

## FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO SISTEMA NEUROMUSCULAR

Lacordaire Kemel Pimenta Cury<sup>1</sup>  
Eurípedes Bastos Siqueira<sup>2</sup>  
Thiago Simões Gomes<sup>3</sup>

### RESUMO

Uma das características do envelhecimento humano é a perda de massa muscular e óssea, o que prejudica a qualidade de vida e aumenta a possibilidade do surgimento de patologias neuromusculares. Há diversos estudos que buscam encontrar formas de diagnóstico ou de caracterização dos efeitos dessa perda orgânica. Geralmente utilizam-se ferramentas de medição dos sinais neuromusculares, como é o caso da eletromiografia (EMG) e da acelerometria, cujos registros, depois de coletados e processados, permitem a aplicação de ferramentas estatísticas que facilitam sua análise, correlação e comparação. Neste estudo, mostrou uma fundamentação teórica deste contexto.

**Palavras-Chave:** Envelhecimento, Eletromiografia, Acelerometria

### 1 Introdução

O sistema neuromuscular é um dos mais afetados durante o processo de envelhecimento do ser humano. Com o aumento da idade há uma redução na massa muscular e óssea, que influencia os movimentos e os reflexos das pessoas mais idosas (EVANS et al, 2010; HAMERMAN, 1997; LACOURT; MARINI, 2006). Alguns estudos já detectaram alterações anatômicas no sistema neuromuscular, mas ainda há carência de informações que permitam ampliar esse conhecimento e criar formas de reduzi-lo ou evitá-lo, melhorando a qualidade de vida dos idosos.

Toda a contração muscular voluntária é regida pelo sistema nervoso central por intermédio de impulsos elétricos originados no córtex motor que é a área do cérebro

<sup>1</sup> Professor e coordenador do curso Sistema para Internet da Faculdade de Tecnologia – FATECA, doutorando em ciências, mestre em ciências, pós-graduado em Gestão Empresarial e Informática em Educação e graduado em Análise e Sistemas, pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU;

<sup>2</sup> Professor e coordenador do curso de Ciências Contábeis da Faculdade CESUC, mestre em economia, pós-graduado em Análise e Auditoria Contábil, e contador pela PUC Goiás;

<sup>3</sup> Professor e Coordenador do Centro de Extensão, Pesquisa e Pós-Graduação (CEPPG) do Centro de Ensino Superior de Catalão, mestre em Administração pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU, pós-graduação em Gestão Financeira pelo CESUC e graduação em Administração pelo CESUC.

responsável pela “ideia” de pensamento. A origem do sinal biológico no córtex motor é transmitida por duas vias, sendo que uma se direciona a medula espinhal e outra aos núcleos da base, responsáveis pela modulação da contração muscular (LENT, 2002).

Este artigo tem como objetivo realizar um estudo bibliográfico dos meios utilizados para analisar as alterações do sistema neuromuscular.

Há vários métodos utilizados nas pesquisas para mensurar o funcionamento do movimento, como por exemplo a eletroencefalografia (EEG), que está relacionada com a atividade elétrica produzida pelo disparo dos neurônios no cérebro, captada por meio de eletrodos posicionados no couro cabeludo; a eletromiografia (EMG), que está relacionada com a contração e/ou o relaxamento muscular e capta os sinais mioelétricos na superfície da pele; e a acelerometria, que permite medir a aceleração do movimento nos três eixos do espaço tridimensional. Qualquer deles permite a utilização de recursos para auxiliar na avaliação do mecanismo de funcionamento do sistema neuromuscular (TIMMER et al, 1998; RAETHJEN et al, 2000; WHARRAD; JEFFERSON, 2000).

Entre essas três ferramentas, a EMG e a acelerometria são as que apresentam melhores perspectivas para o estudo dos efeitos do envelhecimento sobre o sistema neuromuscular, especialmente por seu baixo custo.

## **2 O Sinal Neuromotor**

Para que esse impulso nervoso, originado no córtex motor, possa gerar a contração muscular desejada, é necessária uma interligação entre várias estruturas que compõem uma rede complexa de células nervosas excitáveis, os neurônios, por intermédio de eletricidade, gerada por reações bioquímicas. Os neurônios são células com características especiais, pois além de possuírem as funções básicas de uma célula comum, têm a capacidade de processar informação e transmitir impulsos elétricos devido a propriedades específicas de sua membrana, que permite o controle do fluxo de substâncias entre os lados interno e externo da célula, como os íons sódio, cálcio e potássio (GUYTON; HALL, 2006).

A transmissão do impulso nervoso é possível, também, graças às conexões existentes entre os neurônios, que formam grandes cadeias neuronais permitindo que o impulso gerado no córtex motor possa se conectar a medula espinhal e por sua vez ao nervo que se ligará ao músculo, gerando a contração muscular (GUYTON; HALL, 2006).

O impulso nervoso, também chamado de potencial de ação, é uma alteração elétrica que ocorre ao longo de toda a membrana do neurônio a partir do ponto em que o estímulo ocorreu. Inicialmente, a membrana do neurônio encontra-se polarizada em repouso com um potencial negativo de -70mV. A geração do potencial de ação faz com que haja uma redução drástica desta negatividade até 0 mV seguida da inversão destes valores até aproximadamente +30 mv. Nesse ponto, ocorre a despolarização da membrana que permite a passagem do impulso elétrico do corpo do neurônio para os dendritos e de um neurônio para outro até chegar à placa motora, que é a junção do nervo com o músculo (FERREIRA, 1999).

Após a passagem do impulso nervoso, ocorre o fenômeno de repolarização, em que os valores tornam-se novamente negativos até voltar ao potencial de repouso de -70 mV. Essa alteração elétrica, que permite que o impulso nervoso se desloque do córtex motor até o músculo esquelético, gerando contração muscular, pode ser detectada por meio de equipamentos de eletrodiagnóstico, por meio de eletrodos colocados próximos as placas motoras (FERREIRA, 1999).

Quando se solicita ao voluntário que faça determinado movimento, todo o circuito é ativado para que esse movimento voluntário se realize. O impulso é gerado no córtex motor, transmitido até a medula espinhal, desta para o nervo motor até a placa motora (junção neuromuscular), onde ocorre à liberação de várias substâncias químicas, especialmente a acetilcolina, que provocará a contração muscular (TOYOKURA; ISHIDA, 1999).

Todos os sinais neuromusculares são gerados em resposta a estímulos, provocados por receptores sensoriais espalhados por todo o corpo. No caso do equilíbrio corporal, por exemplo, estão envolvidos receptores relacionados à visão, ao tato e ao sistema vestibular, formado por canais semicirculares situados nos condutos auditivos que detectam qualquer movimentação da cabeça e enviam esses sinais para o cérebro. Portanto, não há como dissociar os movimentos reflexos dos movimentos voluntários, pois todos possuem, com maior ou menor intensidade, a participação do sistema nervoso central e periférico (GUYTON; HALL, 2006; BERNE et al, 2003; COSTANZO, 2007).

O sinal neuromuscular é gerado na parte do axônio mais próxima do corpo da célula, denominada cone de implantação e se propaga ao longo do axônio, em direção aos ramos e placas motoras. Os axônios dos nervos motores podem atingir até 1 metro de comprimento (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2004; GUYTON; HALL, 2006).

A força da contração muscular é proporcional ao número de fibras excitadas pelos neurônios motores, processo denominado de recrutamento de MUAP, e que depende das características e do tipo de músculo associado ao movimento. Obviamente, quanto mais

MUAPs forem utilizadas para a contração, maior será o sinal dissipado para os tecidos adjacentes.

### **3 O Eletromiógrafo**

O eletromiógrafo é um equipamento que permite captar o potencial de ação muscular e registrá-lo em meios físicos ou armazená-lo em meios eletrônicos (LAMB; HOBART, 1992).

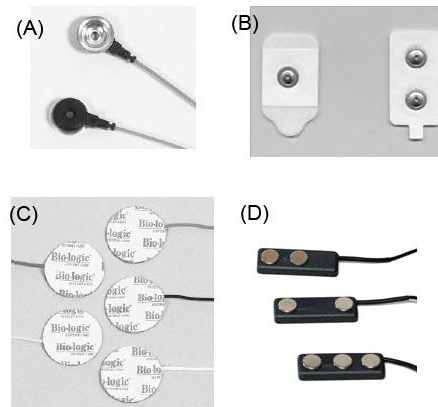
A captação se dá através de eletrodos, que são posicionados dentro do músculo (eletrodo de agulha) ou sobre a pele (eletrodo de superfície), a uma distância que permita a medição da diferença de potencial. À medida que o sinal elétrico do potencial de ação se propaga pela fibra, a diferença de potencial entre os eletrodos permite medir o potencial de ação (LAMB; HOBART, 1992).

Os eletrodos de agulha permitem a medição isolada das unidades motoras, mas provocam dor e desconforto ao paciente. Os eletrodos de superfície, apesar de não serem tão precisos, podem ser colocados sobre a pele e praticamente não causam desconforto, além de se tratar de um exame não invasivo. No caso dos eletrodos de superfície, o sinal captado corresponde ao conjunto de todas as unidades motoras situadas sob o local da fixação do eletrodo, incluindo, em menor escala, as unidades adjacentes (LAMB; HOBART, 1992).

Há inúmeros tipos de eletrodos de superfície, variando de formato e material, sendo monopolares ou bipolares (Figura 1). O eletrodo monopolar obtém a diferenças de potenciais de ação entre dois pontos, tendo obrigatoriamente um como ponto de referência. O eletrodo bipolar obtém dois sinais havendo a necessidade de uma referência e logo após estes são subtraídos, havendo a necessidade de utilizar três eletrodos.

Geralmente os eletrodos são constituídos por placas de prata ou cloreto de prata. Os eletrodos são fixados com fitas elásticas ou adesivas que evitem seu deslocamento durante o exame. Para melhorar a captação, é utilizada uma pasta ou gel condutor entre a pele e os eletrodos, contendo íons de cloro com objetivo de reduzir o nível de ruído entre a pele e o próprio eletrodo. Quanto menor a área do eletrodo em contato com a pele, mais seletivo é o sinal captado em relação ao músculo escolhido, recebendo menor reflexo da dispersão do sinal pelos músculos adjacentes, já que o sinal captado pelo eletrodo representa a soma de todos os potenciais de ação das fibras sob este, além do sinal das fibras adjacentes (SODERBERG, 1992).

Os eletrodos de superfície podem ser passivos (reutilizáveis ou descartáveis) ou ativos. Os passivos reutilizáveis normalmente são fixados por fitas ou cintas. Os eletrodos ativos são contemplados com um circuito de amplificação no próprio eletrodo, sendo normalmente bipolares, e trabalhados a seco não havendo necessidade da utilização de gel condutor (SODERBERG, 1992). No contexto deste trabalho durante a coleta de dados do sinal eletromiográfico foram utilizados os eletrodos ativos.

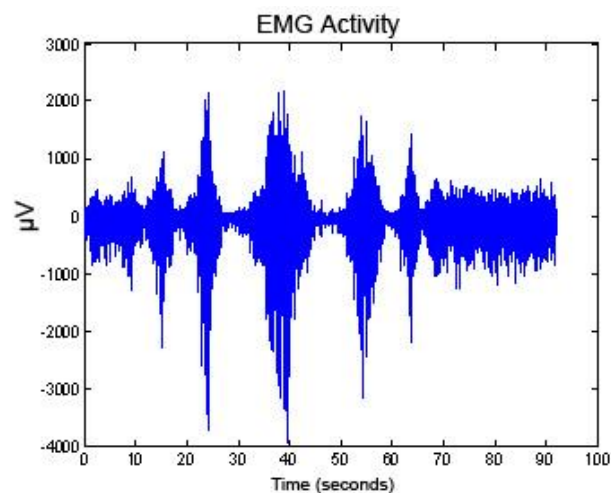


**Figura 1 - Exemplo de eletrodos para EMG de superfície. (A) monopolar, reutilizável; (B) mono e bipolar, reutilizável; (C) monopolar, descartável, com gel pré-aplicado; (D) em barra, reutilizável.**

Fontes: Noromed (<http://www.noromed.com/>); B&L Engineering (<http://www.bleng.com/>)

Obviamente, a área do eletrodo e seu posicionamento podem interferir na qualidade do sinal e em sua amplitude. Quanto maior a área, maior será, também, o número de fibras musculares situadas sob o eletrodo e, portanto, mais sinal será captado (LAMB; HOBART, 1992; SODERBERG, 1992).

Após a captação, o sinal é conduzido, por fios ou pelo ar, até o eletromiógrafo, onde é filtrado, amplificado e transformado em sinal digital (Figura 2).



**Figura 2 - Exemplo de gráfico gerado pelo eletromiógrafo, mostrando a variação de amplitude do sinal neuromuscular ao longo do tempo.**

Fonte: elaboração dos autores.

Os eletromiógrafos digitais possuem softwares que facilitam a análise dos sinais registrados, fornecendo algumas das características mais comumente utilizadas, como espectro de potência, amplitude média, frequência média, entre outras.

#### 4 Acelerômetros

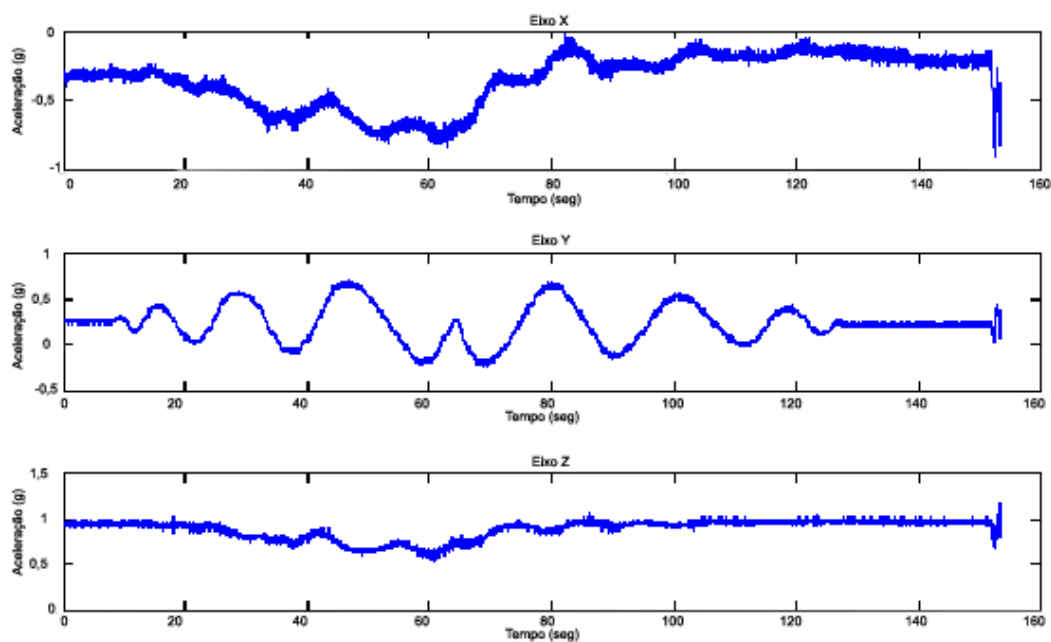
A vibração é um fenômeno mecânico que envolve um movimento oscilatório, periódico em torno de um ponto de referência. Em algumas situações, o aspecto oscilatório pode não estar presente, mas a forma de detectar esse fenômeno é a mesma (FRADEN, 2010).

Um acelerômetro é um instrumento que mede a vibração de uma massa, medindo-a a partir de uma estrutura de sustentação e de sensores que captam qualquer variação na posição dessa massa, transformando-a em sinais elétricos que podem ser captados e processados. A movimentação pode ser medida em qualquer dos eixos, dependendo da aplicação, mas os modernos acelerômetros conseguem reunir sensores para os três eixos (X, Y e Z) - acelerômetros triaxiais -, em dispositivos com menos de 1 grama e sensibilidade superior a 99% (FRADEN, 2010).

Os acelerômetros mais comumente utilizados no mercado baseiam-se na propriedade piezoelétrica, que é a capacidade que certos materiais, como o quartzo, possuem de produzir uma carga elétrica quando submetidos à uma pressão direcional. Sua aplicação na indústria vai desde o acionamento de *air bags* até o ajuste da posição da imagem, vertical ou horizontal, em celulares ou *smartphones*.

Amostra do sinal do acelerômetro é formada por três vetores temporais, onde cada um representa aceleração do sensor em um dos três eixos do plano cartesiano, conforme a figura 3. O eixo X captam os movimentos laterais, o eixo Y captam os movimentos perpendiculares e os sinais captados pelos sensores que representam o eixo Z é em função da movimentação vertical.

Os registros da aceleração nos três eixos podem ser plotados em gráficos em função do tempo, como mostra a Figura 3, e os dados digitalizados podem ser utilizados para processamento posterior.



**Figura 3- Exemplo de gráficos gerados com os sinais captados pelo acelerômetro, mostrando as variações da aceleração em cada eixo, ou seja, a movimentação nos eixos X, Y e Z.**

Como sua massa é inexpressiva, para medição dos tremores, os acelerômetros são fixados nos membros que se pretende estudar (dedos, dorso das mãos, entre outros) ou em dispositivos que serão utilizados. Por sua alta sensibilidade, mesmo quando o tremor não é perceptível a olho nu, como ocorre no tremor fisiológico normal, as pequenas variações de posicionamento podem ser detectadas e transformadas em sinais que variam ao longo do tempo. Este sinal gera uma sequência de valores, que é denominada série temporal, a qual representa um valor da aceleração em um determinado momento em relação ao tempo.

## 5 Conclusão

Diante do que já foi exposto neste artigo, especialmente no que se refere ao estudo das alterações funcionais do sistema neuromuscular com o envelhecimento e à utilização da eletromiografia e/ou da acelerometria para a pesquisa dessas alterações. Este trabalho mostrou que é possível realizar uma pesquisa de campo com voluntários para analisar as eventuais alterações no sistema neuromuscular por meio de técnicas estatísticas, após a extração do sinal do eletromiógrafo ou acelerômetro.

## 6 Referências

- BEAR, M. F.; CONNORS, B.W.; PARADISO, M. A. **Neurociências - Desvendando o Sistema Nervoso**. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- BERNE, R. M. et al. **Physiology**. Saint Louis: Mosby, 2003.
- COSTANZO, L. S. **Physiology**. Saint Louis: Elsevier, 2007.
- EVANS, W. J. et al. Frailty and muscle metabolism dysregulation in the elderly. **Biogerontology**, v. 11, p. 527-536, 2010.
- FERREIRA, A. S. **Lesões Nervosas Periféricas – Diagnóstico e Tratamento**. São Paulo: Santos Livraria, 1999.
- FRADEN, J. **Handbook of Modern Sensors**. New York: Springerlink, 2010.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 11. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- HAMERMAN, D. Aging and the musculoskeletal system. **Annals of the Rheumatic Diseases**, v. 56, p. 578-585, 1997.
- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia Básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- LACOURT, M. X.; MARINI, L. L. Decréscimo da função muscular decorrente do envelhecimento e a influência na qualidade de vida do idoso: uma revisão de literatura. **RBCEH - Revista Brasileira de Ciências do Envelhecimento Humano**, v. 2006, n. 1, p. 114-121, 2005.
- LAMB, R.; HOBART, D. Anatomic and Physiologic Basis for Surface Electromyography. In: SODERBEG, C. L. (Ed.). **Selected Topics in Surface Electromyography for Use in the Occupational Setting: Expert Perspectives**. Washington: U.S. Department of Health and Human Services, 1992. p.6-23.
- LENT, R. **Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais**. São Paulo: Atheneu, 2002.
- RAETHJEN, J. et al. Tremor analysis in two normal cohorts. **Clinical Neurophysiology**, v. 2004, p. 2151-2156, 2004.
- SODERBERG, G. L. Recording Techniques. In: SODERBEG, C. L. (Ed.). **Selected Topics in Surface Electromyography for Use in the Occupational Setting: Expert Perspectives**. Washington: U.S. Department of Health and Human Services, 1992. p.24-43.
- TIMMER, J. et al. Cross-spectral analysis of physiological tremor and muscle activity. **Biological Cybernetics**, n. 78, p. 349-357, 1998.



TOYOKURA, M.; ISHIDA, A. Clinical significance of the F-wave area in diabetic polyneuropathy. **Electromyography and Clinical Neurophysiology**, n. 39: 93-99, 1999.

WHARRAD, H. J.; JEFFERSON, D. Distinguishing between physiological and essential tremor using discriminant and cluster analyses of parameters derived from the frequency spectrum. **Human Movement Science** n. 19, p. 319-339,2000.