

A ELETROMIOGRAFIA NA ANÁLISE DA POSTURA*

Autor: **Prof. Dr. Ciro Romelio Rodriguez-Añez**
Doutorando em Engenharia de Produção: Ergonomia
Professor do Curso de Educação Física PUCPR
ciroanez@eps.ufsc.br

Resumo

• O estudo do movimento humano é uma curiosidade do homem que se remonta a vários séculos. O estudo dos músculos mortos cedeu espaço ao estudo dos músculos vivos a partir das experiências de Galvani e Duchene, porém a eletromiografia teve que esperar até que os avanços tecnológicos fossem capazes de desenvolver aparelhos para captar os tênues sinais produzidos pelos músculos durante a contração. A eletromiografia está fundamentada no fenômeno conhecido como potencial de ação que provoca uma série de eventos na fibra muscular, que culmina com o encurtamento ou deslizamento da suas estruturas que no conjunto denomina-se acoplamento eletromecânico. Na biomecânica a eletromiografia é utilizada principalmente para determinar a ativação de determinados grupos musculares durante as diversas fases de uma tarefa motora. Outra aplicação importante na análise da postura e de tarefas é a determinação da fadiga muscular. A técnica da eletromiografia é uma poderosa ferramenta para estudos em ergonômica. Contudo, devido a sua sofisticação é altamente seletiva e requer um bom entendimento, bom senso e discricção na aplicação.

Palavras-chave: eletromiografia, ergonomia, postura.

Abstract

• The human movement study is a curiosity of the human bean since centuries. The study of the dead muscles gave space to the study of the live muscle since the experiences of Galvani and Duchene, although electromyography has to wait until the technological development be able to construct equipment to detect the weak signal produced by the muscle during contraction. Electromyography is based on the phenomenon know as action potential that trigger a several events that end with the shortness or sliding of the muscle structures that is nominee as electromechanical coupling. Electromyography is used in biomechanics to determinate the activation of muscular groups during different stages of motor skill. Another important application is to analyze postural task and to determine tiredness muscles. Electromyography is a powerful ergonomics tool, although because its sophistication is highly selective and require good understanding, good sense and discretion during application.

Keywords: electromyography, ergonomics, posture.

* Trabalho apresentado na Disciplina de Biomecânica Ocupacional no 2º Trimestre de 2000. Prof. Dr. Antônio Renato Pereira Moro (EPS-UFSC)

Introdução

- O movimento intrínseco é o sinal primordial da vida animal. O homem sempre apresentou curiosidade com relação aos órgãos da locomoção do seu próprio corpo e no dos outros seres (BASMAJIAN, 1976).

Os músculos podem contrair e produzir força. Nos organismos vivos os movimentos são realizados por ativação muscular. Através do movimento coordenado das suas partes os organismos podem mudar a sua posição no espaço e aplicar forças mecânicas no ambiente. Além da locomoção, os músculos são requisitados para processos de transporte dentro do corpo, como a condução de fluidos nos sistema cardiovascular e gastrointestinal ou no transporte de gases no sistema respiratório (KUMAR e MITAL, 1996).

- A primeiras experiências científicas das quais se tem conhecimento, estão relacionadas com os músculos e suas funções. Leonardo da Vinci dedicou grande parte do seu pensamento a análise dos músculos e suas funções. O mesmo aconteceu com Andrea Versalius, pai da anatomia moderna, mas, estes se preocuparam mais com a geografia dos músculos mortos e não com a sua dinâmica.

- O primeiro homem a devolver a vida aos músculos foi Galvani que no final do século XVIII publicou suas experiências com preparados neuromusculares e eletricidade animal. Por mais de dois séculos os biólogos trabalharam com as revelações de Galvani de que os músculos esqueléticos se contraem ao serem estimulados com eletricidade e que ao contrair-se por qualquer motivo geram uma corrente ou tensão perceptível. As descobertas de Galvani marcaram os inícios da neurofisiologia e do estudo da dinâmica da contração muscular, porém o mundo teve que aguardar até que o Francês Duchenne em meados do século passado aplicasse a eletricidade a músculos esqueléticos intatos. O seu trabalho *Physiologie des mouvements* apresentou a descrição dos movimentos que produzem os músculos estimulados através da pele por correntes elétricas. Contudo o descobrimento de Galvani permaneceu como uma curiosidade científica até o século XX, quando se desenvolveram melhores métodos para captar e registrar minúsculas cargas elétricas. O mérito principal do desenvolvimento da nova técnica de captar os potenciais elétricos gerados no músculo (a eletromiografia) corresponde aos fisiologistas ingleses e norte-americanos Adrian e Bronk e D. Denny-Brown e a vários escandinavos. Deve se admitir que as primeiras técnicas não se prestavam para estudos detalhados. Durante décadas aplicou-se a eletromiografia por razões diagnósticas e clínicas e não objetivando a cinesiologia básica (BASMAJIAN, 1976).

A eletromiografia e contração muscular

- A contração muscular e a produção de força são provocadas pela mudança relativa de posição de várias moléculas ou filamentos no interior do arranjo muscular. O deslizamento dos filamentos é provocado por um fenômeno elétrico conhecido como potencial de ação. O potencial de ação resulta da mudança no potencial de membrana que existe entre o interior e o exterior da célula muscular. O registro dos padrões de potenciais de ação é denominado eletromiografia. O registro por si só denomina-se eletromiograma (EMG). A eletromiografia registra um fenômeno elétrico que está casualmente relacionado com a contração muscular (KUMAR e MITAL, 1996).

- A técnica da eletromiografia está baseada no fenômeno do acoplamento eletromecânico do músculo. Sinais elétricos gerados no músculo eventualmente conduzem ao fenômeno da contração muscular, potenciais de ação simples ou em salva atravessam a membrana muscular (sarcolema), essas diferenças de potencial viajam profundamente dentro das células musculares através dos túbulos t. Os túbulos t são invaginações da membrana muscular dentro das células musculares. Tais invaginações são numerosas e ocorrem na junção das bandas claras e escuras das miofibrilas e as circundam como um anel no dedo. Estes anéis estão interconectados com os anéis das miofibrilas vizinhas formando um extensivo sistema de túbulos. Tal organização permite que o potencial elétrico viaje até as mais profundas partes do músculo quase que instantaneamente. Estes potenciais de ação são o gatilho que libera íons de cálcio do retículo sarcoplasmático para dentro do citoplasma muscular. Estes íons de cálcio são os responsáveis pela facilitação da contração muscular que se manifesta pela movimentação dos membros do corpo e a geração de força (KUMAR e MITAL, 1996).

Fisiologia básica da excitabilidade das membranas

- A atividade elétrica está relacionada com a vida das células. Qualquer célula para permanecer viva necessita de uma determinada atividade elétrica que regule suas relações com o meio na qual está inserida. Toda a atividade elétrica das células tem sua origem no fato de serem envolvidas por uma membrana bi-lipídica, (a membrana celular), que representa uma barreira que prevêem que os fluidos dos espaços Intra e extracelular se misturem. A membrana também possui estruturas que permitem o intercâmbio de substâncias específicas e informação entre os compartimentos. As proteínas que se encontram inseridas na membrana tem um papel importante no processo de comunicação

entre os compartimentos. Funcionalmente distinguem-se dois grupos de proteínas, as transportadoras e as receptoras. As transportadoras permitem a passagem de substâncias através da membrana e são altamente específicas para uma ou um pequeno grupo de substâncias, são denominadas como carreadoras, bombas ou canais de membrana de acordo com suas características particulares. Os receptores se combinam especificamente com certas moléculas como os hormônios e servem para a transferência de informação através da membrana (KUMAR e MITAL, 1996).

- A constituição dos fluidos intra e extracelular é diferente, em particular com relação aos íons. A distribuição desigual dos íons resulta numa diferença de potencial elétrico conhecido como potencial de membrana. O potencial de membrana para a maioria das células fica entre -60 e -90 mV. O interior da célula é negativo com relação ao meio externo. Ligeiras variações ocorrem como resultado das mudanças na composição iônica dos fluidos. Um comportamento completamente diferente está associado contudo à chamada excitabilidade de membrana encontrados nos nervos e nas células musculares. O potencial de membrana destas células, iniciando a partir do potencial de repouso, (-60 -90 mV) pode mudar em milissegundos para aproximadamente +20 ou +50 mV. Essa rápida mudança no potencial transmembrana é denominada potencial de ação. Os potenciais de ação são responsáveis por rápida transferência de informação e, nos músculos, eles têm a tarefa de iniciar a contração muscular (KUMAR e MITAL, 1996).

Os sinais elétricos observados na eletromiografia estão diretamente relacionados com os potenciais de ação do músculo. A composição do fluido intracelular caracteriza-se pela alta concentração dos cátions potássio (K^+) e de proteínas anions (A^-), por outro lado o líquido intersticial é rico em cátions sódio (Na^+) e anions cloro (Cl^-). O gradiente de concentração de (Na^+) e (K^+) em ambos os lados da membrana, resulta na criação de um potencial elétrico.

Fundamentos da Eletromiografia.

- A unidade estrutural da contração muscular é a célula muscular ou fibra muscular. Pode ser descrita como um fio finíssimo que tem até 30 cm de longitude porém uma espessura de 100 μ m (0,1 mm). Ao se contrair diminui seu comprimento de repouso em até 57%. As fibras de um músculo não sofrem um encurtamento uniforme e contínuo durante a contração muscular, na realidade experimentam mudanças muito rápidas. A contração de aparência uniforme é a soma de todas essas mudanças rápidas. É provável que as fibras jamais se contraíam de forma individual no mamífero normal e sim pequenos grupos que são as

unidades motoras. Normalmente as unidades motoras sofrem uma enérgica contração quando recebem impulsos nervosos de diversas frequências, em geral menores do que 50 por segundo. A quantidade de fibras que constituem uma unidade motora varia muito. Músculos que controlam movimentos finos como os movimentos do ouvido, globo ocular e laringe possuem menor quantidade de fibras por unidade motora (menos que 10 por unidade) em quanto que músculos das extremidades que participam de movimentos grosseiros possuem mais. Feinstein e col. Citado por BASMAJIAN (1976), contou 2.000 fibras no ventre medial do gastrocnêmio. Contudo, até os fascículos mais grandes de fibras musculares são muito pequenos e a contração vigorosa de um músculo esquelético requer da contração de muitas destas unidades motoras. O princípio fundamental que rege a contração é que tem que haver uma assincronia total das contrações das unidades motoras, imposta por salvas assincrônicas de impulsos que descem por múltiplos axônios. O resultado desta constante afluência de breves contrações de distintas frequências dentro de um músculo constitui uma tração uniforme. Em determinados transtornos as contrações se sincronizam e produzem tremor visível. As fibras de uma unidade motora podem estar disseminadas e misturadas com as fibras de outras unidades motoras, conseqüentemente em cortes histológicos transversais as fibras observadas raramente correspondem a uma única unidade.

Potencial da Unidade Motora

- Quando um impulso chega até a placa motora, se propaga pela fibra uma onda contrátil que dá lugar a uma breve contração seguida de um rápido e completo relaxamento. Este processo dura desde milissegundos até 0,2 Seg. dependendo do tipo de fibra (rápida ou lenta). Durante a contração, gera-se um minúsculo potencial elétrico que dura 1, 2 ou até 4 milissegundos e se dissipa pêlos tecidos circunvizinhos. Como não são todas as fibras da unidade que se contraem exatamente ao mesmo tempo (algumas apresentam um retardo de alguns milissegundos), o potencial que se desenvolve na contração de uma unidade motora se prolonga de 5 a 12 msec. O resultado da contração de uma unidade motora é uma descarga elétrica com duração média de 9 msec e uma amplitude total medida em microvolts (mV) com eletrodos de agulha. Com eletrodos de superfície as durações se prolongam porque os potenciais se borram e arredondam.
- A maioria dos potenciais de uma unidade motora estão próximos de 500 mV. Quando observados num osciloscópio ou outro dispositivo similar parecem uma espiga aguda que pode ser bifásica ou trifásica. A maior potencial registrado, maior a unidade motora que o gerou. Porém no tamanho final intervém fatores que complicam o traçado, como a distância

entre os eletrodos e a unidade, o tipo de eletrodo e o equipamento empregado. Embora o potencial da unidade motora é relativamente curto, o tempo mecânico surpreende pelo prolongado que é. Até as unidades de fibras rápidas têm uma contração várias vezes mais prolongadas do que o potencial que acompanha esta. As unidades motoras lentas podem demorar até um décimo de segundo ou mais para relaxar-se após cada contração.

- No geral aceita-se no homem o limite superior de ativação das unidades motoras em 50 por segundo. Em condições normais os potenciais mais baixos aparecem como uma leve contração e a medida que aumenta a força se recrutam potenciais cada vez maiores e as freqüências de descarga aumenta em todas as unidades motoras. Isto se denomina recrutamento normal. Em casos de paralisia parcial os potenciais menores não aparecem talvez porque só sobrevivem unidades motoras grandes.

- O potencial de unidade motora representa a fusão de todos os potenciais das fibras individuais dentro de um limite de tempo prefixado.

Técnica e instrumentação

- A eletromiografia é um dos métodos clássicos utilizados para registrar a atividade de um determinado músculo. A eletromiografia pode ser dividida em dois tipos, seguindo a classificação de Correia et. al. (1993):

- Eletromiografia de profundidade: os eletrodos são colocados no interior do músculo, em contato direto com as fibras musculares. Este tipo de registro não é representativo quando o objetivo é estudar a atividade global de um músculo, é pouco utilizado por ser um método invasivo.

- Eletromiografia de superfície: os eletrodos são colocados sob a pele, captando a soma da atividade elétrica de todas as fibras musculares ativas. Caracteriza-se por ser um método não invasivo e de fácil execução, este método é largamente utilizado em áreas como o estudo cinesiológico e neurofisiológico dos músculos superficiais.

A configuração dos eletrodos de superfície podem ser:

- - Monopolar: onde um eletrodo é colocado sobre o feixe muscular de interesse e o outro eletrodo (chamado de referência) é colocado num ponto não afetado pela atividade do feixe muscular de interesse, mede-se então a diferença de potencial entre estes dois pontos.
- - Bipolar: consiste em colocar dois eletrodos sobre a região que se deseja estudar e o terceiro eletrodo chamando terra é colocado num local não afetado pela atividade

da região de interesse. Mede-se agora a diferença de potencial elétrico entre os dois eletrodos que estão sobre a região de interesse, tomando-se como referência o eletrodo terra. Desta forma é possível a utilização de amplificadores diferenciais de alto ganho, o que em última análise melhoram significativamente a relação sinal-ruído, uma vez que os ruídos presentes nos cabos que levam o sinal dos eletrodos ao condicionador são subtraídos pelo amplificador diferencial (THOMAS et al. 1999).

- Os estudos clássicos sobre a função muscular envolvem: 1) o estudo topográfico dos músculos mortos combinado com cálculos do que deveriam fazer, 2) estimulação elétrica direta, 3) observação visual e palpação dos músculos através da pele e, 4) o estudo dos pacientes paralíticos para a avaliação dos déficits. Salvo algumas aplicações práticas, estes métodos são incompletos, em conjunto ou separado, pois, não conseguem revelar a função dos músculos profundos que não são palpáveis nem as conseqüências cronológicas da atividade. A eletromiografia é singular, pois, revela o que o músculo realmente faz em qualquer instante durante diversos movimentos e posturas além de revelar a inter-relação e coordenação dos músculos; isto é impossível por qualquer outro método (BASMAJIAN, 1976).

A eletromiografia Postural.

- A utilização da eletromiografia na análise postural teve início após a Segunda Guerra Mundial. A definição de postura pode ser mais ampla ou restrita dependendo do que queremos. No seu sentido mais restrito pode ser entendida como a atitude ereta e bem balanceada do indivíduo em posição "normal". Neste sentido, a eletromiografia da postura encarregar-se-á da manutenção da postura ereta com relação à força da gravidade. Não podemos esquecer que há uma multiplicidade de posições "normais" bípede, sentado, reclinado, etc.
- Os problemas da postura estática giram em torno do axioma de que o equilíbrio do corpo humano e de suas partes articuladas depende de uma fina neutralização das forças da gravidade. A postura mais simples em que o homem consegue equilíbrio é na posição de decúbito. Esta é a posição normal durante o primeiro ano de vida e mais ou menos da metade do resto das nossas vidas. Quando deitamos levamos o centro de gravidade do corpo o mais perto possível de superfície de sustentação.

A postura ereta é a que representa menor gasto de energia. A postura ereta normal é aquela em que uma linha imaginária desce pelo centro do corpo tendo como referência lateralmente: 1) a apófise mastóide; 2) à frente da articulação do ombro; 3) corpo das vértebras lombares; 4) à frente da articulação do joelho; e, 5) na articulação do tarso (FIGURA 1).

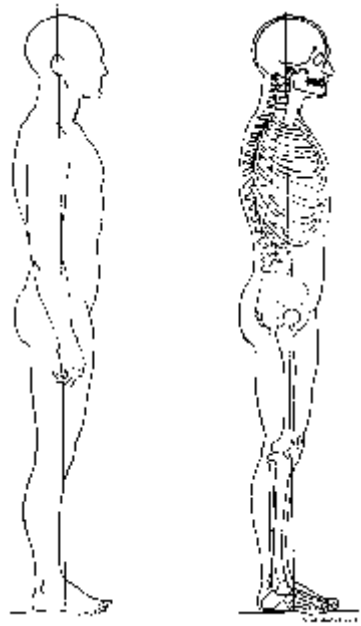


FIGURA 1 - Linha de gravidade no homem ereto (BASMAJIAN, 1976).

- Dos mamíferos o homem possui o mecanismo antigравitacional mais econômico. O que parece uma posição incômoda, na realidade é a mais econômica por excelência. O quadrúpede se vê obrigado a manter as múltiplas articulações das suas extremidades em flexão parcial por meio de atividade muscular, um mecanismo antigравitacional muito mais custoso. A exceção é o elefante cujas extremidades se assemelham a colunas estáticas que sustentam o seu peso. Porém esta especialização é tão grande que não consegue pular curtas distâncias. Se compararmos sua musculatura com a do homem é proporcionalmente muito pequena. A diferença está em que o homem desafia a gravidade a cada instante com mudanças de postura constantes que não requerem muita força. Por tanto, os músculos antigравitacionais do homem não existem somente para manter a posição bípede e sentada, mas para produzir poderosos movimentos necessários para as mudanças desde o decúbito para o sentado e do sentado para a bipedestação. O equilíbrio total passivo é impossível, pois, os centros de gravidade das partes do corpo não coincidem com a linha de gravidade. O cansaço da posição bípede não se deve à fadiga muscular, pois, a atividade muscular é escassa ou moderada, a fadiga guarda mais relação com problemas da circulação e com a pressão direta sobre as estruturas inertes (BASMAJIAN, 1976).

Aplicações ergonômicas

- Para as aplicações ergonômicas os registros eletromiográficos são de importância secundária. Os ergonomistas que são fisiologistas curiosos devem preocupar-se mais com a natureza do sinal e suas implicações fisiológicas. A carga numa articulação ou a carga num

músculo são de maior interesse assim como suas conseqüências na segurança e na produtividade.

- As pontas do eletromiograma representam os potenciais de ação dos músculos ativos. Para contrações mais fortes, maior número de unidades motoras são recrutadas, criando uma maior número de pontas e gerando uma maior força muscular. Embora a magnitude individual das pontas permaneça constante, suas freqüências e o número de fontes aumentará. Devido ao volume e à natureza dos potenciais de ação a fusão e a somação destes sinais ocorre. O fenômeno posterior resulta em um aumento da freqüência e da magnitude dos sinais somados.

- Vários autores têm explorado esta relação para entender a carga muscular e o estresse da tarefa industrial. Kumar e Scaife, citados por BASMAJIAN (1976), investigaram o estresse produzido pela postura numa tarefa de precisão. Foram investigadas mulheres operárias que trabalhavam sentadas e utilizando um microscópio para a montagem de memórias para computadores (FIGURA 2). Foi utilizada a eletromiografia de superfície no trapézio e nos eretores da espinha a nível torácico e lombar. Simultaneamente foram tomadas fotografias para análise biomecânica. As estações de trabalho foram ajustadas para as alturas individuais de cada trabalhadora e inclinadas 5° para frente e para trás para estudar a tarefa ao nível da mesa. Baseado na análise biomecânica e da eletromiografia apresentaram um modelo biomecânico (FIGURA 3). Os autores sugeriram que a combinação dos fatores da postura e da tarefa poderão contribuir para o aparecimento de dores no pescoço e nas costas destas trabalhadoras. Eles desenharam e propuseram uma bancada ajustável para reduzir o estresse postural e conseqüentemente os problemas de saúde ocupacional.



FIGURA 2 - Operárias trabalhando na linha de montagem.

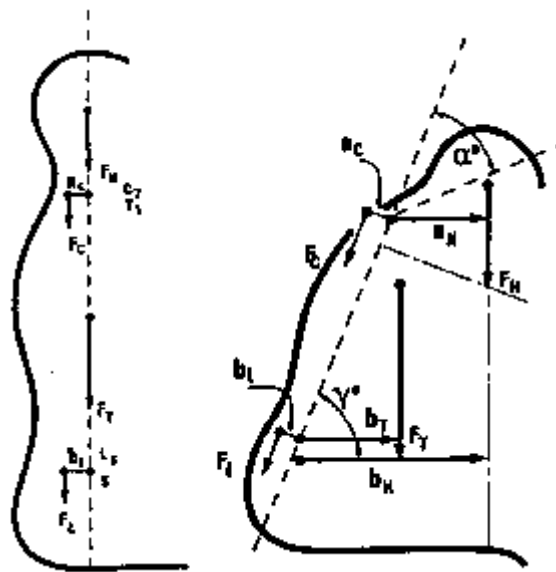


FIGURA 3 - Modelo biomecânico das trabalhadoras.

Conclusão

- A técnica da eletromiografia pode ser uma poderosa ferramenta ergonômica. Contudo, devido a sua sofisticação é altamente seletiva e requer um bom entendimento, bom senso e discricção na aplicação. A eletromiografia pode responder algumas perguntas decisivamente, algumas de forma duvidosa e outras não. O ergonomista precisa saber qual a questão a ser respondida e qual a técnica relevante. Deve-se conhecer o músculo a ser testado, a colocação adequada dos eletrodos, o registro correto, a análise e interpretação correta dos dados para obter uma resposta válida.
- A eletromiografia é utilizada em ergonomia para obter algumas respostas como: Quando o músculo em questão está ativo ou inativo em uma determinada tarefa? O músculo está esgotado? Quando o músculo liga e desliga?

Referências Bibliográficas

- BASMAJIAN, J. V. Electro-fisiologia de la acción muscular. Buenos Aires Argentina: Editorial Médica Panamericana S.A., 1976.
- KUMAR, S e MITAL, A. Electromiography in ergonomics. UK: Taylor & Francis, 1996.
- THOMAS, Carlos Alberto K. et al. Eletromiógrafo com conversor A/D. IN: Congresso Brasileiro de Biomecânica. Anais [VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica] / editores: Maria Helena Kraeski... [et al.] Florianópolis: UDESC, 1999. p. 363-367.