O primeiro pode ser utilizado para verificar o tamanho do erro em relação ao tamanho das mudanças ocorridas nas variáveis estudadas, enquanto o segundo é utilizado para considerar o tamanho do erro em relação a diferenças entre medidas¹³.

Os resultados individuais e em grupo obtidos neste estudo, em que houve pequena variação, indicam reprodutibilidade entre as medidas, confirmando que os parâmetros EMG são potencialmente utilizáveis para avaliarmos a fadiga muscular. Moderada a alta reprodutibilidade foi encontrada para a frequência inicial e final a 80% da contração máxima nos três grupos musculares (reto femoral, vasto medial e vasto lateral). Esses achados estão de acordo com estudos também no quadríceps⁵ e tronco^{7,11,14}.

Os altos valores de ICC encontrados neste estudo indicam que houve pequena variabilidade intra-sujeitos, o que pode ser atribuído à consistência da ferramenta de medida utilizada, salientando que esta é uma condição indispensável em estudos de reprodutibilidade, que tem como princípio erros de medida pequenos¹¹.

Estes resultados demonstram não haver um padrão de atividade EMG semelhante para todos os músculos que compõe o quadríceps femoral. Tais diferenças podem refletir a diversidade morfológica dos sujeitos (como sexo, massa e altura), além da constituição dos tipos de fibras musculares desses músculos. Estudos anatômicos têm relatado uma grande proporção de fibras do tipo I ($\pm 50\%$) no vasto medial comparado ao vasto lateral ($\pm 30\%$)¹⁵, e um significativo número de fibras do tipo II no músculo reto femoral.

Uma possível justificativa para os valores de reprodutibilidade encontrados neste estudo pode ser o fato de os voluntários terem mantido consistentemente a contração ao nível de 80% da contração isométrica voluntária máxima (102 ± 35 Nm e $105 \pm 42,1$ Nm), apesar de esse nível de contração exigir alta demanda do mecanismo extensor do joelho – o que é corroborado pela baixa manutenção de contração muscular (82 ± 11 s no primeiro dia e 88 ± 18 s no segundo dia). Isso de certa forma aponta para uma metodologia fidedigna e confiável, permitindo que esta seja utilizada como base para obtenção de indicadores de fadiga muscular. Outro ponto a ser destacado, e não menos importante, foi o controle da temperatura do laboratório durante a coleta dos dados e local de posicionamento dos eletrodos, fato muitas vezes não mencionado na metodologia de outros estudos.

Outra possível justificativa da reprodutibilidade verificada neste estudo pode ser a característica da amostra, constituída por voluntários jovens e saudáveis, podendo assim ser parâmetros de comparação para populações semelhantes, como obtido por outros autores^{8,16}, os quais demonstraram altos valores de reprodutibilidade durante contrações voluntárias isométricas máximas para população sedentária, e valores baixos para população saudável.

Futuros estudos devem examinar a habilidade entre avaliadores para detectar a fadiga muscular utilizando a eletromiografia de superfície, além de mensurar a diferença entre os membros inferiores, a diferentes tempos de intervalo. Thompson e Biedermann¹⁷ relatam que um intervalo de tempo de três meses reduz altamente a reprodutibilidade dos resultados. Em nosso estudo, o intervalo de apenas uma semana não parece influenciar os resultados.

CONCLUSÃO

Este estudo mostra a reprodutibilidade na avaliação da fadiga muscular pela contração sustentada do músculo quadríceps femoral, revelando uma metodologia fidedigna e confiável, o que pode ser constatado pelos altos valores de ICC encontrados, permitindo que a presente metodologia seja utilizada para obtenção de indicadores de fadiga muscular.

REFERÊNCIAS

- 1 Silverthorn, DU. Fisiologia humana. 2a.ed. São Paulo: Manole; 2003.
- 2 Basjamian JV, Gopal DN, Ghista DN. Eletrodiagnostic model for Motor Unit Actino Potencial (MUAP) generation. *J Phys Med.* 1985; 64:279-94.
- 3 West W, Hicks A, Clements L, Dowling J. The relationship between voluntary electromyogram, endurance time and intensity of effort in handgrip exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1995;71:301-5.
- 4 Newell KM, Carlton LG. On the relationship between peak force and peak force variability in isometric tasks. *J Mot Behav.* 1985;17:230-40.
- 5 Mathur S, Eng JJ, McIntyre DL. Reliability of surface EMG during sustained contractions of the quadriceps. *J Electromyogr Kinesiol.* 2005;15:102-10.
- 6 Elfving B, Németh G, Arvidsson I, Lamontagne M. Reliability of EMG spectral parameters in repeated measurements of back muscle fatigue. *J Electromyogr Kinesiol.* 1999; 09:235-43.
- 7 Peach JP, Gunning J, McGill SM. Reliability of spectral EMG parameters of healthy back extensors during submaximal isometric fatiguing contractions and recovery. *J Electromyogr Kinesiol.* 1998; 8:403-10.
- 8 Dederling A, Hjelmsäter MR, Elfving B, Harms-Ringdahl K, Németh G. Between-days reliability of subjective and objective assessments of back extensor muscle fatigue in subjects without lower-back pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10:151-8.
- 9 Farina D, Merletti R, Enoka RM. The extraction of neural strategies from the surface EMG, 2004. *J Appl Physiol.* 2004;96:1489-95.
- 10 Kankaanpää M, Taimela S, Laaksonen D, Hanninen O, Airaksinen O. Back and hip extensor fatigability in chronic low back pain patients and controls. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79:412-7.
- 11 Arnall FA, Koumantakis GA, Oldham JA, Cooper RG. Between-days reliability of electromyographic measures of paraspinal muscle fatigue at 40, 50 and 60% levels of maximal voluntary contractile force. *Clin Rehabil.* 2002;16:761-71.
- 12 Dainty DA, Norman RW. Standardizing biomechanical testing in sports. Champaign: Human Kinetics; 1987.
- 13 Araújo RC, Sá MR, Amadio AC. Estudo sobre as técnicas de colocação de eletrodos para eletromiografia de superfície em músculos do membro inferior. In: VI Congresso Brasileiro de Biomecânica, Universidade de Brasília. Anais, 1995. p.244-50.
- 14 Roy SH, DeLuca CJ, Casavant DA. Lumbar muscle fatigue and chronic lower back pain. *Spine.* 1989;14:992-1001.
- 15 Edgerton VR, Smith JL, Simpson DR. Muscle fibre type populations of human leg muscles. *Histochem J.* 1975;7:259-66.
- 16 Dieen JH, Heijblom P. Reproducibility of isometric trunk extension, torque trunk extensor endurance and related electromyographic parameters in the context of their clinical applicability. *J Orthop Res* 1996;14:139-43.
- 17 Thompson D, Biedermann HJ. Electromyographic power spectrum analysis of the paraspinal muscles long term reliability. *Spine.* 1993;18:2310-3.