

FUNDAMENTOS DA ELETROMIOGRAFIA

Prof. Dr. Guanys de Barros Vilela Junior

O que é Eletromiografia?

- Trata-se de um método de registro dos potenciais elétricos gerados nas fibras musculares em ação.
- Enquanto técnica, consiste na aquisição e tratamento do sinal elétrico produzido na musculatura a partir da estimulação de unidades motoras (UMs).

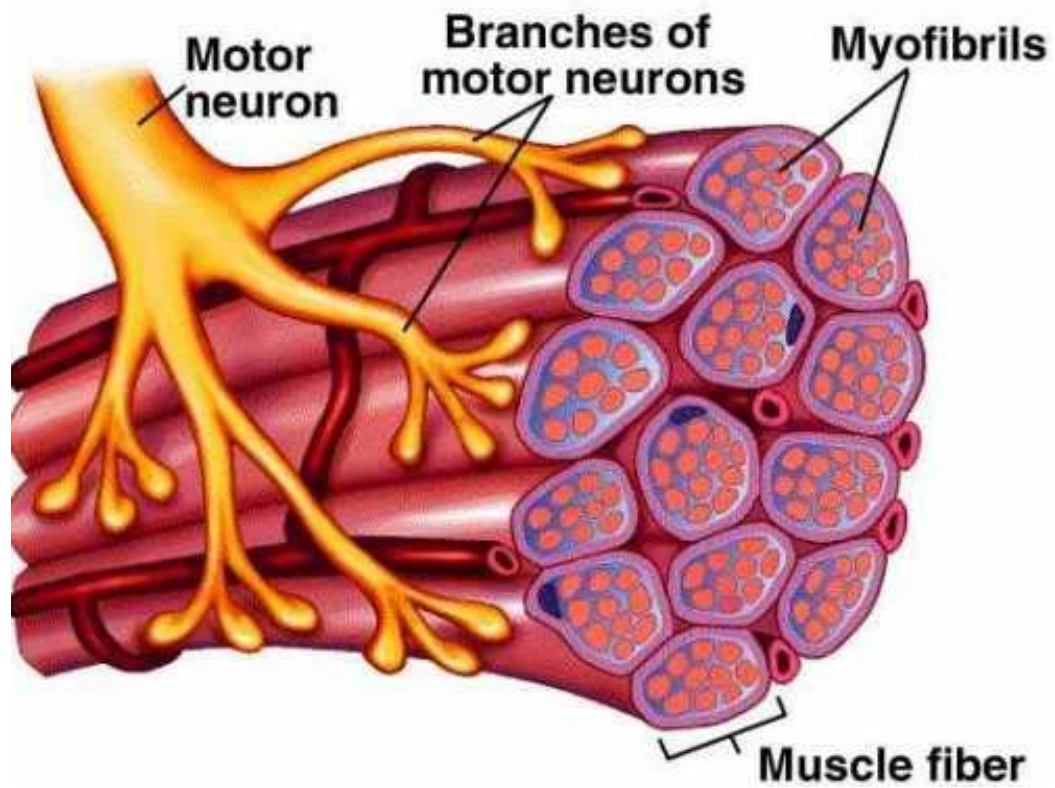
Para que serve a Eletromiografia?

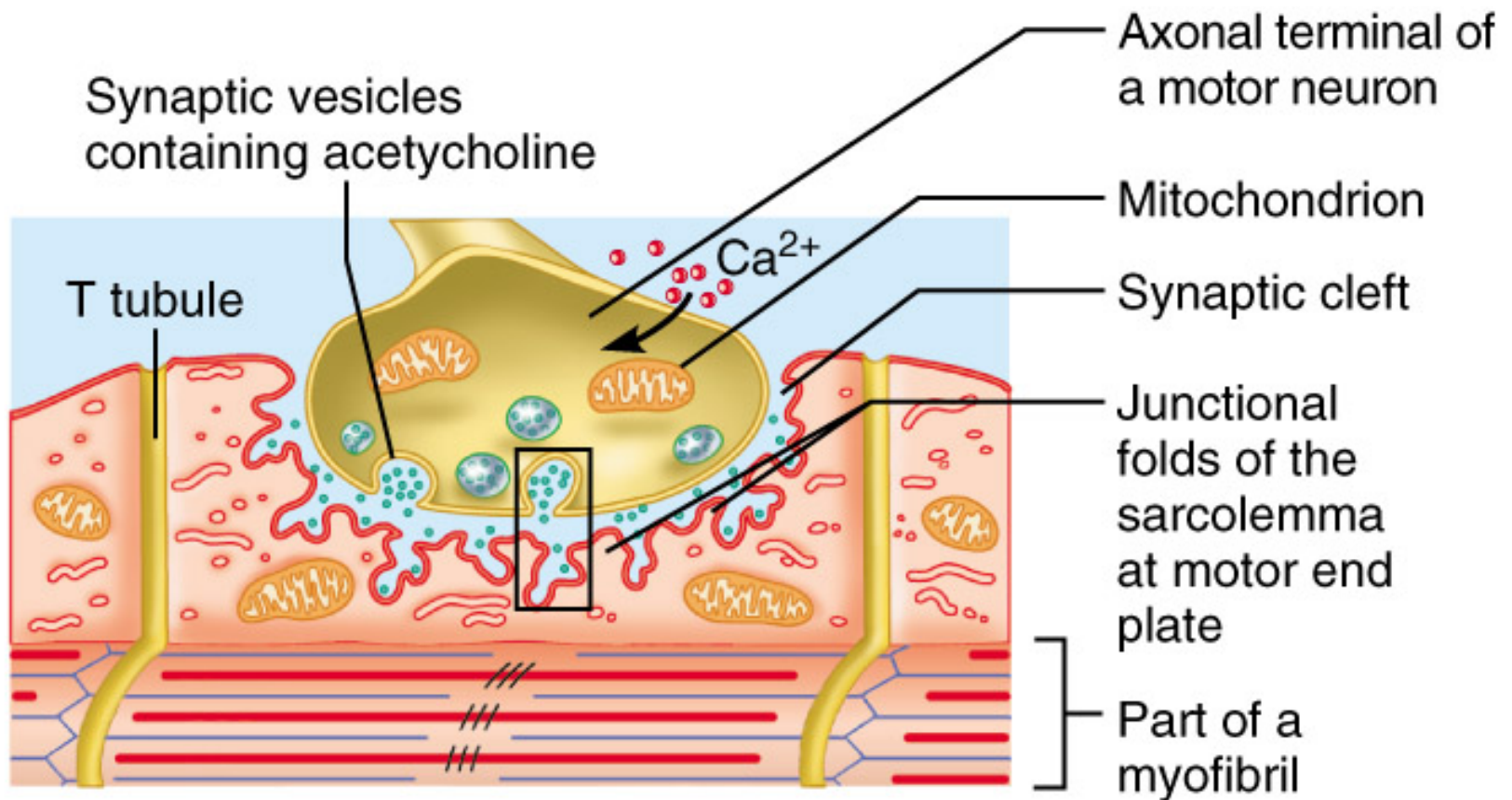
- Na biomecânica, o registro da atividade eletromiográfica permite a investigação de quais músculos são utilizados em determinado movimento, o nível de ativação muscular durante a execução do movimento, a intensidade e duração da solicitação muscular, além de possibilitar inferências relativas à fadiga muscular.

Princípios fisiológicos

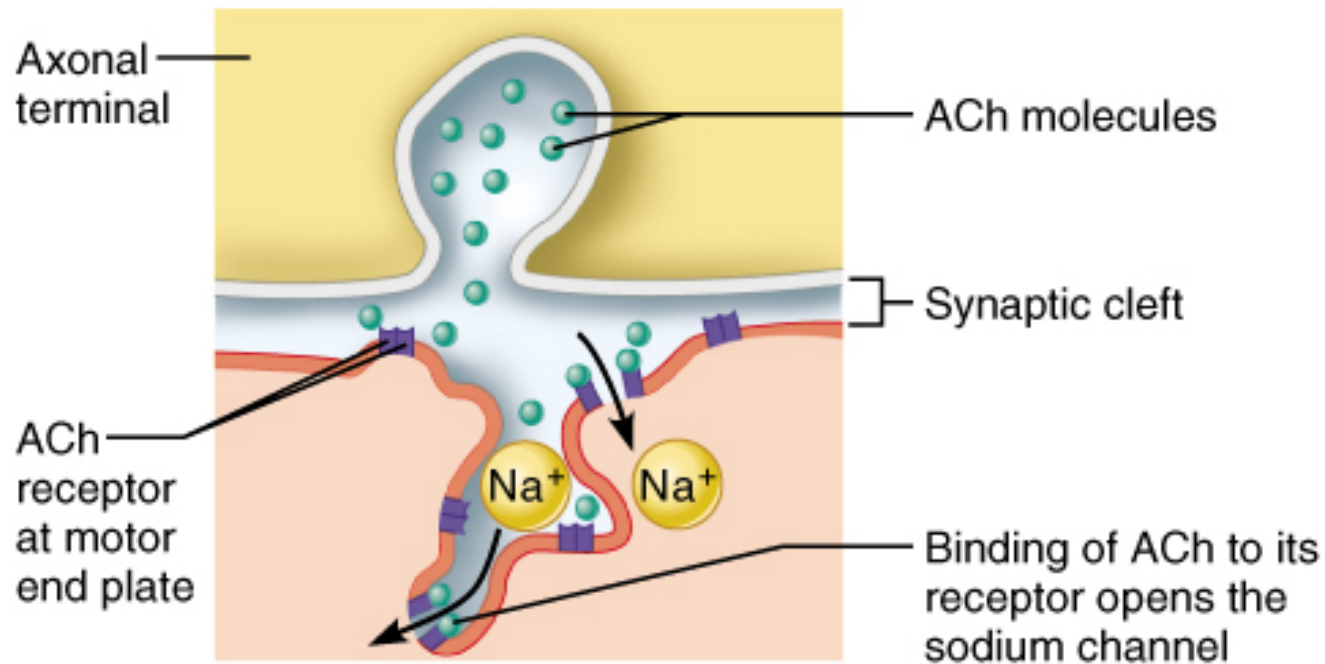
- A membrana pós-sináptica de uma fibra muscular é despolarizada pelo influxo de Na^+ para o interior do sarcolema, esse movimento de íons gera um campo eletromagnético na periferia das fibras musculares.
- O potencial de ação da unidade motora (PAUM) é a somação temporal e espacial dos potenciais de ação individuais de todas as fibras de uma UM.

The Motor Unit



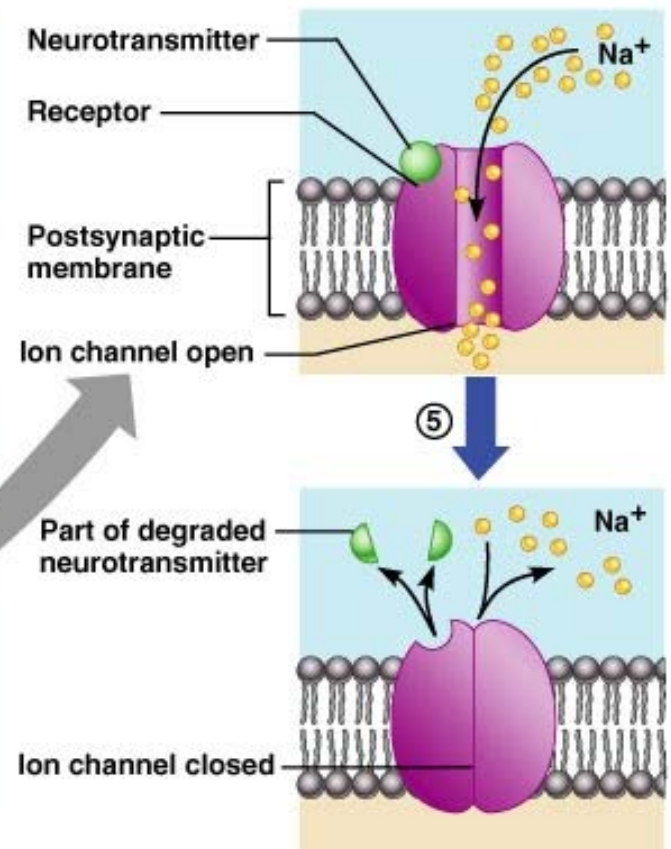
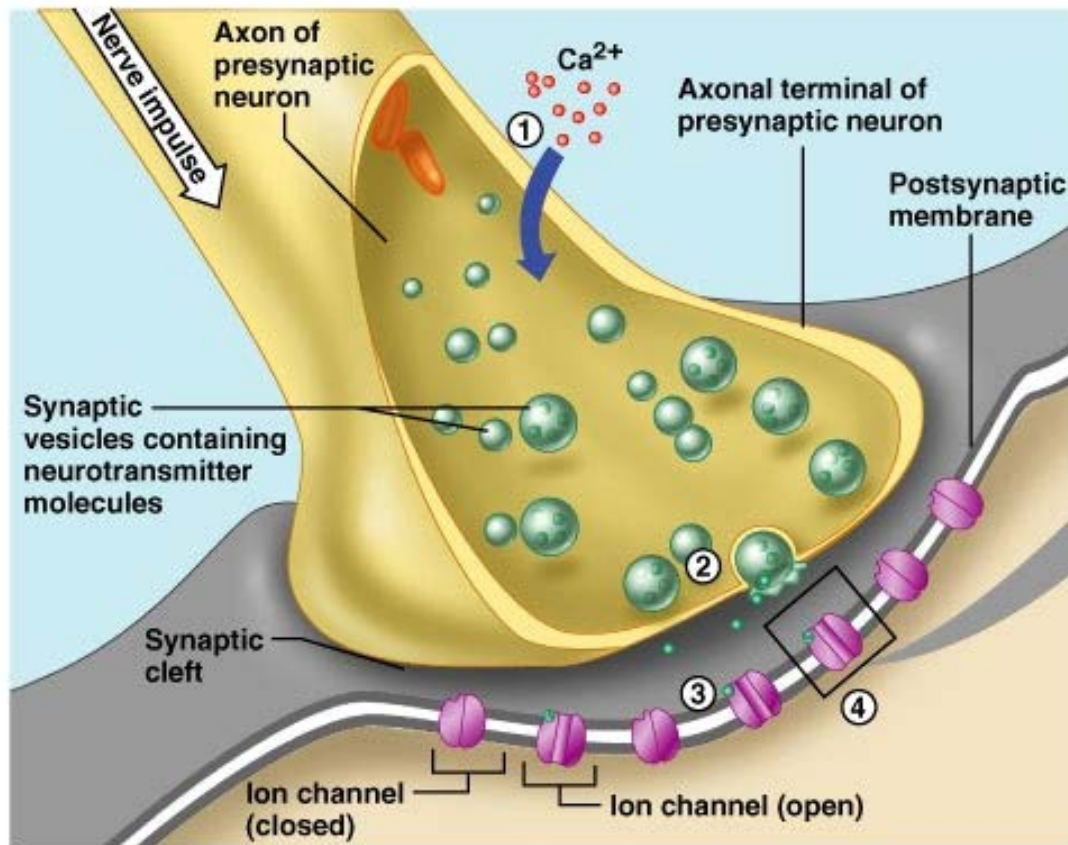


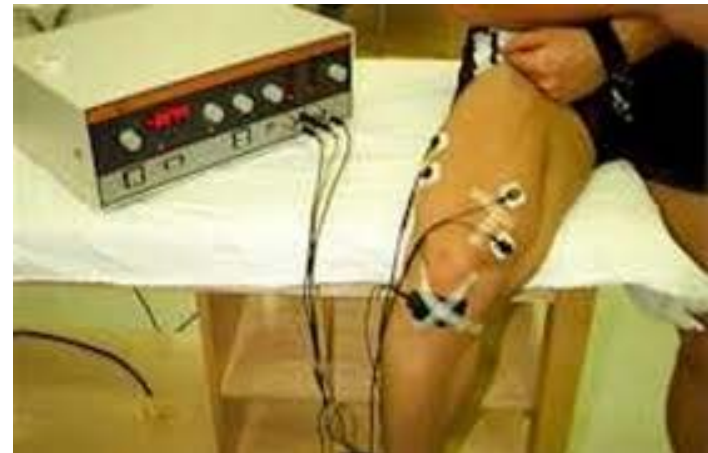
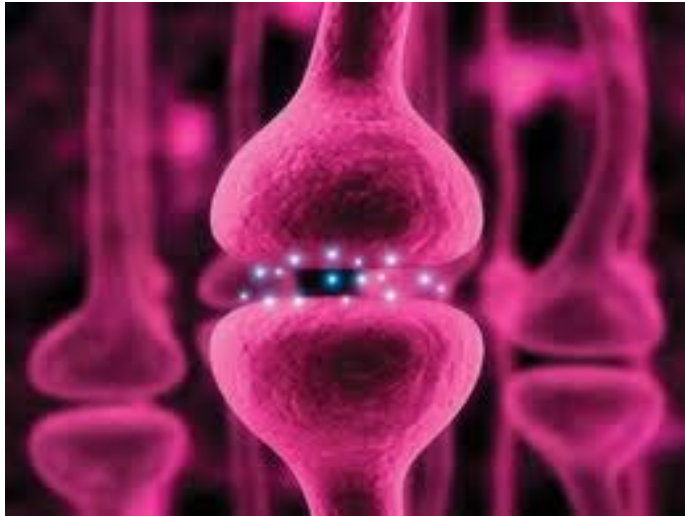
(b)



(c)

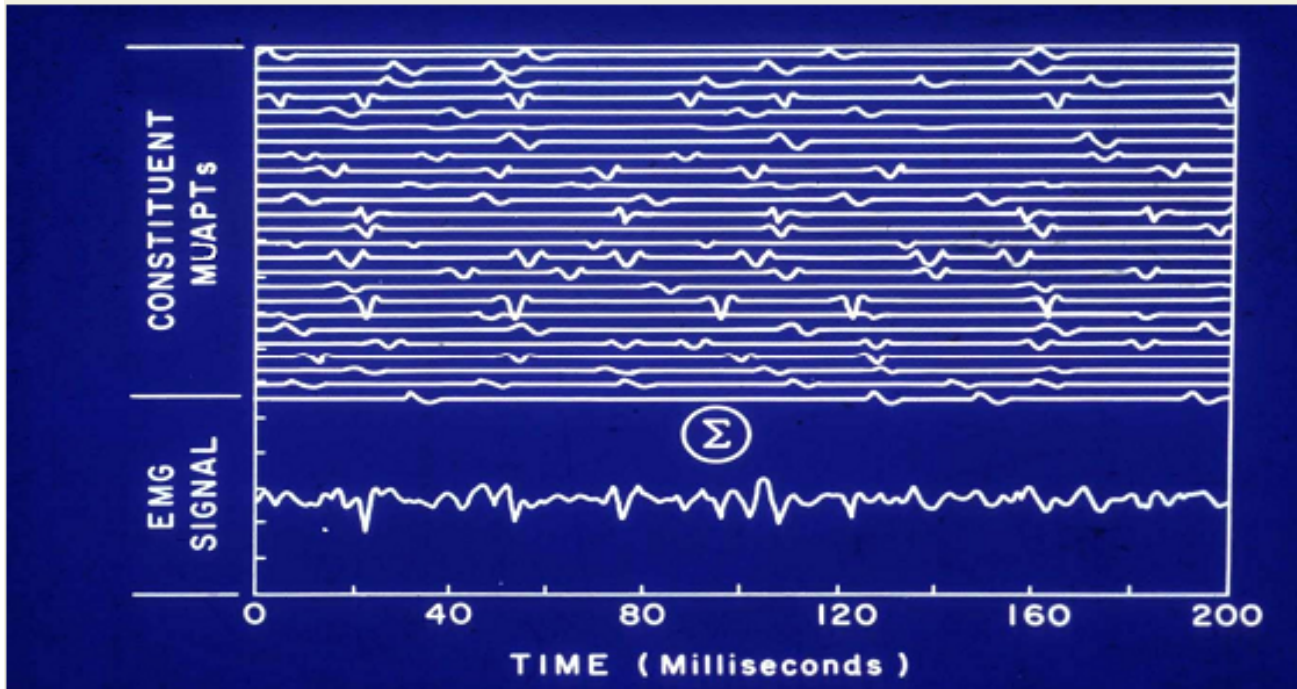
Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.



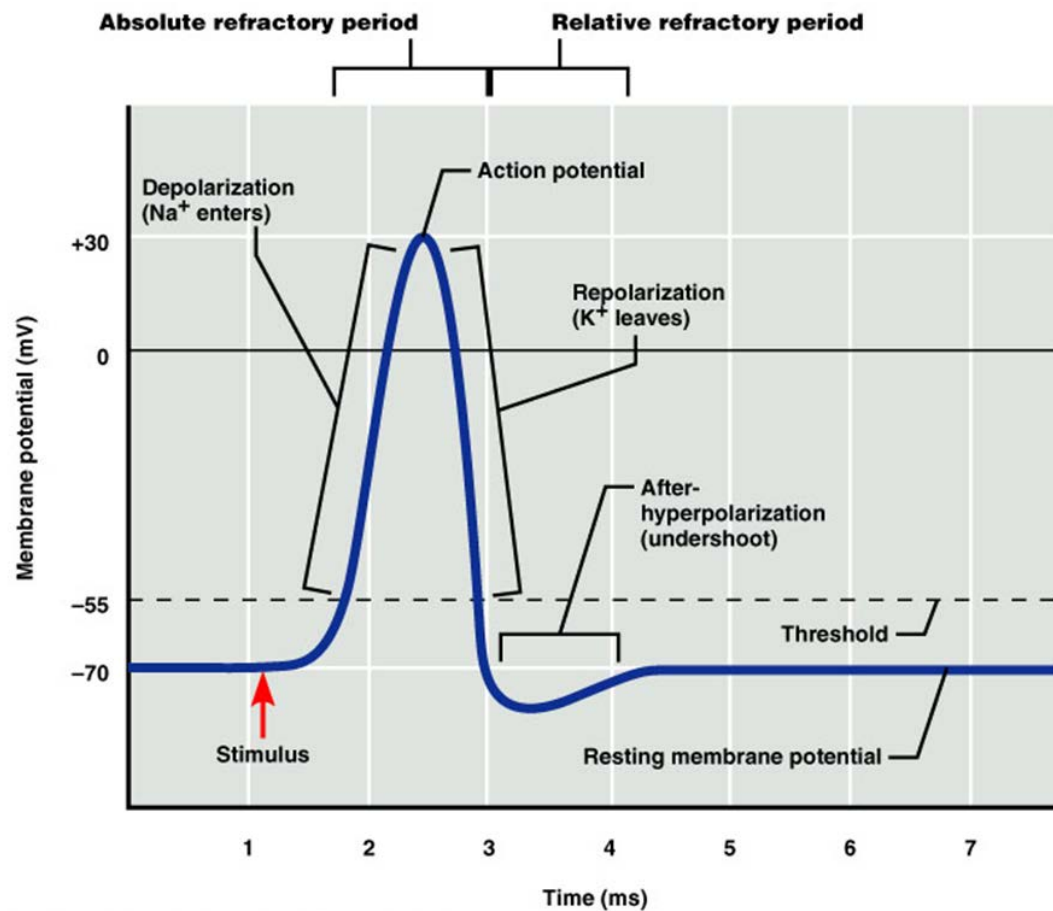


Princípios fisiológicos

- Na aquisição do sinal de EMG, a amplitude do PAUM depende de muitos fatores como a taxa de disparo, características da membrana da fibra muscular, diâmetro da fibra muscular, distância entre a fibra muscular ativa e o local de detecção do sinal EMG, a área de superfície de captação dos eletrodos e a extensão em que os eletrodos estão distribuídos sobre o músculo, ou seja, o local de posicionamento dos eletrodos.



- Sinais produzidos por 25 UMs durante 0,2s.
- A soma destes sinais que é captada pela EMG.
- Aplicando um zoom em uma delas teremos:



Princípios fisiológicos

- Para a manutenção da contração muscular, o sistema nervoso envia uma seqüência de estímulos, para que as UMs sejam repetidamente ativadas, resultando em um pulso de PAUMs, que indicará a taxa de disparo de impulsos eletromiográficos.

Princípios fisiológicos

- O tecido existente entre a fibra muscular e o local do eletrodo cria um efeito de filtro passa-baixa, cuja largura de banda diminui com o aumento da espessura do tecido, isso quer dizer quando maior a espessura desse tecido, maior é a impedância (ruído) para captação do sinal EMG.

Princípios fisiológicos

- **IMPEDÂNCIA (Z):** é a resistência que os biomateriais (pele, cartilagem, fáscia, músculo, osso, ligamento, gordura, etc.) oferecem à uma corrente alternada.
- Lei de Ohm: $Z = U/i$
Z em Ω no SI
U ddp entre dois pontos em Volts
i corrente em Ampere



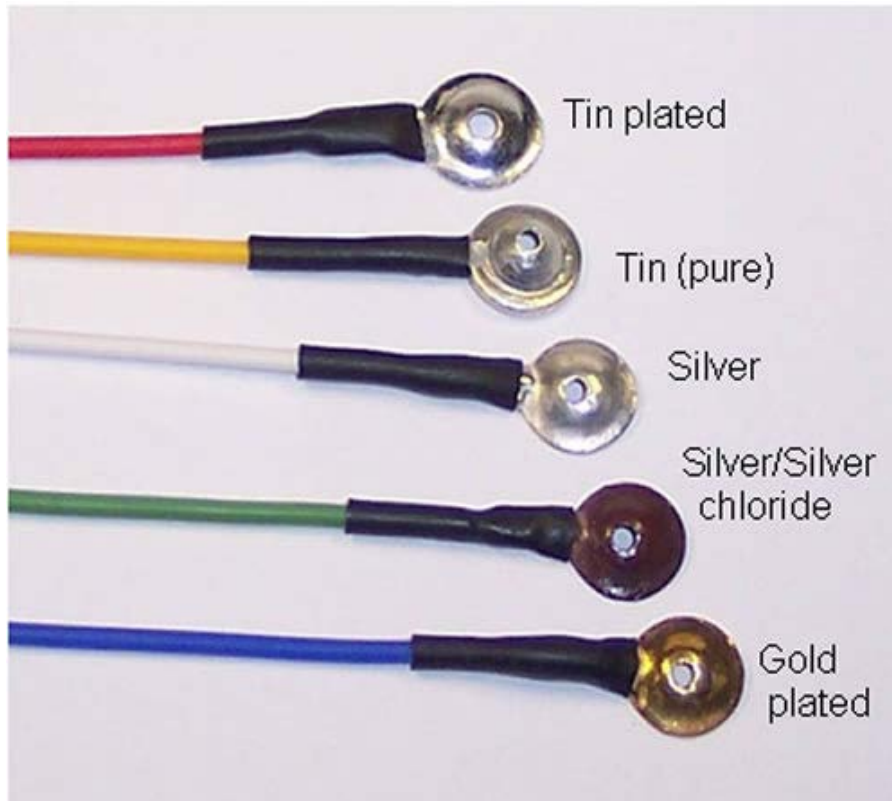
Aspectos técnicos - Eletrodos

- Além de a EMG ser dependente de propriedades fisiológicas, é também influenciada pelas propriedades não fisiológicas como a configuração do eletrodo:
- Tamanho,
- Forma,
- Colocação
- Tipo de filtro utilizado para a detecção do sinal.

Aspectos técnicos - Aquisição do sinal

- Relativamente à aquisição do sinal EMG em músculos de grande e variada penetração e que, consequentemente, apresentam fibras musculares de comprimento reduzido (por exemplo, o músculo quadríceps femoral), torna-se necessário grande rigor no controle dos pontos em que são colocados os eletrodos, evitando-se assim a coleta do sinal EMG oriunda de diferentes UMs e respectivas fibras musculares em momentos distintos da investigação

Aspectos técnicos - Eletrodos

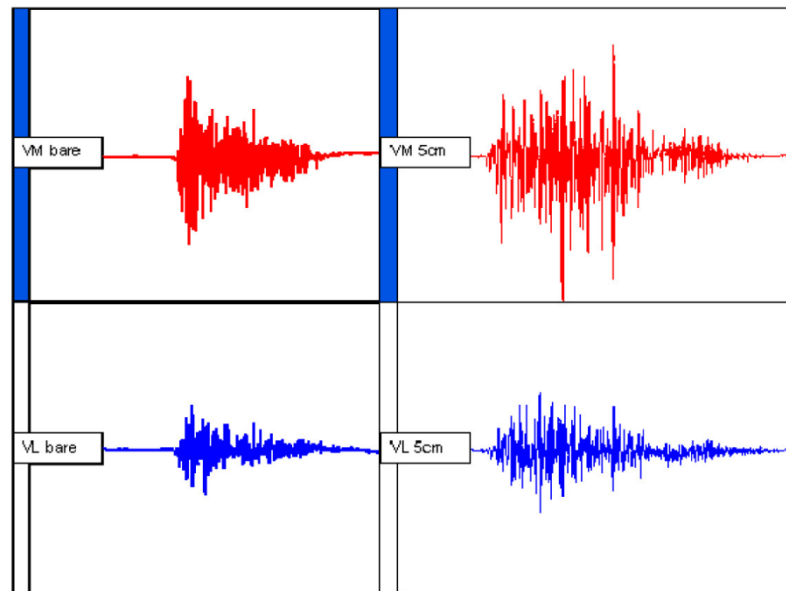


- Para as diferentes situações diferentes tipos de eletrodos.



Aspectos técnicos - Aquisição do sinal

- A análise do sinal EMG depende do objetivo que originou a sua coleta. O sinal pode ser processado e posteriormente interpretado nos domínios temporal e da frequência do sinal.

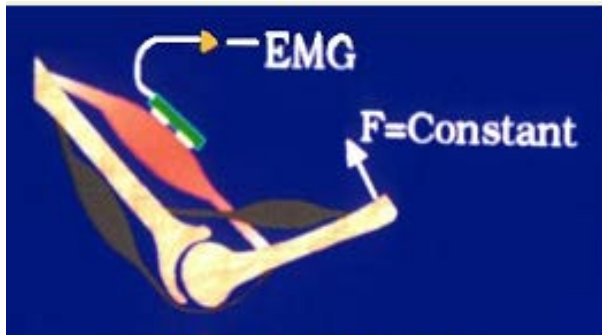


Aspectos técnicos - Aquisição do sinal

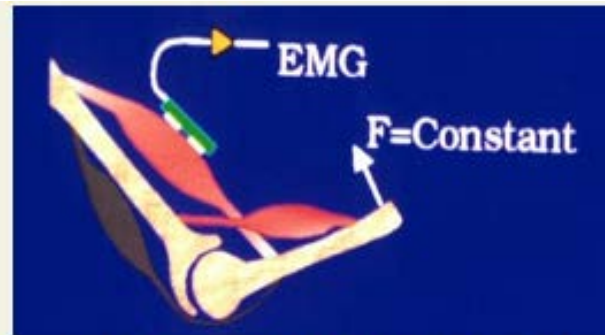
- A melhor localização do eletrodo é realizada entre o ponto motor e o tendão de inserção do músculo, além disso, suas barras de captação devem estar perpendiculares às fibras musculares e suas superfícies de captação separadas por no máximo 40 mm.
- De forma a obter uma padronização mais fidedigna dos dados analisados, o SENIAM (Surface EMG for a Non-Invasive Assessment of Muscles) detalha esses procedimentos (recomendações de configuração e posicionamento dos eletrodos).

Aspectos técnicos - Eletrodos

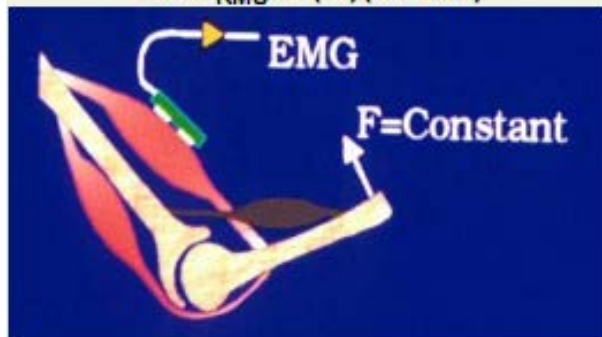
- O registro EMG, obtido com eletrodos de superfície ou de profundidade permite realizar:
 1. **Análise do sinal no domínio do tempo**, ou seja, o possível aumento do número de UMs ativadas durante uma solicitação muscular;
 2. **Análise do sinal no domínio da frequência de ativação**, ou seja, quantas vezes na unidade de tempo as UMs são ativadas numa condição isométrica ou dinâmica.



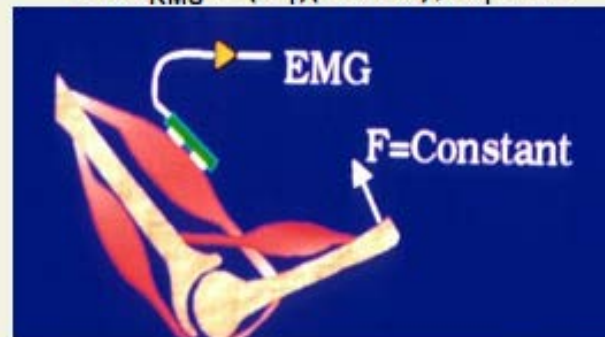
$$EMG_{RMS} = (K)(Force)$$



$$EMG_{RMS} = (K_1)(Force), K_1 < K$$



$$EMG_{RMS} = (K_2)(Force), K_2 > K$$



$$EMG_{RMS} = (?) (Force)$$

Aspectos técnicos – Análise do sinal

- Em relação à análise no domínio do tempo, a amplitude do sinal captado de músculos superficiais é minimizada por fatores como a resistência da pele e do tecido adiposo subcutâneo, que variam de uma localização para outra.
- Neste sentido, não se pode comparar valores de EMG absolutos entre indivíduos, de um músculo para outro, e até para o mesmo músculo se a colocação dos eletrodos é alterada.

Aspectos técnicos - Aquisição do sinal

- No domínio do tempo, o sinal pode indicar o tempo em que determinado músculo iniciou e terminou a sua ativação, bem como a quantidade de sua ativação (amplitude do sinal EMG).
- Neste tipo de análise podem-se utilizar basicamente os valores em RMS (valor médio da raiz quadrada), a integral e o valor retificado pela frequência média, que nos fornece parâmetros da amplitude do sinal.

Aspectos técnicos - Aquisição do sinal

- No domínio da frequência é possível determinar o conteúdo de frequência do sinal EMG. Uma forma comumente utilizada para caracterizá-la é a frequência média (F_m), que representa o valor central do espectro de frequência. Alternativamente, a frequência mediana (F_{med}) é a frequência que divide o espectro em duas metades com base no conteúdo de energia do sinal.
- Estes parâmetros refletem a velocidade de condução da fibra muscular e o recrutamento das UMs diminui com a exposição do indivíduo a fadiga muscular, exibindo mudanças antes de qualquer modificação de força, sendo assim são aplicados principalmente como um indicativo de início de fadiga contrátil.

Relação Força / EMG

- Uma aproximação alternativa incorpora dados de EMG e dados anatômicos para se desenvolver métodos de estimação da força muscular. Neste caso, a EMG é utilizada para o estudo do mecanismo fisiológico da modulação da força aplicada a certa resistência empregada a uma articulação.
- A força produzida por um músculo em contração é resultado da atividade global de suas fibras musculares. Por outro lado, a EMG de superfície revela somente uma visão localizada da atividade elétrica do músculo, pois o eletrodo de superfície não possibilita captar todo o sinal gerado no volume muscular.

Relação Força / EMG

- A investigação da determinação das magnitudes e direções das forças que atuam nas articulações humanas tem sido um tópico de extrema relevância, porém com algumas dificuldades no campo da biomecânica.
- A mensuração de forças aplicadas na articulação e uma estimativa de como estas forças são divididas para os músculos adjacentes, ligamentos e superfícies articulares são fundamentais para entender a função articular.
- Esta informação também é necessária no desenho de implantes ortopédicos e tratamentos cirúrgicos, no desenvolvimento de modelos biomecânicos, principalmente na compreensão básica do sistema mecânico musculoesquelético humano e em processos de adaptações neuromusculares ao treinamento.

Relação Força / EMG

- Em músculos maiores, mistos (como o quadríceps), a distribuição irregular e recrutamento de diferentes tipos de UMs podem gerar sinais captados na superfície que não refletem precisamente a atividade elétrica relativa do músculo.
- Apesar das limitações, há fortes indícios também que ocorra uma proporcionalidade direta na relação entre força e sinal EMG, pois a EMG apresenta uma relação direta com os fenômenos musculares internos.

Aspectos técnicos – Análise do sinal

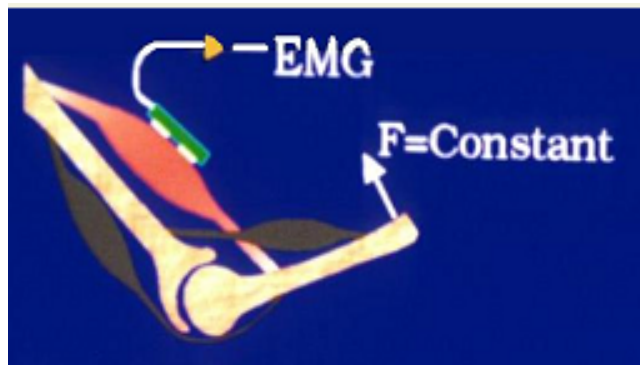
- Ressalta-se também que a EMG é um indicativo indireto de acontecimentos fisiológicos do músculo, os quais são extremamente individualizados.
- Comparações podem, entretanto, ser feitas se os valores são expressos como uma porcentagem daqueles obtidos durante contrações padronizadas, ou seja, normalizando previamente o sinal.

Relação Força / EMG

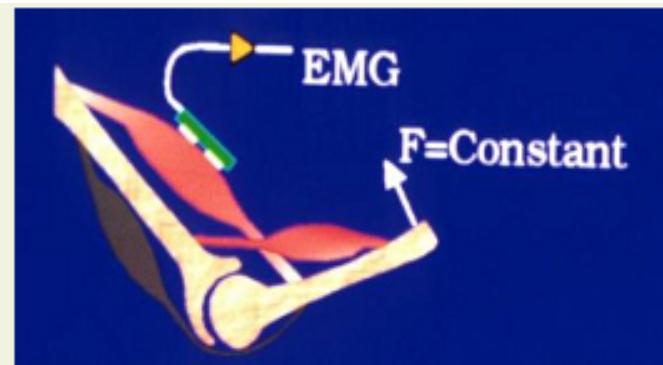
- UMs lentas, de baixo-limiar são concentradas em localizações mais profundas enquanto UMs rápidas estão em camadas superficiais.
- O recrutamento de muitas UMs profundas pode aumentar a força com nenhuma variação significativa na amplitude.

Relação Força / EMG

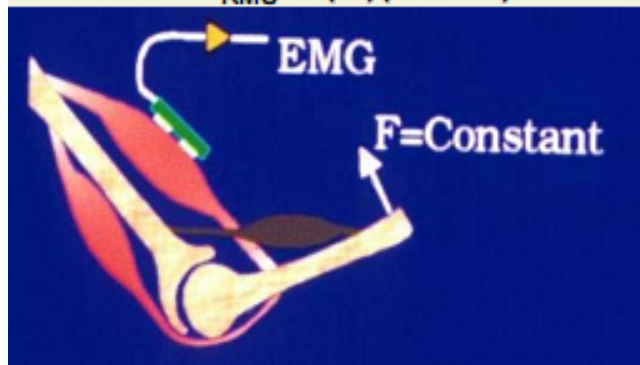
- A ativação elétrica das fibras musculares precede os eventos mecânicos, e por outro lado, a condição do aparelho contrátil influencia as propriedades de membrana das fibras musculares e, assim, os sinais elétricos do tecido muscular.
- A produção de força, a amplitude do potencial de ação adquirido extracelularmente é determinada pela área de secção transversal da fibra, porém existe a inconveniência desse sinal ser influenciado pela diferença de velocidades de condução do potencial de ação ao longo da fibra.



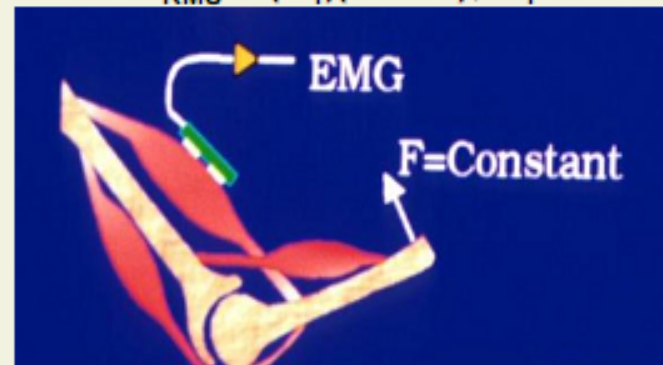
$$EMG_{RMS} = (K)(Force)$$



$$EMG_{RMS} = (K_1)(Force), K_1 < K$$



$$EMG_{RMS} = (K_2)(Force), K_2 > K$$



$$EMG_{RMS} = (?)(Force)$$

- Está bem definido também que a atividade elétrica no músculo é determinada pelo número de fibras musculares recrutadas e sua frequência média de excitação, os mesmos fatores que determinam a força muscular.
- A existência da relação entre sinal EMG e a força produzida durante os eventos de contração muscular é aplicada no contexto de quanto mais longa a duração do PAUM, maior é a porcentagem de aumento na amplitude de EMG causada pela sincronização.

Aquisição do sinal EMG em Não Isometria

- Apesar disso a investigação da EMG em exercício dinâmico tem maior relevância pela semelhança das condições dinâmicas no desporto e nas atividades de vida diária.
- Basmajian e De Luca relatam que a relação entre a intensidade do sinal EMG e a força aferida normalizada do músculo, durante uma contração isométrica, possui particularidades como uma considerável variação intersujeitos que é dependente do músculo e apresenta uma relação quase linear para pequenos músculos (a exemplo músculos do carpo) e não-linear para os grandes músculos tanto de membros superiores quanto de inferiores.

- Especificamente, a frequência de ativação das UMs parece ter um papel mais evidenciado em pequenos músculos, enquanto o recrutamento tem maior influência por toda a amplitude de força contrátil em grandes músculos de composição de fibras mista.
- Admita um sujeito mantendo em isometria o cotovelo em flexão contra uma carga qualquer:

Aquisição do sinal EMG em Isometria

- É bem documentado na literatura que em condições isométricas a magnitude do sinal EMG apresenta uma razoável estimativa de força exercida pelo músculo.
- Em isometria a relação EMG e Força muscular é linear.

Aquisição do sinal EMG em Não Isometria

- Outros fatores também devem ser cuidadosamente observados, como alterações geométricas entre as fibras musculares e o eletrodo, as relações força/comprimento e força/velocidade dos músculos, e a mudança do centro de rotação instantâneo da articulação que afetará o momento da inserção do tendão.

Aquisição do sinal EMG em Não Isometria

- Embora isso ocorra, essa relação durante o exercício dinâmico ainda não está bem estabelecida na literatura. Apesar disso a investigação da EMG em exercício dinâmico tem maior relevância pela semelhança das condições dinâmicas no desporto e nas atividades de vida diária.

Aquisição do sinal EMG em Não Isometria

- Assim, por exemplo, UMs de alto limiar podem ser recrutadas em níveis de força dinâmica em níveis relativamente mais baixos.
- Ainda não está definido se diferenças no padrão de recrutamento entre contrações estáticas e dinâmicas em níveis de força submáximos resultará em diferentes relações entre força/EMG.

Aquisição do sinal EMG em Não Isometria

- Em contrações dinâmicas, a relação força/EMG apresenta uma maior complexidade devido às características dinâmicas do movimento. Mudanças no ângulo articular sobre o qual um músculo é fixado podem alterar a geometria muscular e então as posições relativas entre as UMs ativas e os eletrodos de superfície.
- Isso pode causar uma mudança no sinal EMG que não está relacionada com o impulso elétrico enviado ao músculo proveniente do sistema nervoso.

Aquisição do sinal EMG em Não Isometria

- Mas, apesar do possível deslocamento de eletrodo e complicações supracitadas, Larsson et al., verificaram uma alta reprodutibilidade do pico de torque e dos valores RMS dos músculos VM, VL e RF durante três séries de 10 contrações dinâmicas.
- Também há algumas indicações de que o limiar de recrutamento é menor em contração dinâmica, ou seja, o total recrutamento das UMs é presente em menores níveis na contração dinâmica do que na estática.

Aquisição do sinal EMG em Não Isometria

- Linnamo et al., concluíram que o “princípio do tamanho”, ou seja, (o recrutamento de fibras lentas resistentes à fadiga primeiro e após fibras rápidas não resistentes a fadiga) é também válido durante contrações concêntricas, quando a força adicional é devido ao aumento da taxa de disparo de UMs já ativas.

Aquisição do sinal EMG em Não Isometria

- As UMs rápidas podem aumentar sua frequência até 100% CVM enquanto UMs lentas saturam em baixos níveis de força, em aproximadamente 60-80% da CVM.
- Em se tratando da variável EMG utilizada para comparação com a força, são encontrados na literatura tanto estudos envolvendo a relação intensidade do sinal EMG/força quanto em estudos que comparam força com a F_{med} e/ou F_m do sinal.

Relação Força e Frequência do sinal

- Na literatura, as investigações relativas à relação frequência/força também apresentam controvérsias.
- O aumento na F_m e/ou F_{med} com o aumento da força são atribuídos ao resultado do recrutamento de novas e maiores UMs, com um consequente aumento na velocidade do potencial de ação, a exemplo de investigações realizadas após um período de treinamento, já que F_m e F_{med} refletem a velocidade de condução média, que é proporcional ao diâmetro médio da fibra muscular.

Relação Força e Frequência do sinal

- Assim, pode-se esperar que a direção da mudança na F_m/F_{med} com o aumento da força dependa do tamanho relativo das fibras musculares pertencentes às Ums.
- Apesar disso, Onishi et al., não encontraram qualquer correlação linear entre F_{med} e força de extensão do joelho. E também Farina et al., baseados em simulações e experimentos utilizando o músculo bíceps braquial em seus experimentos, concluíram que não parece ser razoável esperar uma relação geral entre variáveis espectrais e força. Já no estudo de Karlsson e Gerdle, utilizando a transformada contínua de wavelet encontraram uma relação F_m /força.

Relação Força e Frequência do sinal

- Pelo contrário, se as UMs ao redor do eletrodo são recrutadas gradualmente, tal relação pode ser do tipo não-linear.
- Entretanto, conseguir esse tipo de controle muscular é uma tarefa de difícil manipulação, pois requer submeter indivíduos a um longo período de treinamento.

Relação Força e Frequência do sinal

- As razões para essas inconsistências podem incluir: as técnicas para detectar alterações na F_m/F_{med} , o protocolo utilizado para obter a relação F_m/F_{med} -força, o tipo de músculo em estudo e musculatura antagonista investigada.
- Apesar disso, Guimarães et al., relatou em seu estudo que músculos com composição de tipo de fibras homogênea, como o sóleo do gato, têm uma relação EMG/força de forma linear.

Filtros

- Podem ser de:
 1. Hardware – circuitos analógicos
(amplificadores, resistores, capacitores)
 2. Software ou filtros Digitais – algoritmos
específicos como Butterworth, Chebyshev,
etc.

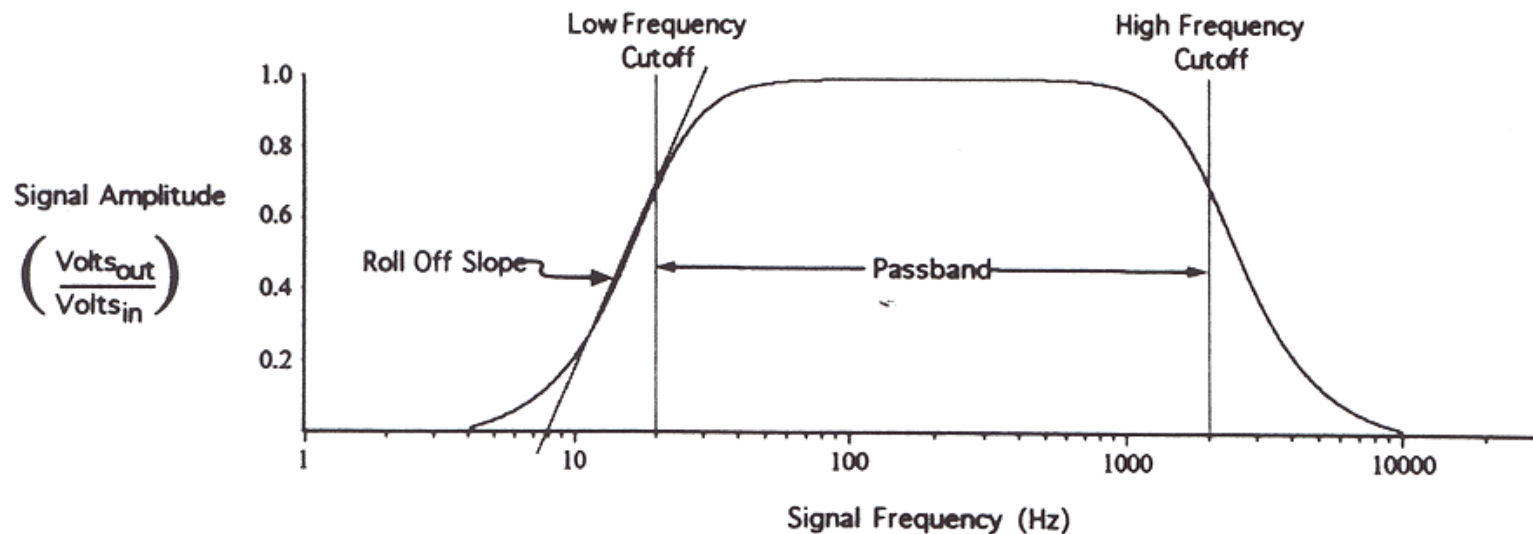
Relação Força e Frequência do sinal

- Solomonow et al., encontraram que as relações entre **EMG/força** também dependem da estratégia de controle muscular exercidas durante a contração muscular.
- De acordo com esta estratégia, se as UMs ao redor do eletrodo são totalmente recrutadas em baixo nível de ativação muscular, a relação EMG/força possivelmente seja linear.

Filtros

- Filtros servem para atenuar sinais em várias áreas do conhecimento.
- Na EMG, quando a frequência do ruído difere da frequência do sinal de interesse, seu uso possibilita a limpeza do sinal.
- Fibras lentas na UMs: 70 – 125 Hz
- Fibras rápidas na UMs: 125 – 250 Hz
- Rede elétrica de 120 V: 60 Hz

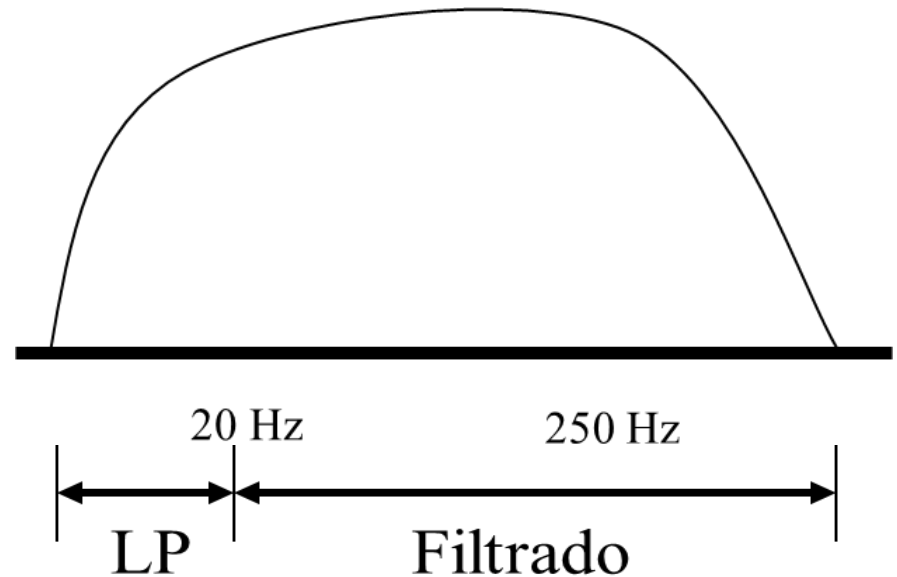
Principais Filtros - Frequência



Principais Filtros

Filtro Low Pass (LP)

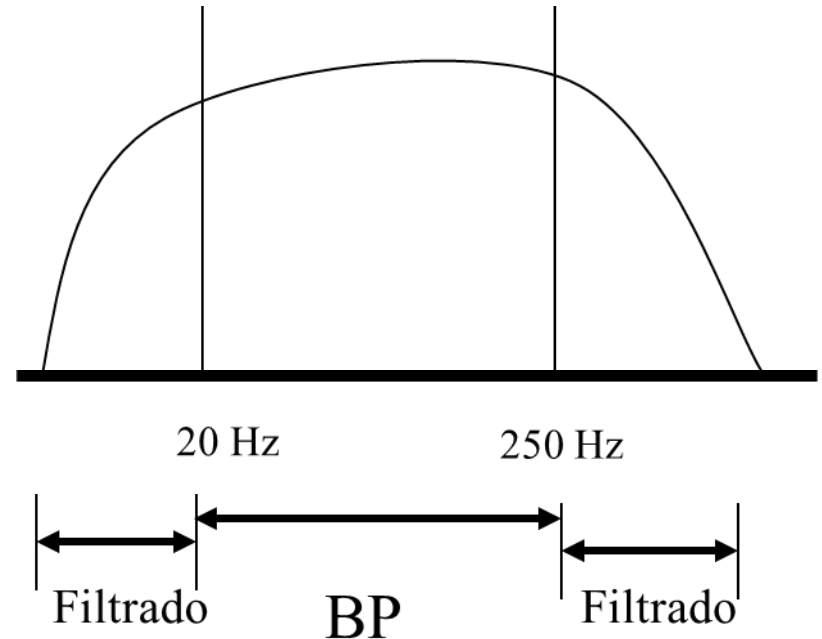
- Elimina componentes de alta frequência acima de um valor.



Principais Filtros

Filtro Baixa – Alta frequência

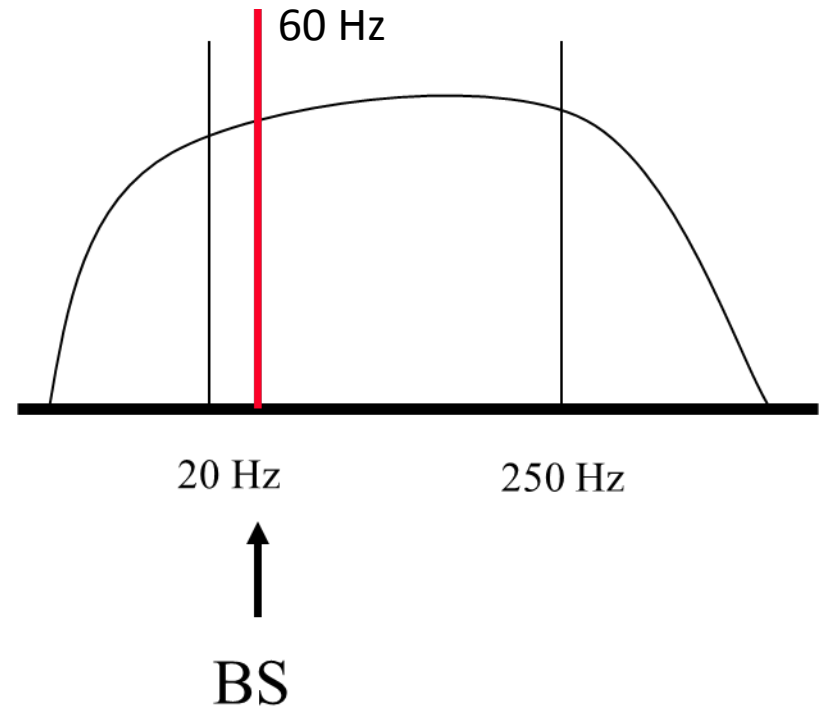
- Filtro Band Pass (BP)
- Remove frequências abaixo e acima de valores de corte.



Principais Filtros

Filtro Band Stop (BS)

- Remove uma frequência específica (por exemplo: 60 Hz)



Tratamento do sinal

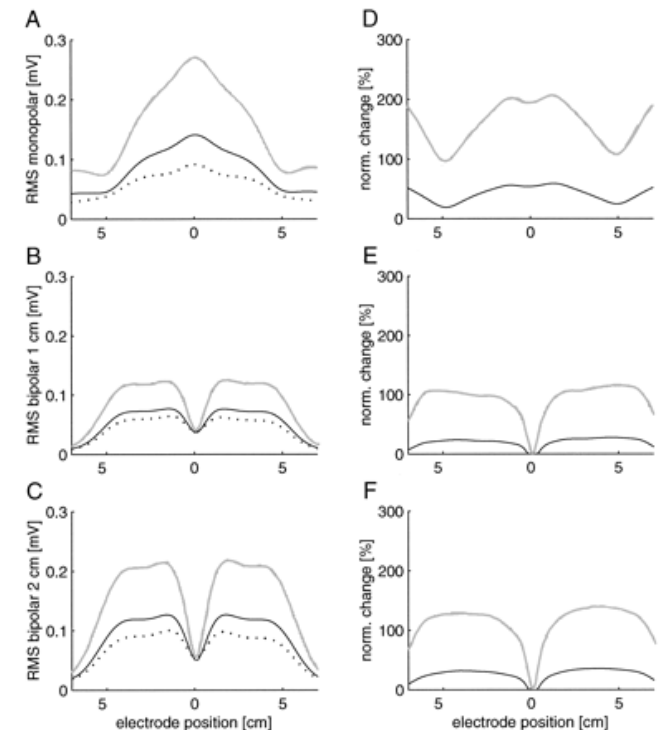
- Estatística Descritiva
 - Números de picos (máximos)
 - Amplitude do Pico (em mV)
 - Média, mediana
 - Variabilidade do sinal
- Root Mean Square (RMS)

RMS

- Unidades Motoras
 - Taxa de disparo
 - Duração
 - Velocidade do sinal elétrico
- Configuração do Eletrodo
- Instrumento (característica do amplificador)

RMS

- Elevar ao quadrado as amplitudes individuais
- A média dos quadrados das amplitudes é calculada
- A raíz quadrada é calculada

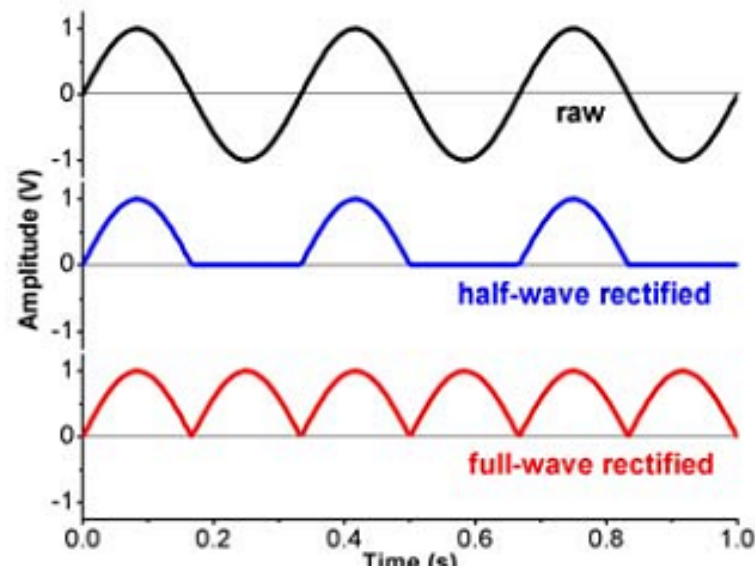


RMS

- Tende a ser consistente com a natureza da atividade realizada
 - Movimentos lentos
 - Usar tempo maior
 - Movimentos rápidos
 - Usar um tempo pequeno

Retificação do sinal

- Método de tratamento do sinal onde o interesse é pelo módulo do mesmo.



Normalização do sinal

- Método para facilitar a leitura e análise do sinal.
- Usualmente é realizada através da divisão dos valores obtidos por um valor de referência.
- Por exemplo pode ser o valor médio do sinal, ou o valor máximo.

Considerações finais

- A EMG precisa ser utilizada com grande rigor no controle da aquisição do sinal.
- É um instrumento bastante confiável na análise de contrações isométricas.
- É controverso em situações dinâmicas.
- Muitas vezes será interessante normalizar o sinal para melhor análise.
- Precisa ser mais estudado.
- Cuidado! Tem MUITOS EQUÍVOCOS no uso da EMG.

Referências

- Alkner BA, Tesch PA, Berg HE. Quadriceps EMG/force relationship in knee extension and leg press. *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32 (2): 459-463.
- Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Andreews JR. Biomechanics of the knee during closed kinetic chain open kinetic chain exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1998; 30 (4): 556–559.
- Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Lander JE, Barrentine SW, Andreews JR, et al. Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 33 (9): 1552-1566.
- Signorile JF, Weber B, Roll B, Caruso JF, Lowensteyn I, Perry AC. An electromyographical comparison of the squat and knee extension exercises. *J Strength Cond Res.* 1994; 8: 178–183.
- Akima H, Takahashi H, Kuno S, Masuda K, Masuda T, Shimojo, et al. Early phase adaptations of muscle use and strength to isokinetic training. *Med Sci Sports Exerc.* 1999; 31 (4): 588-594.
- Ebben WP, Feldmann CR, Dayane A, Mitsche D, Alexander P, Knetzer KJ. Muscle activation during lower body resistance training. *International J Sports Med.* 2009; 30 (1): 1-8.
- Stensdotter AK, Hodges PW, Mellor R, Sundelin G, Häger-Ross C. Quadriceps activation in closed and open kinetic chain exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2003; 35 (12): 2043-2047.
- Da Silva EM, Brentano AM, Cadore EL, De Almeida APV, Kruel LFM. Analysis of muscle activation during different leg press exercise at submaximum effort levels. *J Strength Cond Res.* 2008; 22 (4): 1059-1065.

Referências

- Basmajian JV, De Luca CJ. Muscles alive: their functions revealed by electromyography. Baltimore: Williams and Wilkins; 1985.
- De Luca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. J Appl Biomech. 1997; 13:135-163.
- MacDonald JH, Farina D, Marcora SM. Response of Electromyography Variables during Incremental and Fatiguing Cycling. Med Sci Sports Exerc. 2008; 40 (2): 335-344.
- Soderberg GL, Knutson LN. A Guide for use and interpretation of kinesiology electromyographic data. Phys Ther. 2000; 80 (5): 485-498.
- De Luca CJ, Adam A, Wotiz R, Donald LG, Nawab SH. Decomposition of surface EMG signals. J Neurophysiol. 2006; 96 (3): 1646–1657.
- Stashuk D. EMG signal decomposition: how can it be accomplished and used? J Electromyogr Kinesiol. 2001; 11 (3): 151–173.
- Hermens HJ, Vollenbroek-Hutten MMR. Effects of electrode dislocation on electromyographic activity and relative rest time: Effectiveness of compensation by a normalization procedure. Med Biol Eng Comput. 2004; 42 (4): 502-508
- Rainold A, Melchiorri G, Caruso JF. A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. J Neurosci Methods. 2004; 134 (1): 37–43.
- Beck TW, Housh TJ, Cramer JT, Weir JP. The Effect of the Estimated Innervation Zone on EMG Amplitude and Center Frequency. Med Sci Sports Exerc. 2007; 39 (8): 1282-1290.
- Beck TW, Housh TJ, Cramer JT, Malek MH, Mielke M, Hendrix R, Weir JP. Electrode Shift and Normalization Reduce the Innervation Zone's Influence on EMG. Med Sci Sports Exerc. 2008; 40 (7): 1314-1322.
- Gerdle B, Heriksson-Larsen K, Lorentzon R, Wretling, ML. Dependence of the mean power frequency of the electromyogram on muscle force and fibre type. Acta Physiol Scand. 1991 (4); 142: 457-465.
- Gerdle B, Larsson B, Karlsson S. Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque: a study of repetitive maximum isokinetic knee extensions. J Electromyogr Kinesiol. 2000; 10 (4): 225-232.
- Mathur S, Eng JJ, Macintyre DL. Reliability of surface EMG during sustained contractions of the quadriceps. J Electromyogr Kinesiol. 2005; 15 (1): 102-110.
- Gabriel DA, Kamen G, Frost G. Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. review article. J Sports Med. 2006; 36 (2): 133-149.
- Lieber RL, Fridén J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. Muscle Nerve. 2000; 23 (11): 1647-1666.

Referências

- Kinugasa S, Yoshinaga J. Fiber-optic differential displacement measurement based on three cascaded interferometers. 17th International Conference on Optical Fibre Sensors, Marc Voet, Reinhardt Willsch, Wolfgang Ecke, Julian Jones, Brian Culshaw, Editors, May 2005: 58: 631-634.
- Mohamed O, Perry J, Hislop H. Relationship between wire EMG activity, muscle length and torque of the hamstrings. Clin Biomech. 2002; 17 (8): 569-576.
- Gordon KD, Pardo RD, Johnson JA, King GJW, Miller TA. Electromyographic activity and strength during maximum isometric pronation and supination efforts in healthy adults. J Ortho Res. 2004; 22 (1): 208-213.
- Lindeman E, Spaans S, Reulen JPH, Leffers P, Drukker J. Surface EMG of proximal leg muscles in neuromuscular patients and in healthy controls. Relations to force and fatigue. J Electromyogr Kinesiol. 1999; 9 (5): 299-307.
- Karlsson JS, Östlund N, Larsson B, Gerdle B. An estimation of the influence of force decrease on the mean power spectral frequency shift of the EMG during repetitive maximum dynamic knee extensions. J Electromyogr Kinesiol. 2003; 13 (5): 461-468.
- Zhou P, Rymer WZ. Factors governing the form of the relation between muscle force and the EMG: a simulation study. J Neurophysiol. 2004; 92 (5): 2878-2886.
- Herzog W, Sokolosky J, Zhang YT, Guimarães ACS. EMG-force relation in dynamically contracting cat plantaris muscle. J Electromyogr Kinesiol. 1998; 8 (3): 147-155.
- Lloyd DG, Besier TF. An EMG-driven musculoskeletal model to estimate muscle forces and knee joint moments in vivo. J Biomech. 2003; 36 (6): 765-776.
- Lapalaud D, Hug F, Grélot L. Reproducibility of eight lower limb muscles activity level in the course of an incremental pedaling exercise. J Electromyogr Kinesiol. 2006; 16 (2): 158-166.
- Doorenbosch CAM, Harlaar J. Accuracy of practicable EMG to force model for knee muscles: short communications. Neurosci Lett. 2004; 368 (1): 78-81.
- Larsson B, Mansson B, Kalberg C, Syvertsson P, Ellert J, Gerdle B. Reproducibility of surface EMG variables and peak torque during three sets of ten dynamic contractions. J Electromyogr Kinesiol. 1999; 9 (5): 351-357.
- Linnamo A, Moritani T, Nicole C, Komi PV. Motor unit activation patterns during isometric, concentric and eccentric actions at different force levels. J Electromyogr Kinesiol. 2003; 13 (1): 93-101.

Referências

- Onishi H, Yagi R, Akasaka K, Momose K, Ihashi K, Handa Y. Relationship between EMG signals and force in human vastus lateralis muscle using multiple bipolar wire electrodes. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000; 10 (1): 59-67.
- Farina D, Fosci M, Merletti R. Motor unit recruitment strategies investigated by surface EMG variables. *J Appl Physiol.* 2002; 92 (1): 235-247.
- Karlsson S, Gerdle B. Mean frequency and signal amplitude of the surface EMG of the quadriceps muscles increase with increasing torque – a study using continuous wavelet transform. *J Electromyogr Kinesiol.* 2001; 11 (2): 131-140.
- Guimarães AC, Herzog W, Hulliger M, Zhang YT, Day S. EMG-force relationship of the cat soleus muscle studied with distributed and non-periodic stimulation of ventral root filaments. *J Exp Biol.* 1994; 186: 75-93.
- Solomonow M. The EMG-force relationship of skeletal muscle dependence on contraction rate, and motor units control strategy. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 1990; 30 (3): 141-152.
- Bernardi M. Motor unit recruitment strategy changes with skill acquisition. *Eur J Appl Physiol.* 1996; 74 (1): 52-59.
- Miaki H, Tachino K. Validity of muscle force estimation utilizing musculoskeletal model. *Journal of Physical Therapy Science.* 2007; 19: 261-266.
- Rabita G, Pérot C, Lensele-Corbeil G. Differential effect of knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris in humans. *European J Appl Physiol.* 2000; 83 (6): 531–538.

