

10 . BÖLÜM

İNSAN SİNİR VE KAS SİSTEMİ ÖLÇÜMLERİ

10.1 Sinir Sisteminin Organizasyonu

- Sinir sistemi tüm vücut fonksiyonlarının kontrol ve bütünleşmesini sağlayan aralarında karmaşık bir ilişki olan sinir dokusundan oluşur.
- Vücudun dahili şartlarındaki kararlılığı (Homostasis), sinirsel ve hormonal elemanları da içeren bir negatif geri besleme çevrimi aracılığıyla sağlanır.
- *Örneğin, kandaki karbonat miktarı beyinde tespit edilmektedir. Eğer bu oran çok yüksekse beyin solunum kaslarını harekete geçirir. Böylece solunum hızı artar karbondioksit gazı ciğerler aracılığıyla dışarı atılır.*
- Sinir sistemi iki temel bölümde incelenebilir.
 1. Kafatası ve omurilik içinde yer alan **Merkezi Sinir Sistemi** (MSS).
 2. Merkezi sinir sisteminin dışındaki sinirlere çevresel sinirler denir ve bunlar **Çevresel Sinir Sistemini** (ÇSS) oluşturur.
- Çevresel sinirler, omurilikten çıkan 31 çift sinirle (omurilik sinirleri) beyinden gelen 12 çift sinirden (kafa sinirleri) oluşur.

- Kalp, salgı bezleri ve istemsiz kasları besleyen sinir sistemine **Otonom Sinir Sistemi** (OSS) denir.

- OSS aracılığıyla gerçekleştirilen fonksiyonlar;

1. Kalp fonksiyonları- nabız ve hacimsel çıkış
2. Kan basıncı- atar- toplar damar kesitinin kontrolü
3. Kan şekeri- karaciğer eylemlerinin düzenlenmesi
4. Sindirim salgılarının düzenlenmesi
5. Büyüme-endokrin sistem aracılığıyla hormon salgılanması
6. Vücut sıcaklığı- terleme bezlerinin kontrolü
7. Vücut sıvı dengesi- terleme ve böbrek faaliyetleri
8. Duygusal reaksiyonlar- endokrin sistem ve beyin

- **Çizgisiz veya düz kaslar** olarak da adlandırılan istemsiz kaslar sindirim ve solunum yollarında, idrar kesesi, kan damarları ve gözde bulunurlar. Bunların kontrolleri istemli kaslarındakinden farklıdır.

- ÇSS birçok alt sistemlerden meydana gelir. Bunlar arasında, derideki alıcılardan beyine bilgi taşıyan **Somatik Sinir Sistemi** ve gözlerden bilgi taşıyan **Görme (Visual) Sinir Sistemi** bulunur.
- **Sempatik ve Parasempatik** kollara ayrılan, hissi durumla ilgili olan ve düz kasları kontrol eden Otonom Sinir Sistemi de çevresel sinir sisteminin bir alt parçasıdır.

- Sempatik aktivite vücudun enerji harcamasını, parasempatik aktivite ise vücudun enerji saklamasını artırır.

10.1.1 Davranışlar ve Sinir Sistemi

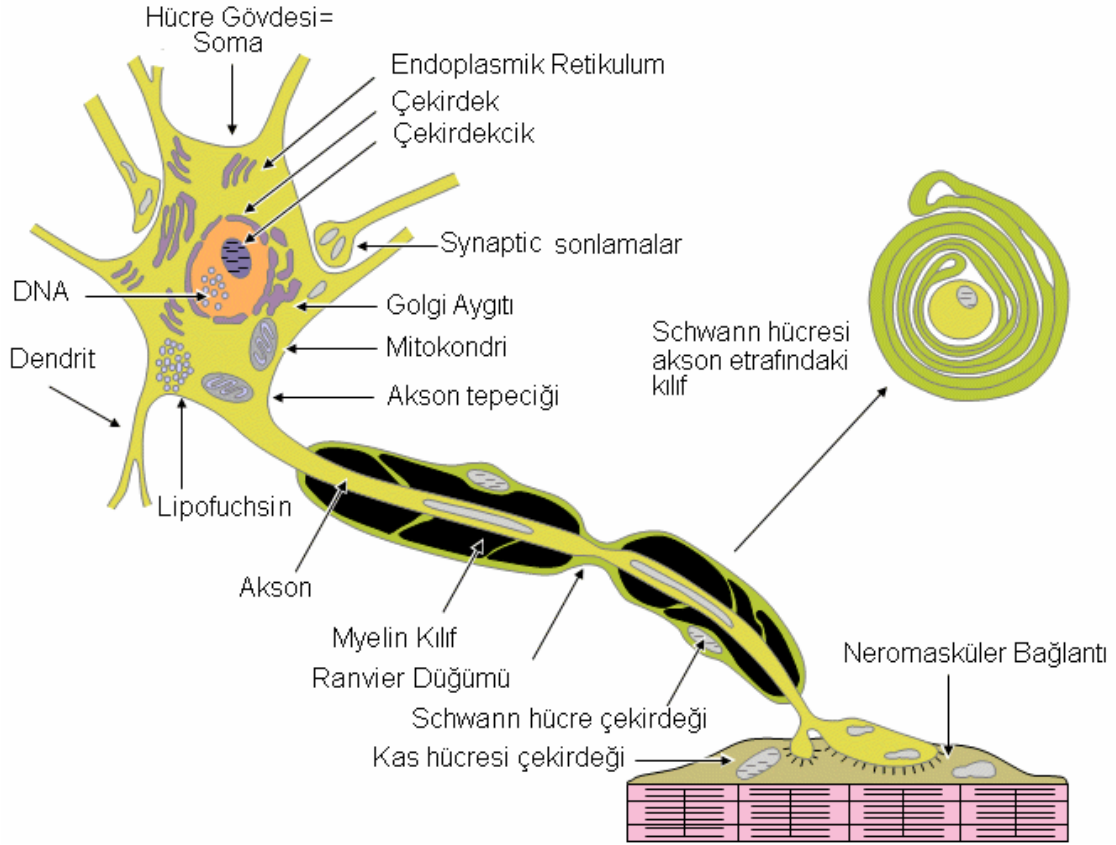
- İnsan beynin aktiviteleri ile davranışlar arasındaki ilişki belirsizdir.
- Beynin elektriksel aktivitesi (EEG olarak kaydedilir) uyku ve diğer davranış biçimleriyle değişmektedir fakat belirli davranışlarla olan ilişkisini kurmak zordur.
- Hafıza sürecinin 3 mekanizmayı içerdiği varsayılmaktadır;
 1. anlık saklama (bir telefon numarasını onu çevirecek kadar akılda tutmak),
 2. birkaç dakika ile birkaç saat öncesine kadar geçen olayların saklandığı kısa vadeli hafıza (sınıfta yapılan dersler)
 3. geçmişteki olayların kaydedildiği uzun vadeli hafıza (çocukluktaki sevinçler, başarılar, başarısızlıklar, üzüntüler, ve korkular).

10.2 Sinir Hücresi

10.2.1 Sinir Hücresinin Temel Yapısı

- Sinir hücresine **nöron** denir, nöron sinir sisteminin temel birimidir.

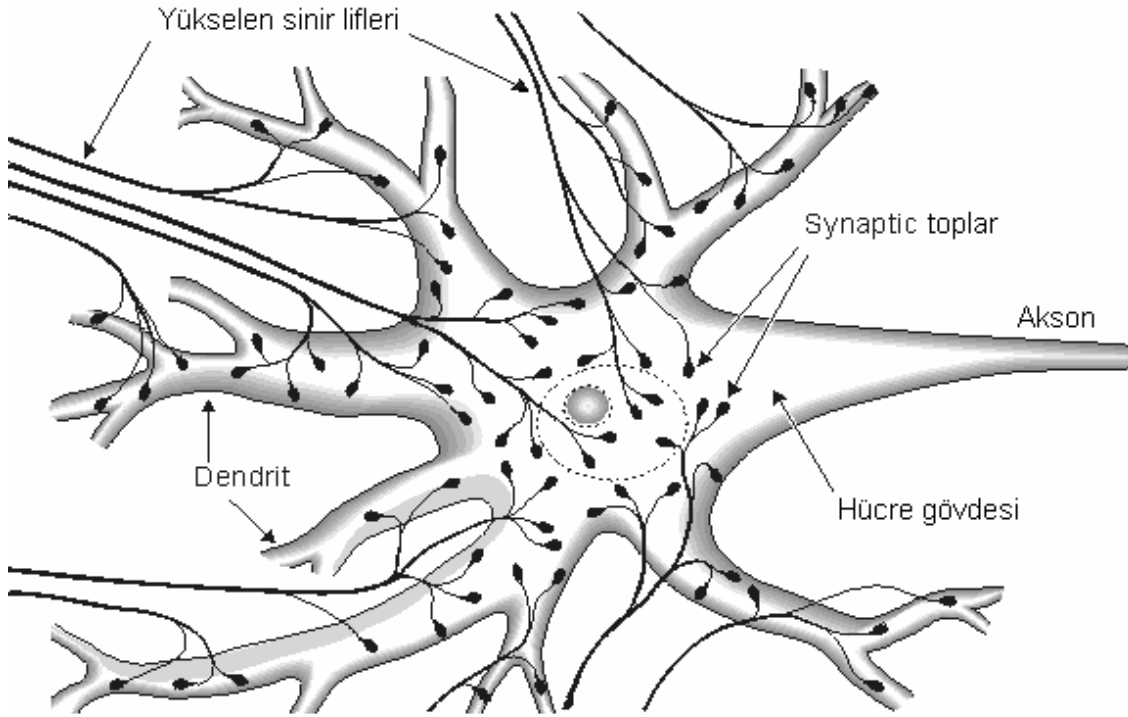
- Nöron, hücre gövdesi (soma), birkaç kısa giriş noktası (dendrit) ve uzun bir iletim kanalı (akson)'dan oluşmuş tek bir hücredir.



Şekil 10.1 Nöronun önemli bileşenleri

- Sinir hücrelerinin %80'ni sudur, kuru maddelerin yaklaşık %80'ni protein, %20'si lipittir.
- Hücre hacmi 600 ve 70,000 μm^3 arasında değişir.
- Hücre gövdesinin kısa dalları dendritler öbür hücrelerden işaret alırlar ve bunları hücre gövdesine gönderir.
- Bu işaretlerin etkileri uyarıcı veya engelleyici olabilir.

Şekil 10.2 de görülen kortikal sinir hücresi binlerce başka sinir hücresinden işaret alabilir.



Şekil 10.2 Korteks sinir yapısı

10.2.2 Hücre Zarı

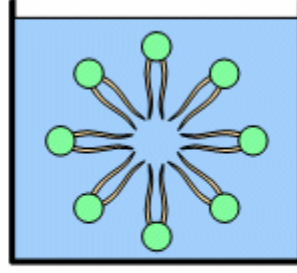
Hücre bir zar ile sarılmıştır ve zarın kalınlığı 7,5 – 10,0 nm arasında değişmektedir.

Fosforik asit
kafası

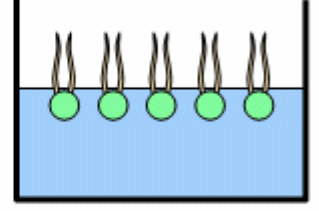
Gliserid
kuyruk



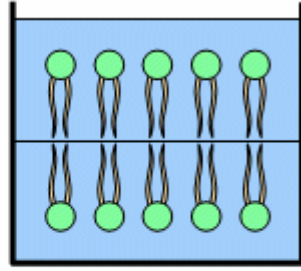
A. FOSLİPİD
MOLEKÜLÜ



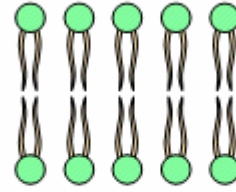
B. SU İÇERİSİNDE
FOSFOLİPİD
MOLEKÜLÜ



C. FOSFOLİPİD
MOLEKÜL
KATMANI

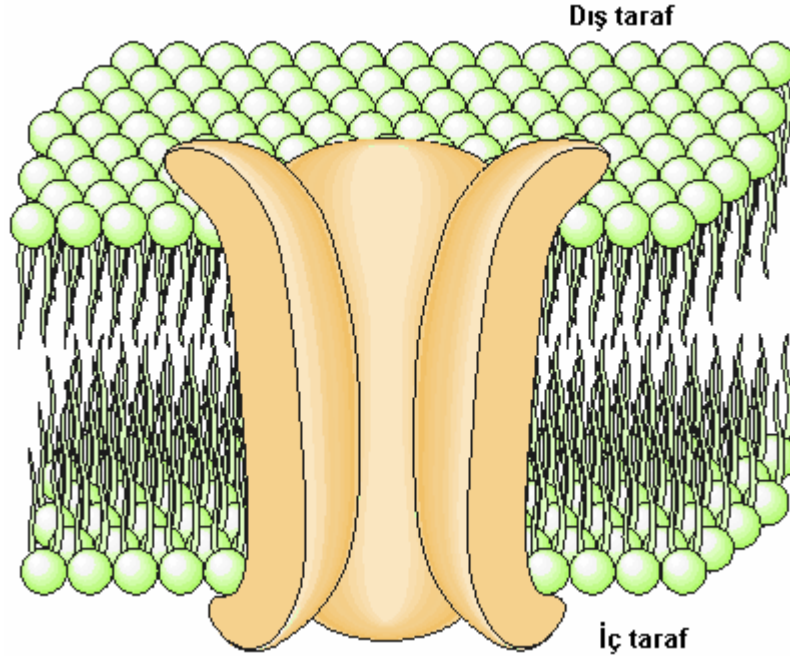


D. ÇİFT KATMANLI
FOSFOLİPİD
MOLEKÜLÜ



E. TEMEL ZAR

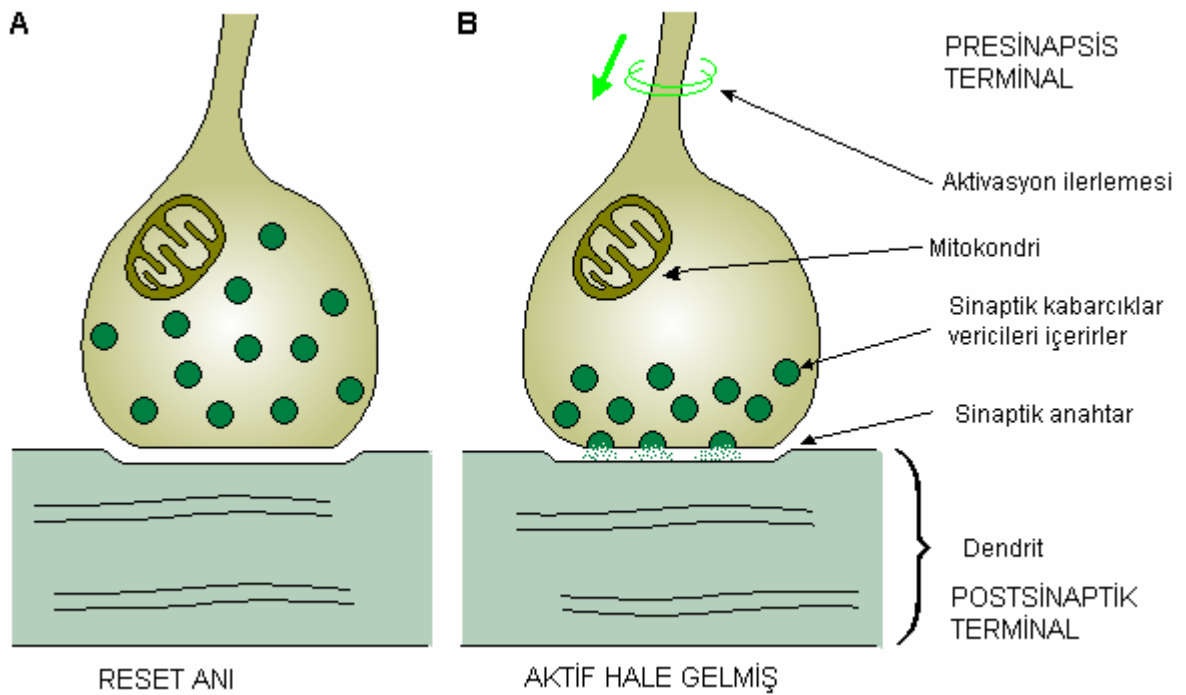
Şekil 10.3 Fosfoglisericid (fosfolipid) moleküllerinin su içindeki davranışlarını gösteren taslak



Şekil 10.4 Hücre zarının yapısı. Temel bileşenler zar iç tarafını gösteren hidrofobik kuyruklarla birlikte iki tane lipit katmandır (hücre içerisinde sudan ve yarık ortamlardan uzakta). Hücre zarındaki makro moleküler yarıklar iyon kanallarıdır, bunlar sodyum, potasyum ve klor moleküllerini hücre zarına doğru akıtır ve biyoelektrik olayları oluşturur.

10.2.3 Sinapsların Yapısı

- Nöronlar arasındaki birleşme bölgesine sinaps adı verilir.
- Akson ucuna bilgi geldiğinde, kimyasal haber taşıyıcısı salgılanarak tek yönlü bilgi geçişi sağlanmış olur.
- Sinir işaretlerinin iletimi sinaps üstünde iletilen biyokimyasallar ile mümkün olmaktadır.



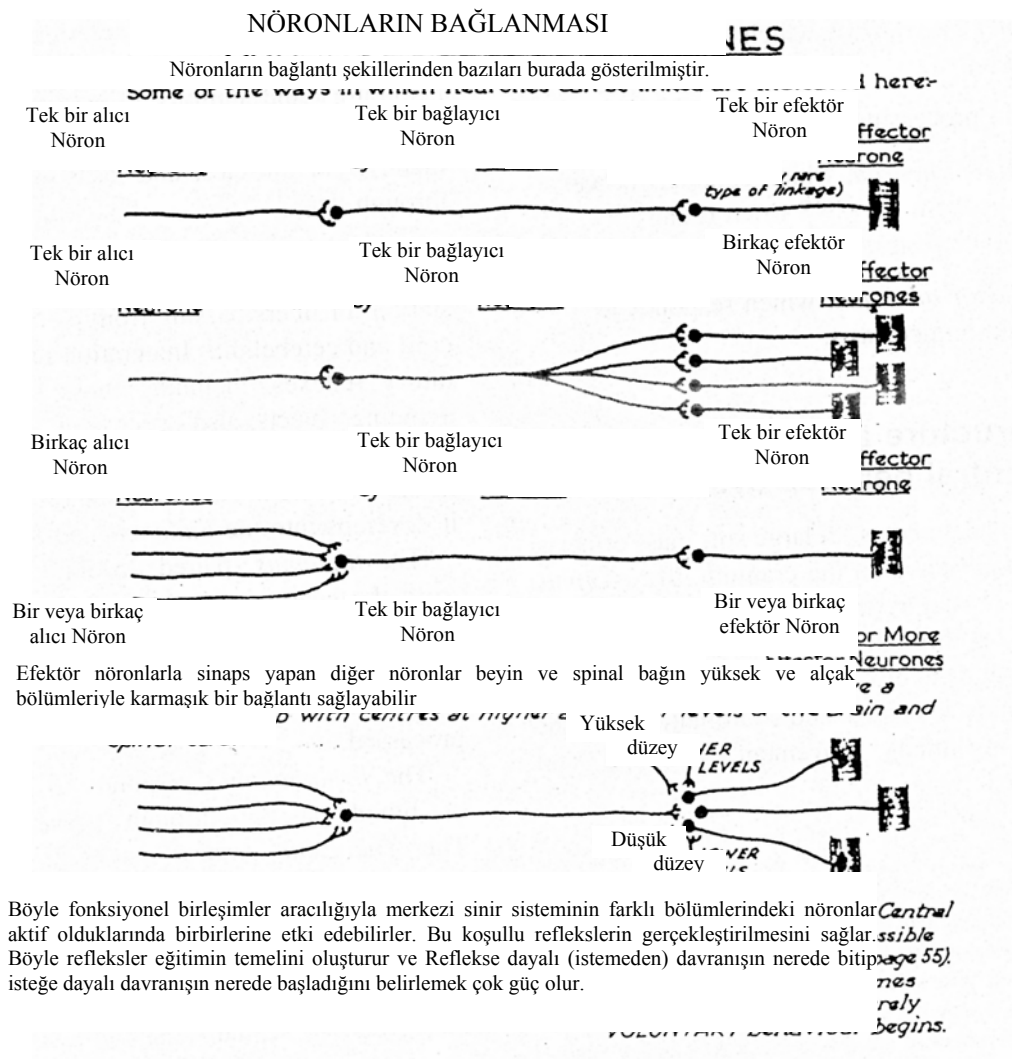
Şekil 10.5 Sinaptik yapı: (A) Sinaptik kabarcıklar kimyasal vericileri içerir
(B) Aktivasyon presinaptik terminale ulaştığında verici serbest bırakılır ve postsinaptik zarı aktive etmek için sinaptik boşluğa doğru yayılır.

10.3 Sinirlerde Aksiyon Potansiyelinin İletilmesi

- Sinirsel iletim dentritlerden aksonlar üzerinden sinir uçlarına doğru olacak şekilde sadece tek bir yönde sabit hızda gerçekleşmektedir.

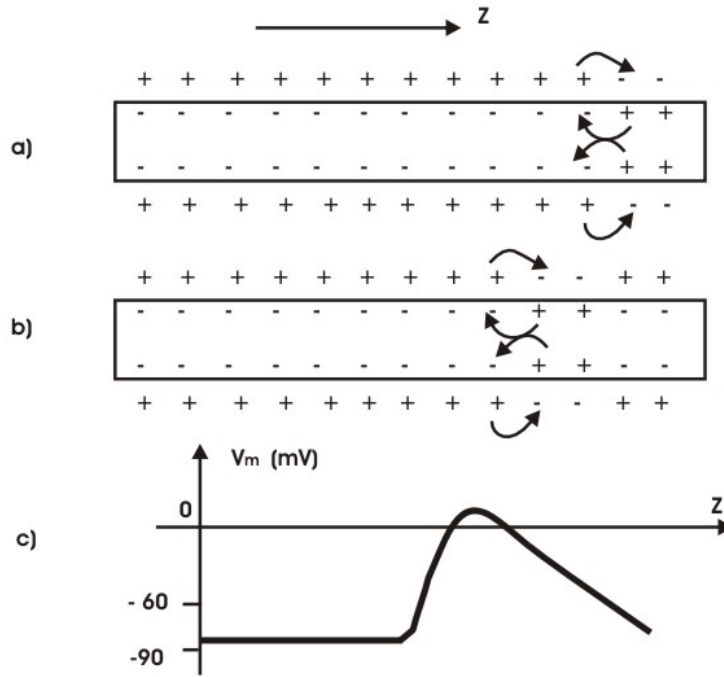
- Nöronlar birinden ötekine olacak şekilde birinden birine, birinden bir kaçına, birkaç taneden birkaç taneye iletim olacak şekilde çalışırlar.

Aslında bu sinir işaretlerinin açılıp kapanması sayısal elektronik devrelere çok benzemektedir. VE ve VEYA mantıksal fonksiyonları vücut koordinasyonu ve reflekslerin düzenlenmesinde kullanılır.



Şekil 10.6 Nöronların düzenlenmesi.

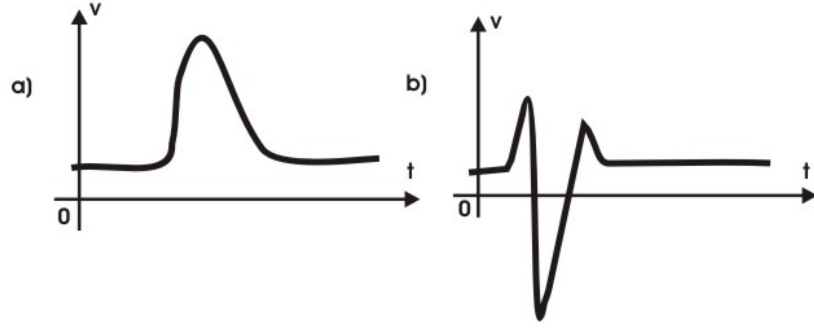
Şekil 10.8'de, sağ tarafından uyarılmış bir sinirin, temsili olarak membran potansiyeli dağılımı ve bu dağılımın zamanla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 10.8 a,b) Miyelinsiz sinir aksonunda depolarizasyon darbesinin sola doğru ilerlemesi, c) aksiyon potansiyelinin akson eksenine göre değişimi

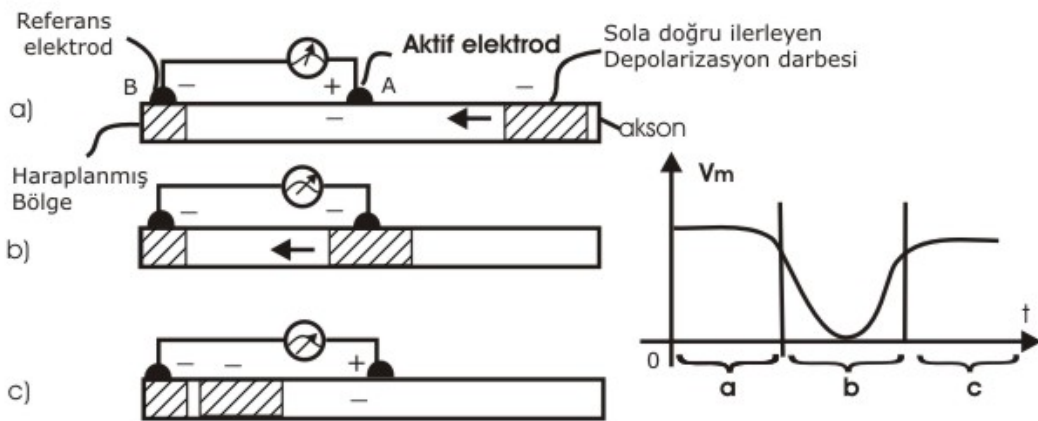
10.4 Sinir Lifinde Aksiyon Potansiyeli Kaydetme Yöntemleri

- Sinir liflerinden algılanan ve bir aksiyon potansiyeli değişiminin sonucu olarak ortaya çıkan biyolojik işaret değişimlerine **Elektronörogram** (ENG) adı verilmektedir.
- ENG işaretleri sinir lifinden algılama şekline ve elektrotların yerleştiriliş biçimine göre monofazik, bifazik veya trifazik adları verilen farklı değişimler gösterir (Şekil 10.9).



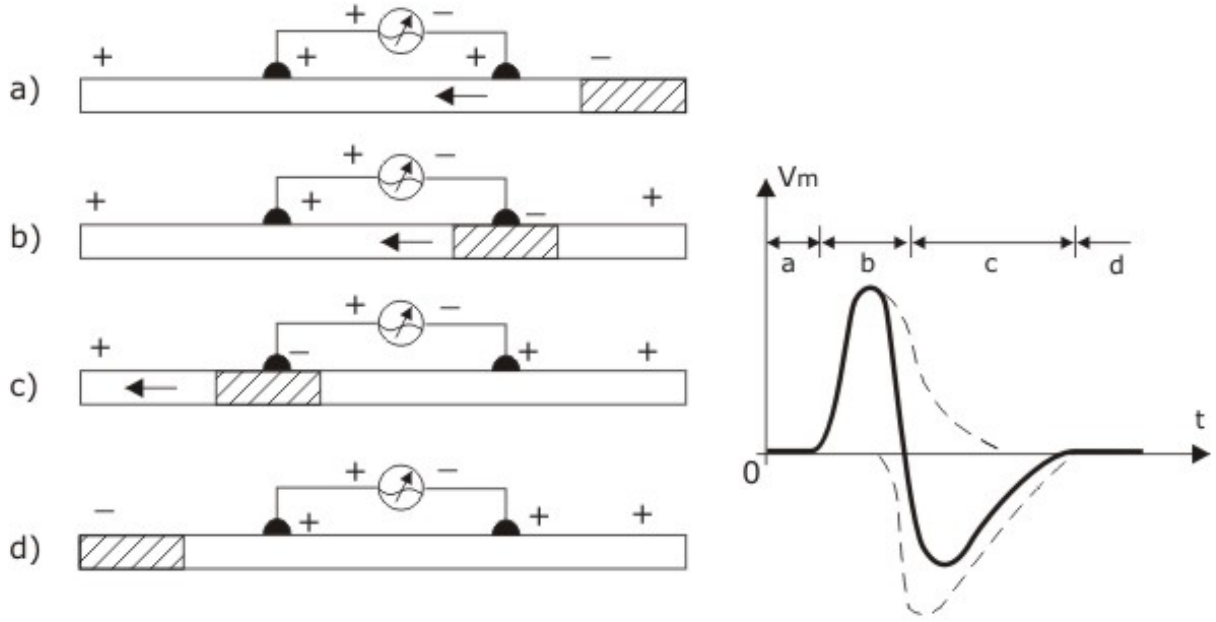
Şekil 10.9 a) Mikroelektrotlarla bir sinir lifinden alınmış monofazik ENG işareti, b) yüzey elektrotlarıyla algılanmış ENG işareti

Şekil 10.10'da gösterildiği gibi, aksiyon potansiyeli kaydedilmek istenen sinirin sol ucu zedelenerek sabit bir potansiyelde kalması sağlanmış ve bu bölgeye referans elektrot bağlanmıştır. Esas aksiyon potansiyeli değişimini algılayan aktif elektrot ise sinir lifinin yüzeyindeki zedelenmiş bölgeden ve uyarma bölgesinden uzak herhangi bir noktaya bağlanmış olsun. Bu iki elektrot arasına ise iç direnci yüksek olan ve aksiyon potansiyeli değişimlerini izlemek için kullanılan bir elektrometre bağlanmıştır.



Şekil 10.10 a,b,c Elektrotların sinir yüzeyine monopolar bağlantısı ve d) algılanan monofazik ENG işareti

Benzer mantık kuralları dahilinde bipolar bağlantı ve bifazik değişim Şekil 10.11’de görülmektedir.



Şekil 10.11 a,b,c,d Fark modunda (bipolar) elektrotların bağlanması sonucunda aksiyon potansiyel dalgasının ilerleyişi ve e) algılanan bifazik ENG işareti

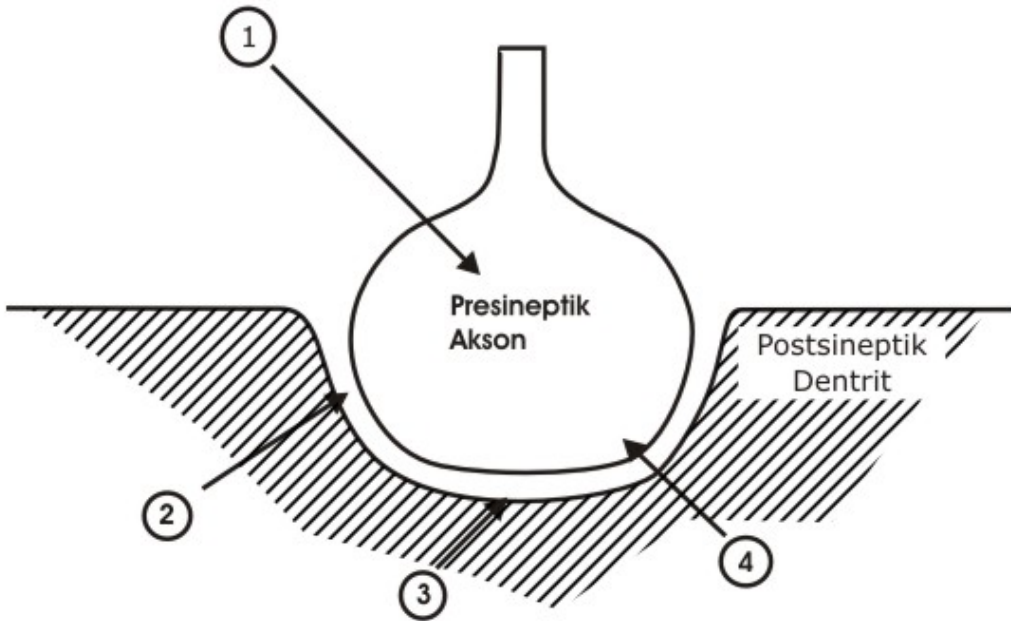
10.5 Sinirsel Haberleşme

- Sinirler uyarılabilen hücrelerdendir ve uyarıldıklarında aksiyon potansiyelleri üretirler.
- Bir hücrenin eşik seviyesinin altındaki ve üstündeki uyarmaya, uyarma genliğinden bağımsız olarak sırasıyla hiç cevap vermemesi ve aynı şekilde cevap vermesi olayına ya hep ya hiç prensibi denir.

Şekil 10.12'de sinapsın yapısı şematik olarak gösterilmektedir.

- Olay şöyle özetlenebilir:

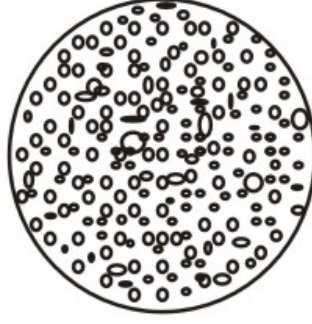
1. Aksiyon potansiyeli akson terminaline ulaşır;
2. Akson terminalinden kimyasal haber ileticisi, genellikle acetylcholine salgılanır ve yaklaşık 200 Å genişliğindeki boşluğu doldurur;
3. Kimyasal madde postsinaptik (sinaps sonrası) dentrit membranını uyarır;
4. Bekleme süresinin sonunda sinaps boşluğunda herhangi bir kimyasal taşıyıcının kalmaması için karşıt kimyasal madde (acetylcholine esterase) ile kimyasal taşıyıcı parçalanarak boşluk temizlenir;
5. Bastırılmadığı sürece membran potansiyelinin değişmesi, postsinaptik nöronda bir aksiyon potansiyelinin meydana gelmesine sebep olur.



Şekil 10.12 Sinaps

Aslında durum burada anlatıldığı kadar basit değildir. Sinaps etrafında uyarıcı (kolaylaştırıcı) ve bastırıcı (inhibe edici) olmak üzere iki tip haberleşme vardır. Her iki olay için de aynı kimyasal madde kullanılır. Genellikle herhangi bir nöron ile çeşitli nöronların aksonları haberleşirler. Bir kısmı alıcı nörona uyarıcı etki yaparken bir kısmı da uyarıyı önlemeye çalışır. Nöronun tetiklenip tetiklenmemesi, onunla ilişkide bulunan bütün aksonlardan gelen net etkiye bağlıdır.

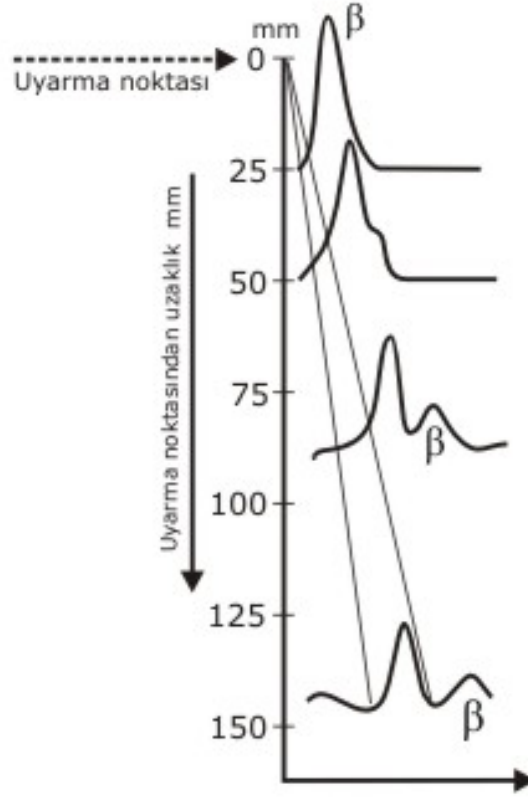
Sinir fiberlerinin kalınlıkları



Şekil 10.13 Bir sinir gövdesinin kesiti

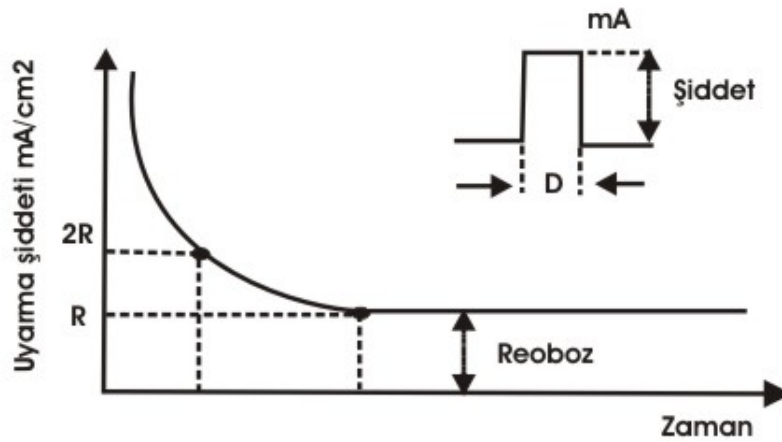
Çizelge 10.1 Sinir liflerinin tipleri

Lif tipi	Lif çapı (um)	İleti hızı (m/s)
A (alfa, α)	13 -22	70 - 120
A (beta, β)	8- 13	40 -70
A (gama, γ)	4 - 8	15 -40
A (delta, δ)	1 -4	5 - 15
B	1 -3	3 - 14
C	0.2 - t	0.2



Şekil 10.14 Sinir gövdesi boyunca ilerleyen aksiyon potansiyelinin şeklinin bozuluşu

Reobaz (Rheobase): Bir sinir hücresinin uyarılmasında kullanılan en küçük akım şiddetine **reobaz** adı verilir. Reobazın iki misli şiddetindeki akımın hücreyi uyarması için gerekli süreye **kronaksi** denir.



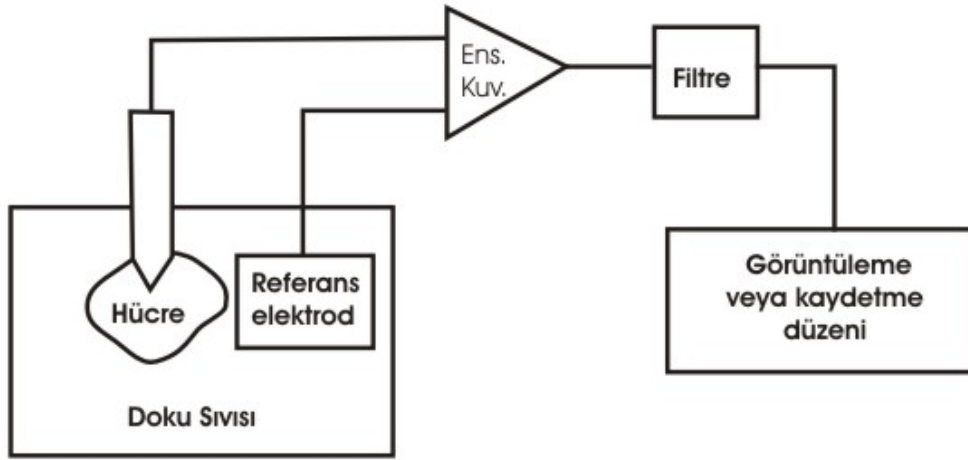
Şekil 10.15 Uyarma şiddet - süre eğrisi

10.6 Duyu Alıcıları

- Bir duyu alıcı hücresi, bir sıcaklık değişimi veya herhangi bir fiziksel etki ile uyarılırsa kendisiyle temasta olan sinir hücrelerini uyararak aksiyon potansiyel serisi oluşturur.
- Duyu alıcılarının, uyarının genliği (şiddeti) ile hemen hemen logaritmik olarak orantılı potansiyel seviyesi ürettiği kabul edilmektedir.
- Duyu organlarından gelen darbelerin frekansı birkaç **darbe/s** ile **2000 darbe/s** arasında değişir, insanda **50 darbe/s** den daha yükseğine pek rastlanmaz.
- Duyu alıcıları, uyarının şiddetine göre logaritmik bir cevap gösterdikleri için son derece geniş bir uyarı değişimine cevap verirler ($1:10^7$ veya daha fazla).
- Çoğu duyu alıcıları doğal olarak elektriksel değildir, fakat iki alıcı grubu vardır ki onların elektriksel aktiviteleri algılanabilir; bunlar orta kulak ve retinadır.
- Kulağa bir ses ulaştığında, kulak zarı titreşir ve bu zarın titreşimi saç hücreleri (hair cells) denilen çok sayıdaki alıcı grubunu uyarır. İç kulak mekanik titreşimleri elektriksel işarete çevirir. İç kulakta **40.000** kadar saç hücresi vardır.
- Retinada ise ışığa hassas **1.000.000** kadar hücre vardır. Küçük bir kontak lensin iç tarafına yerleştirilmiş küçük bir gümüş klörür elektrodu ile bu hücrelerin elektriksel faaliyetleri algılanabilir. Bu işaretlere **Elektroretinogram** (ERG) denir.

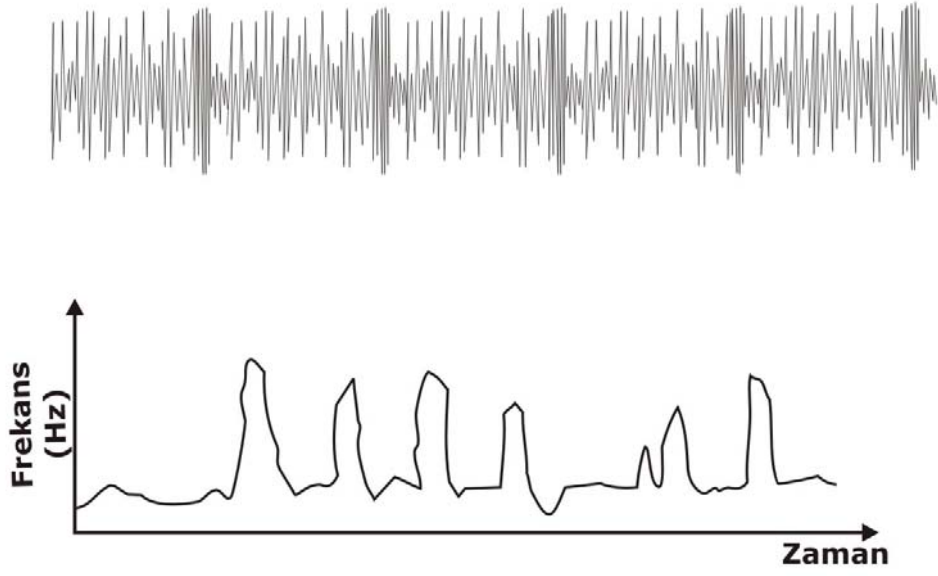
10.7 Sinir Sistemi İle İlgili Ölçümler

- Şekil 10.17'de tek bir hücrede oluşan aksiyon potansiyelini ölçen bir sistem gösterilmiştir.
- Enstrumantasyon yükseltecinin giriş empedansı $1\text{ M}\Omega$, frekans karakteristiği 0-30 kHz arasında düz, ortak moddaki işaretleri bastırmak için ortak işaret bastırma oranı (CMRR) büyük olmalıdır.
- Görüntüleme ünitesinin, ortalama alma ve işaret işleme özelliği olmalıdır. Aksiyon potansiyelinin zamana göre değişimi sürekli olarak bu üniteye kaydedilmektedir.



Şekil 10.17 Hücre aksiyon potansiyelini kaydeden düzen

- Bir hücrenin birim zamanda uyarılma sayısını (uyarılma frekansını) zamanın fonksiyonu olarak gösteren eğriler, Şekil 10.18'de gösterilmiştir.



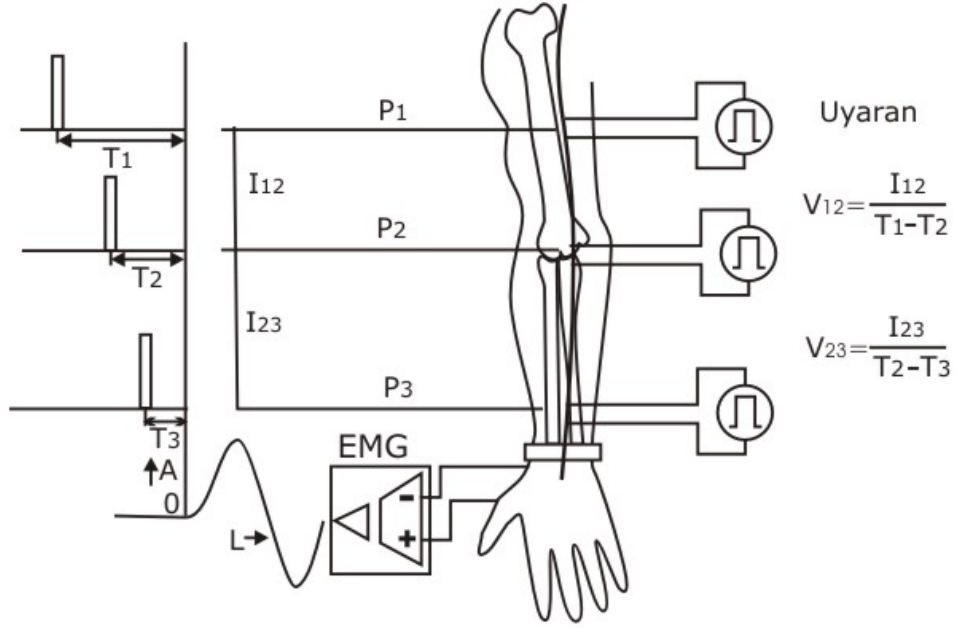
Şekil 3.12 :

Şekil 10.18 (a) Tek hücrenin aktivitesi: düşey eksen gerilim, yatay eksen zaman, (b) Hücrenin birim zamanda uyarılma sayısının zamanın fonksiyonu olarak gösterilmesi

Şekil 10.19'da, ele alınan bir sinirdeki ileti hızının nasıl ölçüldüğü temsili olarak gösterilmektedir.

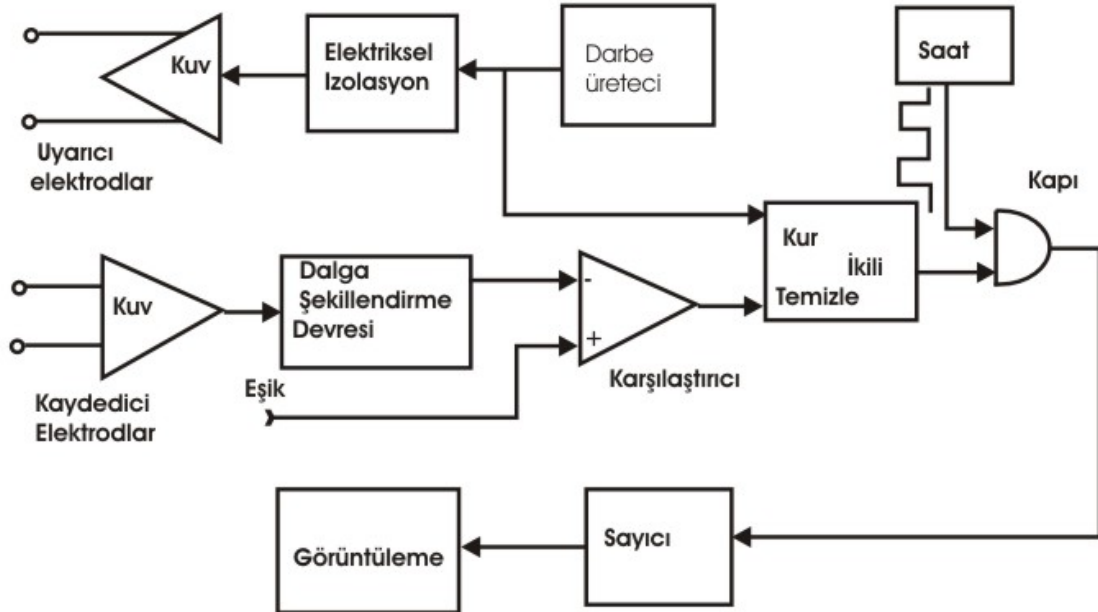
$$v_{12} = \frac{l_{12}}{\tau_1 - \tau_2} \quad (10.1)$$

eşitliği yardımıyla sinir iletim hızı ölçülebilmektedir.



Şekil 10.19 Sinirlerde ortalama ileti hızının ölçülmesi

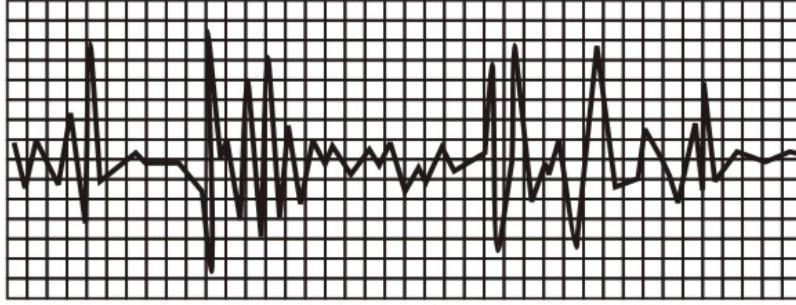
Şekil 10.20'de de sinir iletim hızı ölçüm düzeninin blok diagramı gösterilmiştir.



Şekil 10.20 Sinir iletim hızı ölçüm düzeni

10.8 Elektromiyogram İşaretlerin Ölçülmesi

- Elektromiyogram (EMG), kasın kasılması sonucu ortaya çıkan biyopotansiyel işaretlerdir.
- İskelet kaslarının fonksiyonel olarak temel birimi, **motor üniteleridir**. Tek bir motor ünitesinden uyarılma sonucu, iğne elektrodlarla elde edilen hücre dışı potansiyel değişimleri **3-15 ms** arasında sürer ve motor ünitesinin büyüklüğüne bağlı olarak genliği **20-2000 mV** dur.
- Deşarj frekansı genellikle saniyede **6-30** darbe arasındadır.



Şekil 10.21 Elektromiyogram işareti

- Tek kutuplu (monopolar), çift kutuplu (bipolar) ve çok kutuplu (multipolar) şekillerde geliştirilmiş batırma (iğne) tipi elektrotlar, genellikle derinlerdeki kasların veya tek motor ünitesinin elektromiyogramının ölçümünde kullanılırlar.

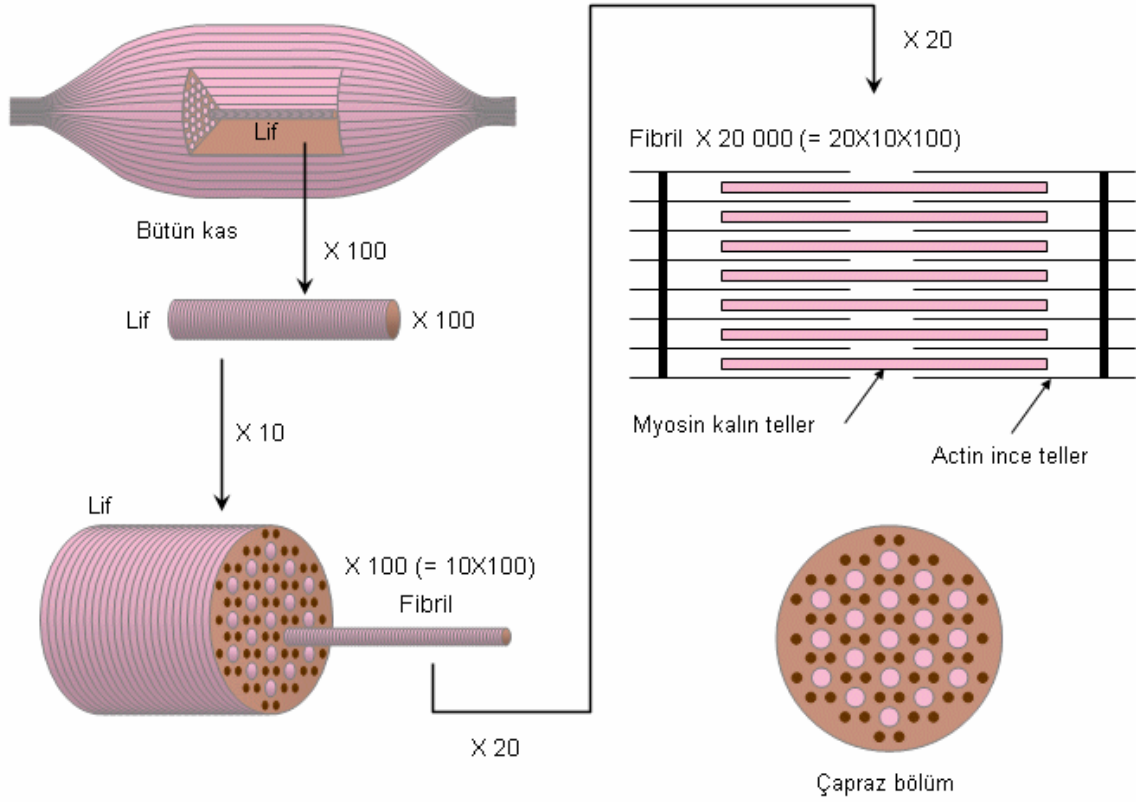
10.9 Kaslar

Vücutta üç çeşit kas vardır.

- Düz kas
- Çizgili kas (İskelet kası)
- Kalp kası
 - o Düz kaslar istemsizdir (istemli olarak kontrol edilemezler). Hücreleri değişik uzunluğa sahiptirler fakat 0,1 mm düzeyindedirler (sindirim sistemi ve soluk borusu, rahim ve mesane duvarında bulunurlar).

Düz kasın kasılması beyinden otonom sinir sistemine doğru kontrol edilir.

- Büyük miktarda kas lifinden oluşan çizgili kaslar anatomik konumlarından dolayı iskelet kasları olarak adlandırılırlar. Bunlar 1-40 mm uzunluğunda ve 0,01-0,1 mm çapındadırlar.



Şekil 10.22 Çizgili kasların anatomisi

- Çizgili kaslar tendonlar aracılığı ile kemiğe bağlanırlar. Bu kaslar istemlidir ve kontrol ettikleri organın hareketini şekillendirir.
- Kalp kası da çizgili kastır fakat bazı durumlardan iskelet kasından ayrılır. Bu kaslar sadece istemsiz değil kendi kendisini uyarırlar ve iskelet kaslarından daha çok elektrik işareti üretir. Kalın ve kısa liflerden meydana gelen çok yoğun bir ağ gibidir. Sinirsel uyarı olmadan kasılabilirler. Sinirsel uyarı, kasılma zamanını etkiler.

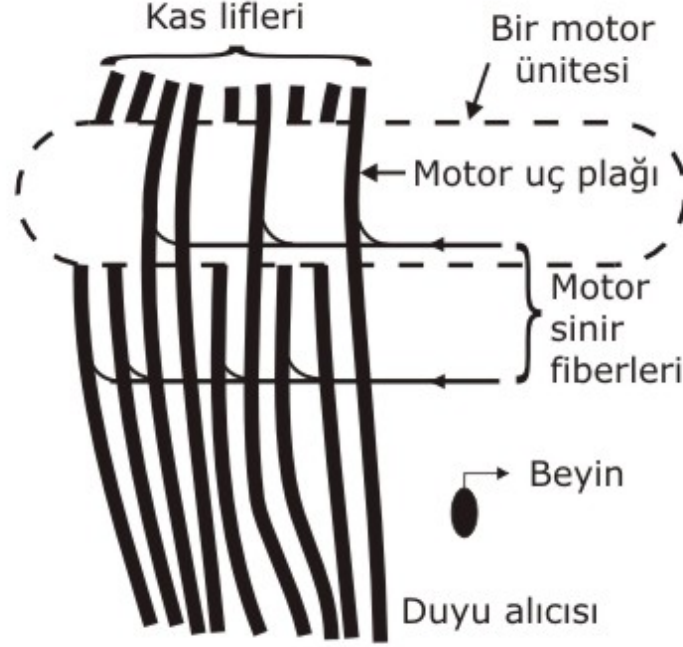
- Kas lifi uyarıldığında kasılır. Gerekli uyarı motor siniri ile gelir. Kas, elektrik akımı gibi bir uyarıya da cevap verir.
- Kasın kasılması boyunun sabit kalıp sadece şişmesi şeklinde statik (izometrik) olabildiği gibi hem boyunun kısalması hem de şişmesi şeklinde dinamik de (izotonik) olabilir.
- Kasa bir uyarı uygulandıktan sonra bir zaman gecikmesi (latent period) ile önce kasılma ve bundan sonra bir gevşeme oluşur.

Kimyasal olarak kasın kasılması kısaca şöyle özetlenebilir: Kas aktif duruma geçtiğinde glikojen depoları boşaltılır, oksijen kullanımı ile karbondioksit meydana çıkar. Kas glikojeni pruvik aside parçalanırken yüksek enerjili ATP (Adenezin Trifosfat) moleküllerinde depolu enerji açığa çıkar. Pruvik asidin tekrar oksitlenmesi ile sitrik asit çevriminde CO_2 ve H_2O ile yeni ATP molekülleri oluşur. Oksijen yetersizliği durumunda ise pruvik asitten anaerobik reaksiyonla laktik asit üretilir ve yeni enerji açığa çıkar.

Kalp kasları, enerjilerini glikozdan değil yağdan sağlar. Böylece kandaki glikoz oranından etkilenmezler.

- Düz kaslar kontrol ettikleri organı bir ağ gibi sarar. Onların daralıp kasılmaları ile organda hareket meydana gelir. Buna *peristaltik* hareket denir. Vücudun hareketsiz olduğu anlarda bazı kaslar, izometrik olarak gergin olup, yerçekimine karşı koyarlar.

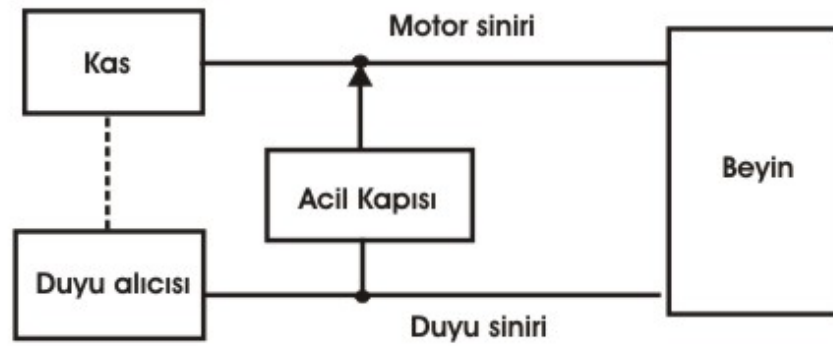
Motor Ünitesi: İsminden de anlaşılacağı gibi kas fonksiyonunun biyolojik ünitesidir.



Şekil 10.23 Kaslarla sinirler arasındaki ilişki

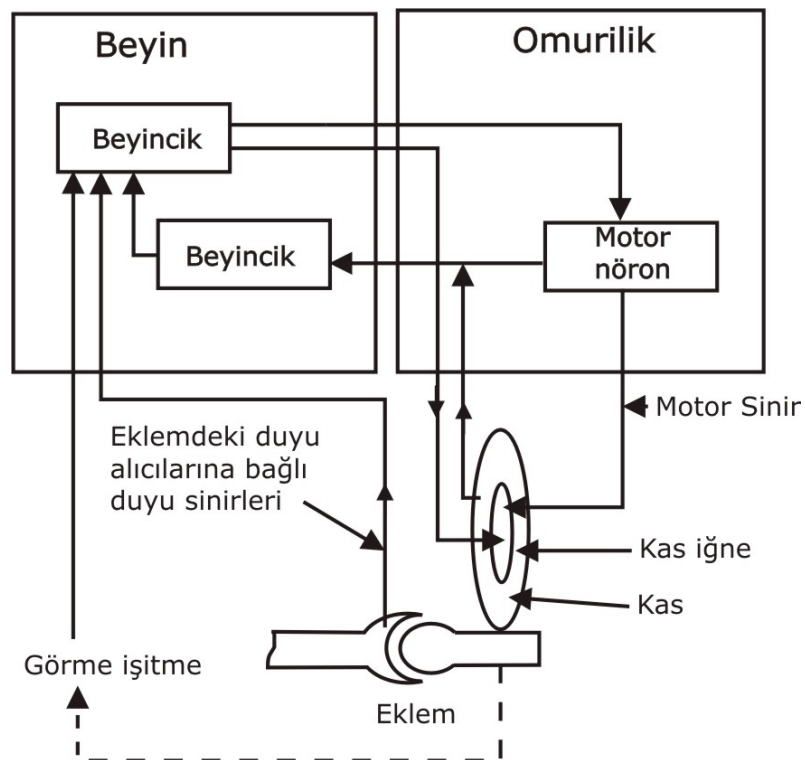
- Genellikle kas büyüdükçe motor ünitelerinin adedi de artar. İnsanda bir motor ünitesinde 25 ila 2000 kas lifi bulunabilir. Bir motor ünitesinde üretilen kuvvet, 0,1 - 250 gram arasında değişebilir.

Kaslarda Servo Mekanizma : Bir duyu alıcısı, bir hız veya konum işareti üretir. Bu işaret duyu siniri ile beyne iletilir. Beyin hafızadaki bilgi ile gelen bilgiyi karşılaştırarak bir hata (kontrol) işareti üretir. Bu işaret motor siniri ile kasa gönderilerek onun hareketi kontrol edilir.



Refleks Cevap: Refleks cevap sayesinde vücut tehlikelere karşı korunmuş olur.

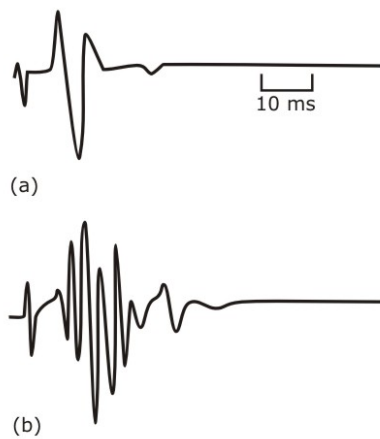
Kas Kasılmasının Regülasyonu:



10.10 Kasın Kasılması Sırasında Oluşan Gerilim

- Bir duyu alıcısı uyarıldığında, duyu sinir lifi boyunca yürüyen bir depolarizasyon dalgasını (aksiyon potansiyelini) oluşturur. Bu darbe dizisi beyine ulaşır. Buna cevap olarak beyin de, motor uç plakalarının depolarizasyonuna sebep olan uyarıyı, motor sinirleri boyunca propagasyon yapan aksiyon potansiyelleri şeklinde kasa gönderir.
- İğne veya yüzey elektrotlarla alınan, kasın hareketi esnasında oluşan elektriksel işaretlere **elektromiyogram** veya kısaca EMG denir.

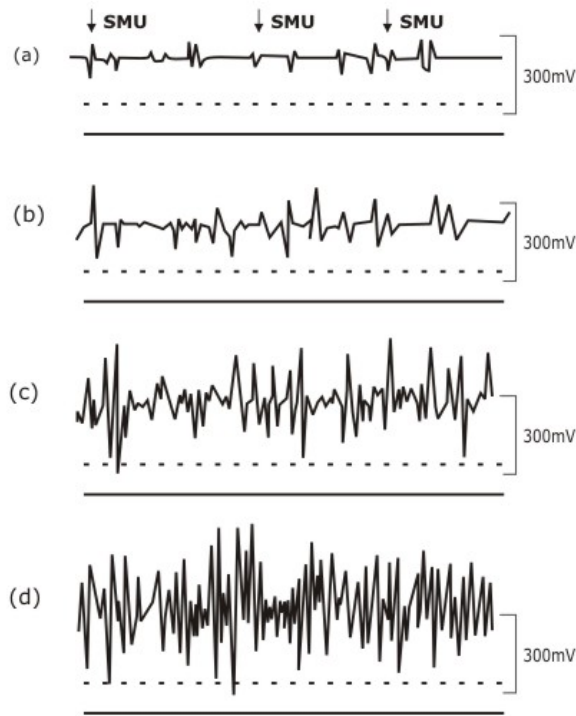
Şekil 10.26'da, konsentrik (eş merkezli) iğne elektrotlarla sağlıklı ve hastalıklı motor ünitelerinden, kas hücresinin uyarılması ile elde edilen EMG işaretleri gösterilmiştir.



Şekil 10.26 Sağlıklı ve hastalıklı motor ünitelerinden elde edilen EMG kayıtları

Şekil 10.27'de normal bir interosseus dorsalis (elin baş parmağı ile işaret parmağı arasındaki kas) kasının çeşitli kasılma sıralarında ürettiği motor ünite işaretleri görülmektedir.

Hafif kasılma durumunda tek bir motor ünitesinin (SMU) faaliyeti ayırt edilebildiği halde kuvvetli kasılmalarda bu mümkün değildir.

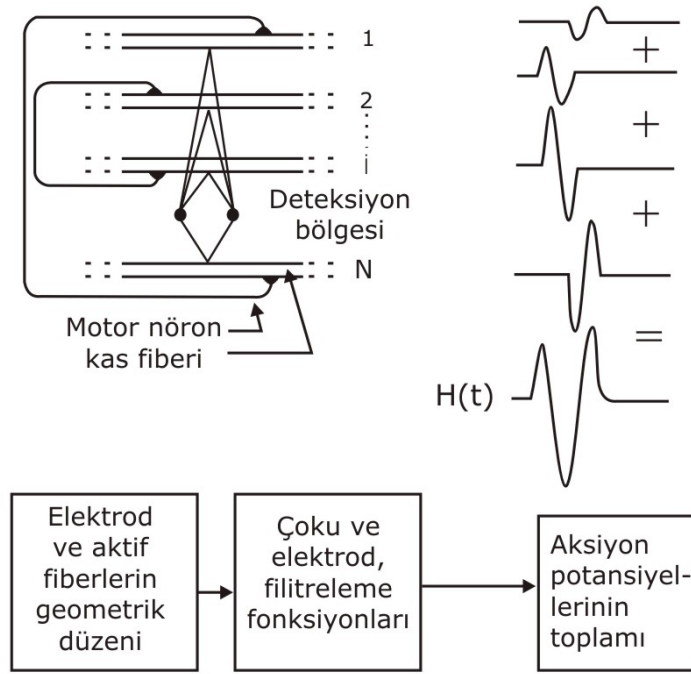


Şekil 10.27 Normal bir dorsal interossus kasının çok azdan çok kuvvetliye kadar kasılması anlarında üretilen potansiyeller

- Bir mikroelettrot yardımıyla hücrenin içine girilmesi halinde ölçülen aksiyon potansiyelinin dalga şekli unipolardır.

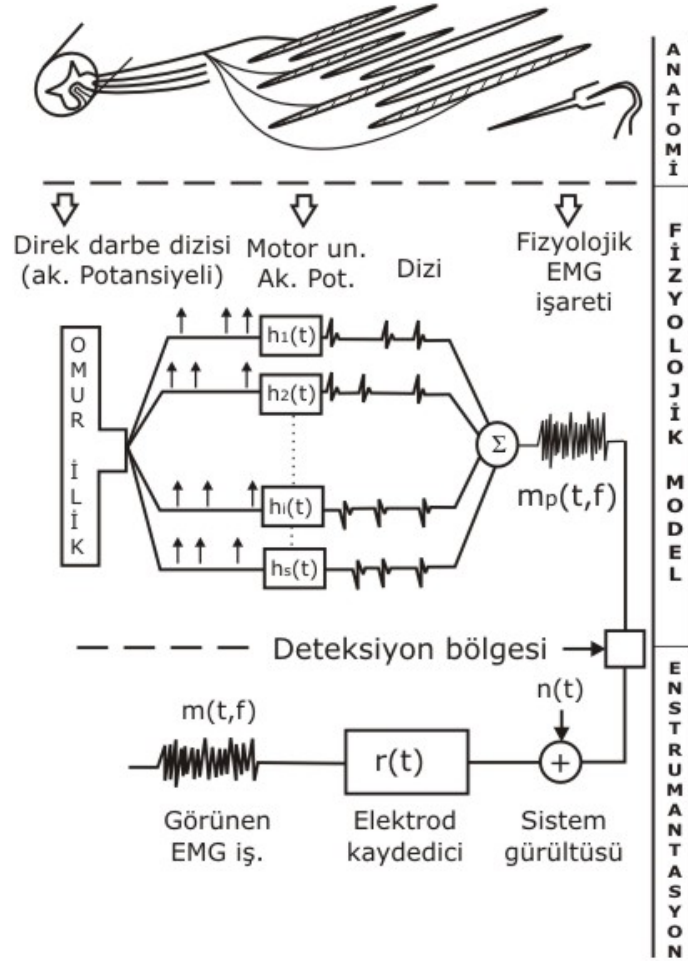
- **EMG işaretinin genliği**, kas fiberinin çapına, algılama noktasıyla kas fiberi arasındaki mesafeye ve elektrotların filtreleme özelliğine bağlıdır. Süresi ise kas fiberlerinin iletim hızıyla ters orantılıdır.

Şekil 10.28'de bir motor ünitesinin aktive edilmesi durumunda elektrotlarda algılanan EMG işaretinin bileşenleri ve toplam olarak kendisi şematik olarak görülmektedir.



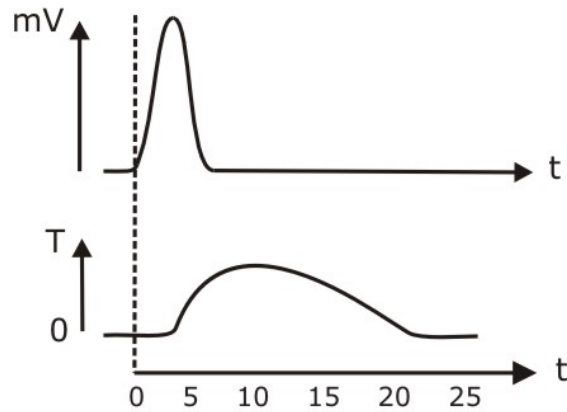
Şekil 10.28 Bir motor ünitesinin aktive edilip EMG işaretinin oluşması

Şekil 10.29'da yüzey elektrotlar yardımıyla elde edilen EMG işaretleri gösterilmiştir. Aktivitenin artmasıyla tek motor ünitesinin faaliyeti belirlenemez duruma gelmekte ve interference pattern ortaya çıkmaktadır.



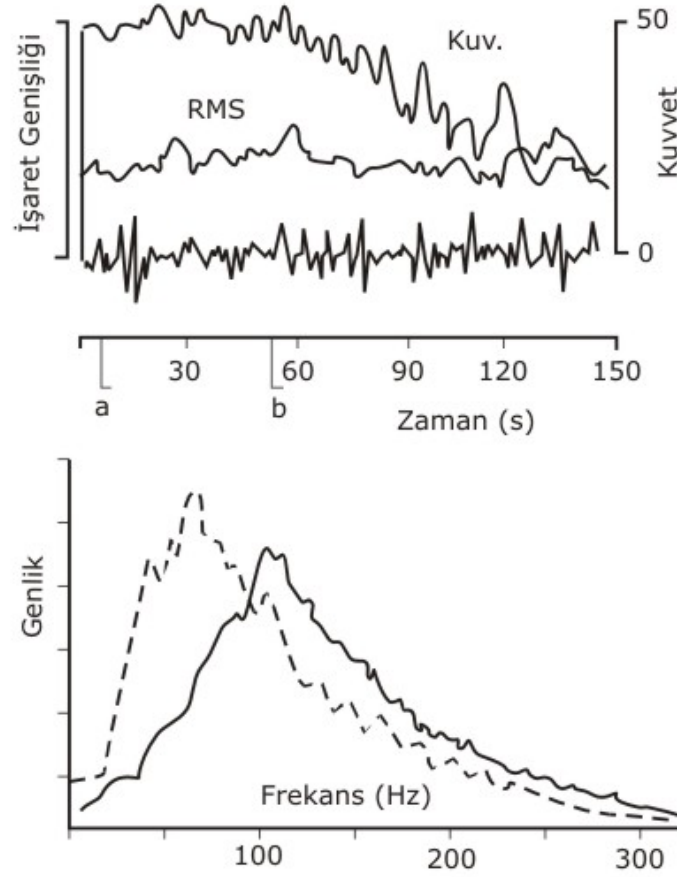
Şekil 10.29 EMG işaretlerinin oluşumu ve yüzey elektrotlarına ulaşımı

Kasa uyarının gelmesiyle kasın kasılmaya başlaması arasında bir gecikme süresi (latent period) vardır.



Şekil 10.30 Kasa uyarının geliş ve kasın kasılması

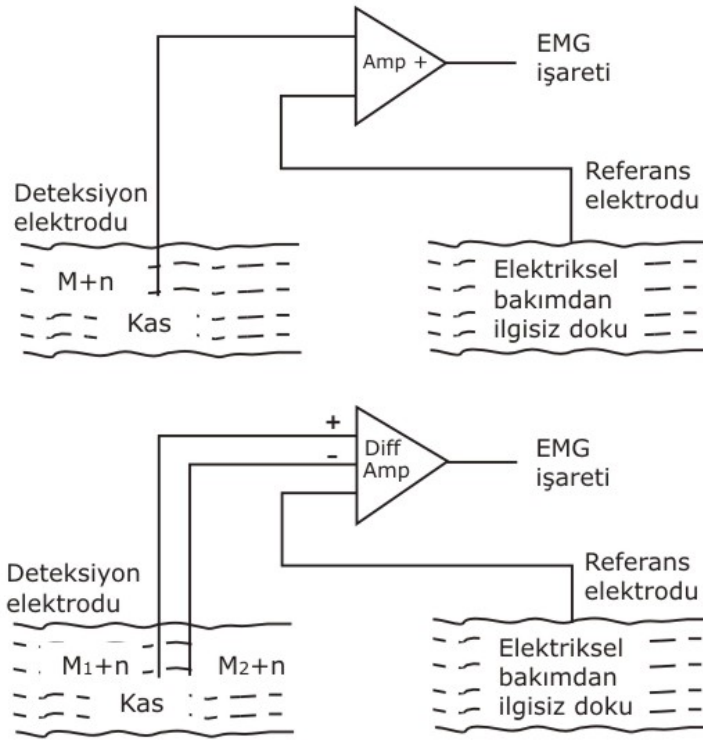
Kas Yorulması ile EMG'de Görülen Değişimler: Şekil 10.31'de deri üzerindeki elektrot yardımıyla elde edilen yorulmuş bir kasa ait EMG işaretleri görülmektedir.



Şekil 10.31 Yorulmanın EMG üzerine etkisi a)EMG gücünde zamanla azalma b) EMG frekans spektrumunda yorulma ile değişimi

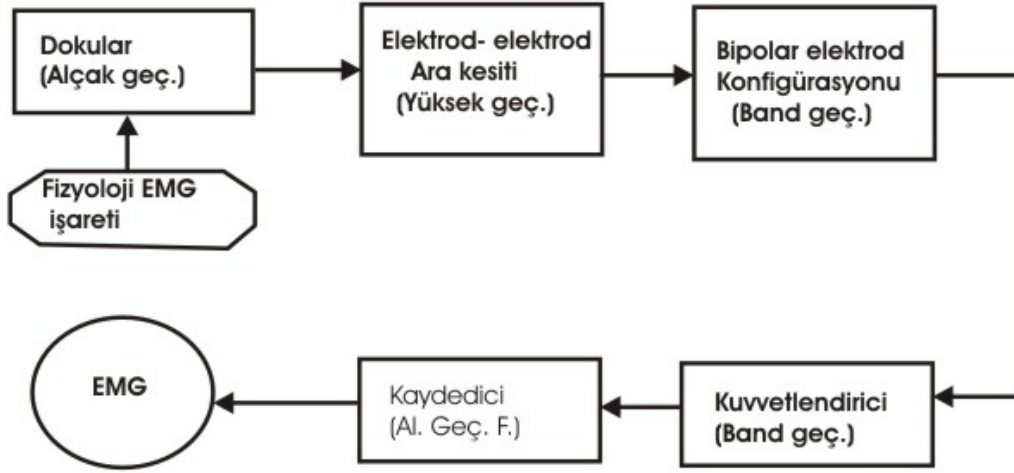
10.11 EMG İşaretlerini İnceleme Yöntemleri

Şekil 10.32'de, EMG işaretlerinin monopolar ve bipolar modda algılama yöntemi gösterilmiştir. Ortak moddaki işareti düşük tutmak mümkün olduğundan bipolar mod daha fazla kullanılmaktadır.



Şekil 10.32 EMG işaretlerinin monopolar ve bipolar algılanması

- Şekil 10.33'de, EMG işaretlerinin oluşumu ve görüntülenmesi sürecinde çeşitli dokuların işaret üzerindeki filtreleme işlemleri gösterilmiştir. Yükseltecin bandı, yüzey elektrodların kullanılması durumunda 20-500 Hz, iğne elektrod kullanılırken 20-1000 Hz olmalıdır. Tek bir fiberde oluşan işareti algılamak için kullanılan iğne elektrod durumunda ise 20-10000 Hz olmalıdır.



Şekil 10.33 EMG işaretlerinin elektrotlara ulaşınca kadar karşılaştığı işlemler

EMG işaretlerini, zaman domeni ve frekans domeni olmak üzere iki aynı domende incelemek mümkündür.

10.11.1 EMG İşaretlerinin Zaman Domeninde İncelenmesi

EMG işaretinin enerjisinin tümünü kullanabilmek için EMG işaretleri tam dalga doğrultulur.

1. Alçak geçiren filtreleme: Doğrultulmuş işarettaki rastgele sürüklenmeleri yok etmek için doğrultulmuş işaret, analog veya sayısal bir alçak geçiren filtreden geçirilir. Yani işaret üzerinde yumuşatma (smoothing) yapılır.

3. **Ortalama alma:** Ortalama alma yumuşatma işleminin sayısal yapılışıdır. Bu durumda işaretin rasgele olarak değişen değerlerinin ortalaması alınarak, büyük sürüklenmeler yok edilebilir.

Doğrultulmuş işaretin ortalaması,

$$m_0(t) = \frac{1}{T} \int_{t+\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} |m(t)| dt \quad (10.2)$$

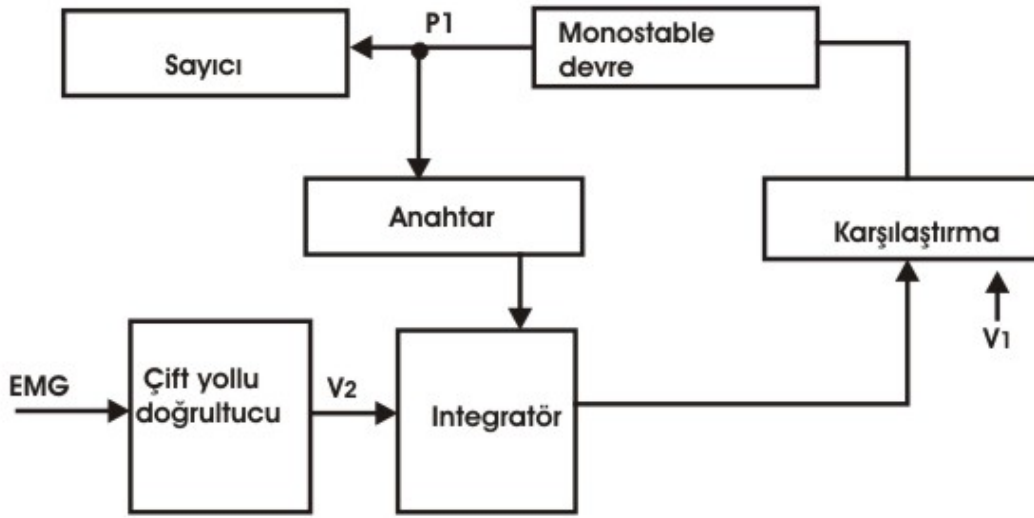
bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada, T pencereleme (windowing) süresidir.

T'nin küçük olması, doğrultulmuş işaretin zamana bağlı ortalamasının az yumuşatılması sonucunu oluşturur. T'nin büyük değerlerinde ise işaret durağan olmayabilir. T için tavsiye edilen değerler 100-200 ms arasında değerlerdir.

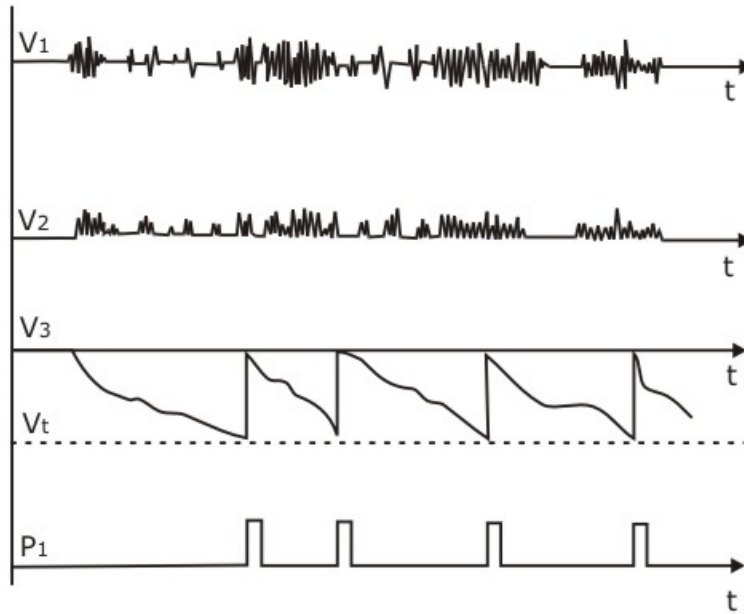
3. Entegral alma: Veri azaltmakta en çok kullanılan yöntem doğrultulmuş EMG işaretlerinin entegralinin alınmasıdır. Entegral alma işlemi, alçak frekansları filtreleme işleminin özel bir şekli olması nedeniyle bir önceki işlemin benzeridir. Bu işlem,

$$I[|m(t)|] = \int_0^t |m(t)| dt \quad (10.3)$$

bağıntısıyla hesaplanır.



Şekil 10.34 EMG işaretlerinin işlendiği entegral alıcı devrenin blok diyagramı



Şekil 10.35 Entegral alıcı devrenin çeşitli noktalarındaki işaretlerin zamana göre değişimi

Entegral alıcı devrenin çıkışındaki bilgi iki farklı şekilde değerlendirilebilir:

- a. Entegral alıcı devre çıkışındaki analog gerilim bir kaydedici yardımıyla zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir.
- b. Sayıcı yardımıyla sıfırlama darbeleri sayılır. Böylece yaklaşık entegral hesaplanır. Entegral alıcı devredeki değerin ilavesiyle gerçek değer elde edilir.

4. RMS değerin ölçülmesi : EMG'nin rastgele özelliğe sahip bir işaret olması nedeniyle, kapsadığı gücün belirlenebilmesi için RMS değeri hesaplanmak zorundadır. RMS değeri,

$$RMS[m(t)] = \left[\frac{1}{T} \int_t^{t+T} m^2(t) dt \right] \quad (10.4)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

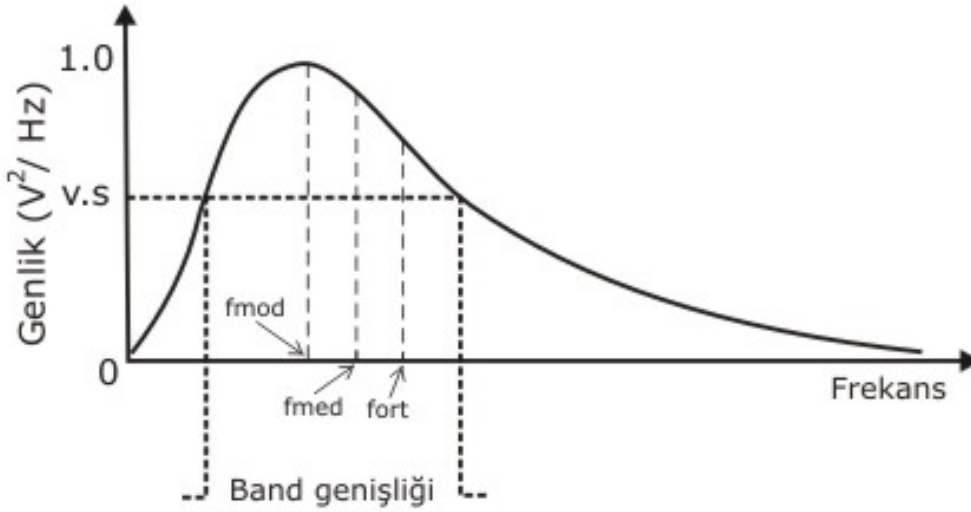
5. Sıfır geçiş ve dönüşlerin sayılması: Bu yöntemde, işaret genliğinin, bir t anındaki değeri işaretin sıfır değerinden geçiş sayısı veya genliklerin (pozitif veya negatif) sayısının ölçülmesiyle belirlenir.

10.11.2 EMG İşaretlerinin Frekans Düzleminde İncelenmesi

EMG işaretlerinin frekans domenindeki analizi bu işaretlerin **frekans spektrumundaki** özelliklerini belirleyen parametrelerinin ölçülmesi ve hesaplanması ile yapılır.

Bu işaretlerin Güç Spektrum Yoğunluklarının belirlenmesinde genellikle **Hızlı Fourier Dönüşümleri** kullanılır.

EMG işaretinin güç spektrum yoğunluğu, median frekansı, ortalama frekans ve spektrumun band genişliği gibi önemli parametrelerinin hesaplanması gerekir.



Şekil 10.37 İdeal bir EMG işareti güç spektrum yoğunluğu

Median ve ortalama frekans arasındaki bağıntı,

$$\int_0^{f_{med}} Sm(f)df = \int_{f_{med}}^{\infty} Sm(f)df = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} Sm(f)df \quad (10.5)$$

$$f_{ort} = \frac{\int_0^{\infty} f \cdot Sm(f)df}{\int_0^{\infty} Sm(f)df} \quad (10.6)$$

bağıntılarıyla verilmiştir.

Burada $S_m(f)$, EMG işaretinin güç spektrum yoğunluğunu göstermektedir.

Median frekansı, gürültüye diğerine nazaran daha az duyarlıdır.

Bu durum, özellikle işaret/gürültü oranının düşük olduğu düşük seviyeli kasılmalarda önemli olmaktadır.

Mod frekansı, spektrumun tepe noktasının frekansıdır.

Zaman domeni analizlerinde kullanılan sıfır geçiş tekniği, frekans domeni analizinde de kullanılabilir. **Sıfır geçiş hızı (Zf)**, ortalama frekansa ve EMG'nin varyansına,

$$Zf = 2 \left| \sigma^2 - (f_{ort})^2 \right|^{\frac{1}{2}} = 2 \left| \sigma^2 - (k \cdot fm)^2 \right|^{\frac{1}{2}} \quad (10.7)$$

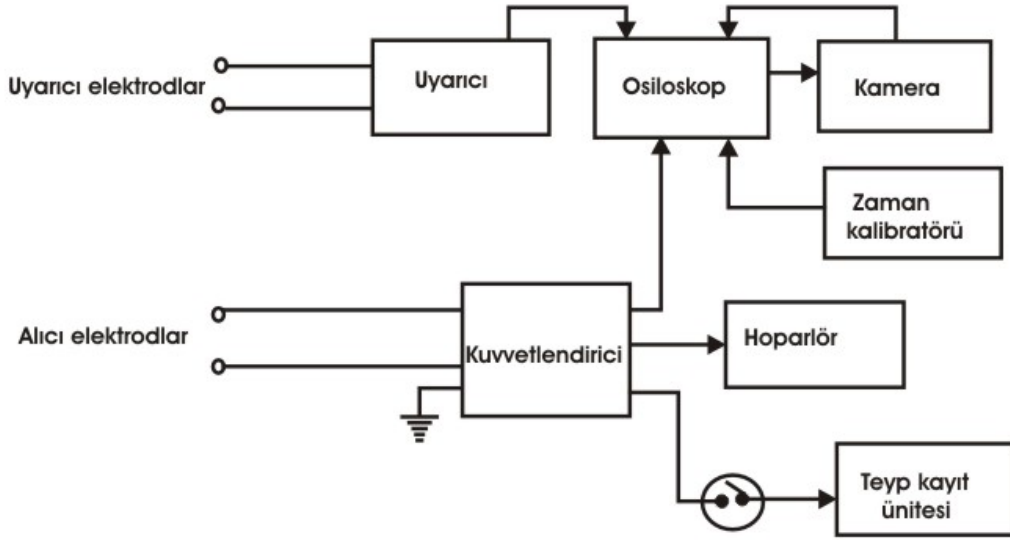
bağıntısıyla bağlı olduğu gösterilebilir. Burada fm , median frekansı göstermektedir, k ise bir sabittir.

10.11. Elektromiyogram Ölçme Düzeni

Kliniklerde kullanılan EMG ölçüm düzenleri, genel olarak EMG işaretlerini algılamaya yarayan elektrodlar, uyarıcı, yükselteç, osiloskop, magnetik kaydedici ve hoparlörden oluşur, (Şekil 10.38).

Araştırmaya yönelik çalışmalar için bunlara ek olarak çeşitli işaret işleme blokları, spektrum analizörleri ve bilgisayar da bulunabilir.

EMG düzenleri pratikte ayrı ayrı bloklar halinde değildirler. Uygulamada ve taşımada kolaylık açısından tek bir kompakt ünite olarak ve bazende kas işaretleri dışındaki biyopotansiyelleri de ölçebilecek nitelikte genel amaçlı olarak gerçekleştirilirler.



Şekil 10.38 Klinik EMG düzeni basitleştirilmiş blok diyagramı