

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

BİYOMEDİKAL CİHAZ TEKNOLOJİLERİ

**ELEKTROTLAR
522EE0154**

Ankara, 2011

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	iii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	3
1. UYGUN ELEKTROT SEÇİMİ	3
1.1. Elektroliz ve Elektrotlar	4
1.1.1. Tanımı.....	4
1.1.2. Elektrotların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	5
1.1.3. Elektrotların Kullanım Amaçları	12
1.2. Algılama Amaçlı Elektrot Çeşitleri.....	17
1.2.1. Yüzey Elektrotları.....	18
1.2.2. Dâhilî Elektrotlar	23
1.2.3. Mikroelektrotlar.....	25
1.2.4. Değişik Tipteki Elektrotlar	27
1.3. Uyarım Amaçlı Elektrotlar	31
1.3.1. Beyin Uyarıcı (Brain stimulate) Elektrot.....	31
1.3.2. Defibrilatör (Dışardan Kalp Uyarıcı) Elektrodu.....	32
1.3.3. Kalbi İçeriden Uyaran Pacemaker (Kalp Pili) Elektrodu	33
1.4 Elektrot Durum Dedektörü.....	34
1.5 Bağlantı Çeşitlerine Göre Elektrotlar ve Fiziksel Özellikleri	35
1.5.1. Klips (Clip) Elektrotlar	35
1.5.2. Emme (Vakum) Elektrotlar	36
1.5.3 Diğer Elektrotlar	37
1.6. Elektrotlarda Kullanılan Jeller (Gel).....	38
1.7. Elektrodun Elektriksel Devre Modeli ve Elektriksel Özellikleri	39
1.8. Ohmmetre ile Elektrotların Sağlık Kontrolü.....	40
UYGULAMA FAALİYETİ	42
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	45
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	47
2. ELEKTROT PARAZİTLERİNİ ÖNLEYİCİ TEDBİRLER ALMA	47
2.1. Elektrot Bağlamada Dikkat Edilecek Özellikler	47
2.2. Elektrotların Temizlenmesi.....	48
2.3. Biyolojik İşaretlerin Algılanması	48
2.3.1 Elektrotların Elektriksel Kökenli Biyolojik İşaretleri Algılama Tekniği	49
2.4. Elektrotların Olası Zararlı Etkileri	52
2.5. Elektrotların Özelliklerinin Ölçümler Üzerine Etkileri.....	52
2.5.1. Örnek Yükleme.....	53
2.5.2. Çıkış Empedansı	53
2.5.3. Sönüm.....	53
2.5.4. Frekans Cevabı	54
2.5.5. Doğrusallık	54
2.5.6. Gürültü.....	54
2.6. Hücrelerde Elektriksel Aktivasyon	56
2.6.1. Hücre Fizyolojisi	56
2.6.2. Aksiyon Potansiyelinin Oluşum Mekanizması.....	57
2.6.3. Aksiyon Potansiyelinin Yayılması.....	59

2.7. Elektrot Arıza Dedektörü	60
UYGULAMA FAALİYETİ	62
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	63
MODÜL DEĞERLENDİRME	64
CEVAP ANAHTARLARI	66
KAYNAKÇA	68

AÇIKLAMALAR

KOD	522EE0154
ALAN	Biyomedikal Cihaz Teknolojileri
DAL/MESLEK	Alan Ortak
MODÜLÜN ADI	Elektrotlar
MODÜLÜN TANIMI	Elektrotların teknik özelliklerinin, yapılarının, kullanım alanlarının anlatıldığı öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/16
ÖN KOŞUL	
YETERLİK	Biyomedikal sistemlerde kullanılan elektrotları değiştirmek
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında standartlara uygun olarak elektrotları seçip amacına uygun kullanabilecek ve sağlık kontrollerini yaparak değiştirebileceksiniz. Amaçlar 1. Elektrotların sağlık kontrolünü yapabileceksiniz. 2. Elektrot parazitlerini önleyici tedbirleri alabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Ortam: Ölçme ve işaret işleme atölyesi, fizyolojik sinyal izleme teşhis ve kayıt cihazları dal atölyesi Donanım: Çeşitli cihazlara ait elektrotlar, avometre, hasta simülatörleri, elektrotların bağlanacağı sinyal ölçme cihazları, elektrot jelleri
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Tıp dünyası her geçen gün yeni gelişmelere imza atmaktadır. Ülkemiz bu gelişmeleri takip etmekte ve gelişen teknolojileri ülkemiz vatandaşlarının hizmetine sunmaktadır. Tıp teknolojisinin gelişimi, bizi bu alanda çalışan yetişmiş elemanların yeni teknolojiyi verimli kullanabilmesi için sürekli olarak öğrenime tabi tutulmaları gerçeği ile yüz yüze getirmiştir. İnsan hayatının çok değerli olduğu ve tıbbi teknolojinin hata götürmez bir öneme sahip olduğu asla akıldan çıkarılmamalıdır. Tıbbi cihazlardaki gözden kaçan arızaların, ölçüm ve kullanım hatalarının bir insan hayatına mal olabildiği acı tecrübelerle kayıtlara geçmiştir.

Sizler, bu modülü bitirdiğinizde tıbbi cihazlar içinde çok büyük öneme sahip olan sinyal izleme cihazlarının elektrot yapılarını öğreneceksiniz. Bu elektrotların kullanım alanlarını bilecek, ölçüm hatalarını ve yanlışlıklarını önleme metotları ile ilgili detaylı bilgiye sahip olacaksınız.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığınızda, kullanım amacına uygun elektrodu seçerek elektrodun sağlık kontrolünü yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- İnternet ortamında tıbbi elektrotların teknik özelliklerini ve çeşitlerini araştırınız.
- Bulduğunuz ildeki üniversite hastaneleri veya devlet hastanelerine giderek teknik servis elemanı ve sağlık personelinden elektrotlarla ilgili teknik bilgi edininiz. Hangi cihazlarda, hangi tip elektrot kullanıldığını öğreniniz.
- Radyofrekans elektrotlarını araştırınız.
- Araştırmalarınızı rapor hâline getirip sınıf ortamında arkadaşlarınızla tartışınız.

1. UYGUN ELEKTROT SEÇİMİ



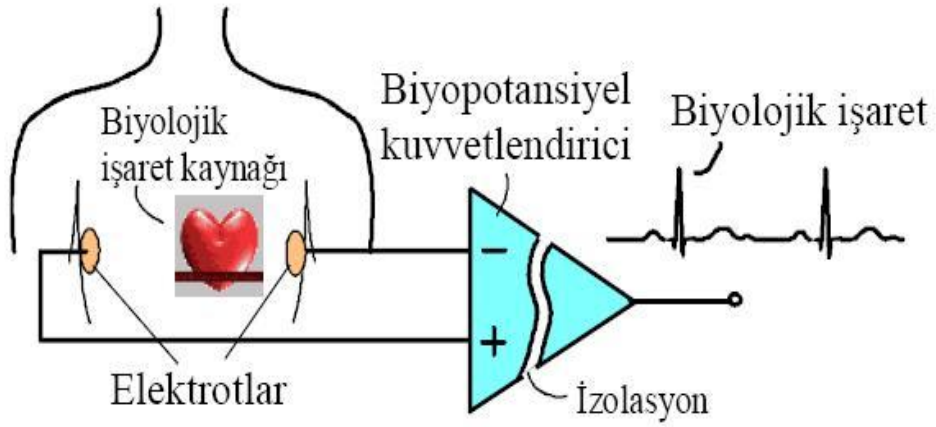
Resim 1.1: Elektrotlar

1.1. Elektroliz ve Elektrotlar

1.1.1. Tanımı

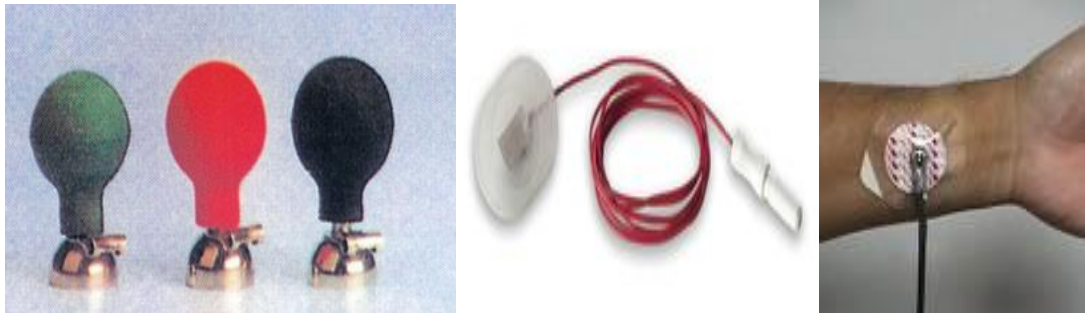
Biyolojik işaretlerin özellikle tıpta teşhis amacıyla yönelik olarak algılanabilmesi için vücut ile ölçme düzeni arasındaki iletişimi sağlayan ve ayrıca çeşitli amaçlar ve özellikle tedavi amacı için organlara akım gönderilmesini sağlayan elemanlara **elektrot** adı verilir

Biyoelektrik gözlemler için ilk basamağı elektrotlar oluşturur. Metal veya sıvı yapıda olan elektrotlar, biyoelektrik olayların dedeksiyonundan başka, dokulara elektrik akımı uygulamada da kullanılır.



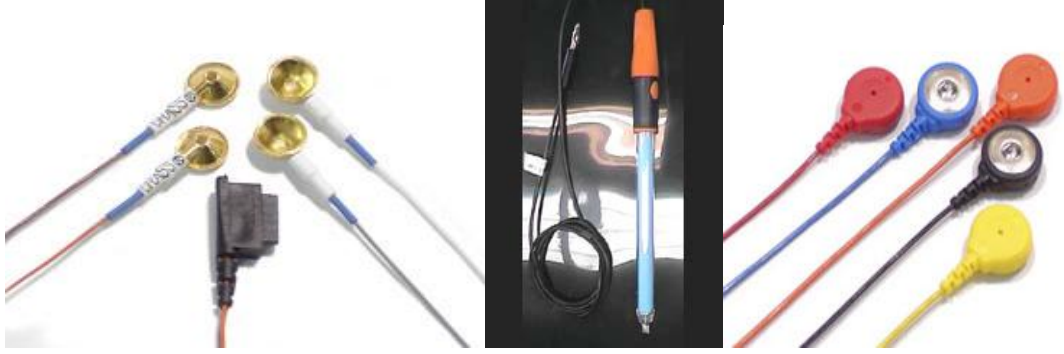
Şekil 1.1: Elektrot ile biyoelektrik sinyallerinin ölçüm düzeni

Elektrotların seçiminde fizyolojik zehirlilik, elektriksel iletkenlik ve mekanik dayanıklılık önemli faktörlerdir. Biyoelektrik uygulamalarında en çok kullanılan elektrot metalleri platin, altın, gümüş, tantal, tungsten, paslanmaz çelik veya alüminyumdur. Platinin pahalılık dezavantajı yanında yüksek iletkenliği, aşınmaya (korozyon) ve deformasyona dayanıklılığı nedenleri ile özellikle iridyumla alaşımı organ içine sürekli gömülü elektrotlar (örneğin, elektronik peacemaker) için en uygundur.



Resim 1.2: Çeşitli elektrotlar

Gümüş iyi iletken, yumuşaktır, kolay oksitlenir. Paslanmaz çelik, korozyona uğrasa da dış uygulamalar, bazen iç uygulamalar için de uygun sayılmaktadır. Yüzeysel uygulamalar için alüminyum da kullanılabilir. Bakır, zehirliliği nedeni ile uygun değildir.



Resim 1.3: Altın, platin, gümüş elektrotlar

1.1.2. Elektrotların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

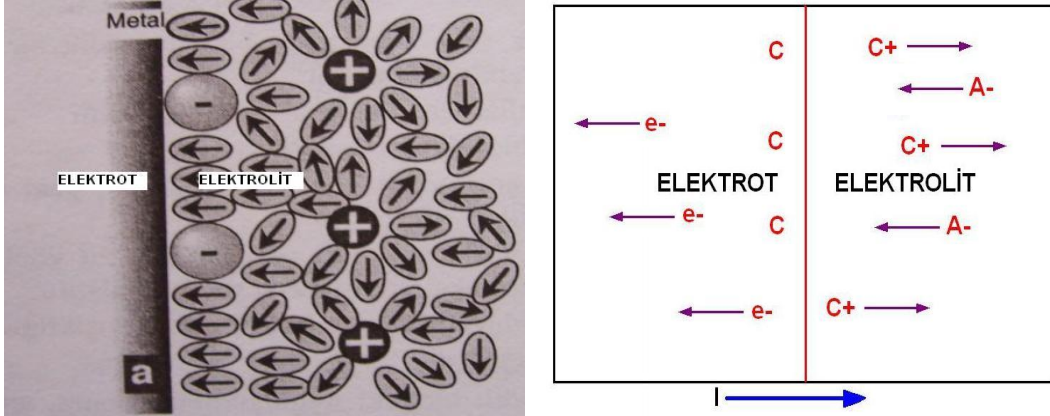
İncelenen dokuya, gözlenen veya uygulanan potansiyele, yerelliğin derecesine göre elektrot geometrisi, iğne biçiminden 5 cm çapa kadar değişebilir. Yüzeysel kayıt ve uygulamalar için disk veya elips biçiminde yapılan elektrotlara, dokulara iyi bir temas sağlamak için hafif bir içbükeylik verilir. Ayrıca iyi bir elektriksel iletim için elektrot altında kalan deriye NaCl çözeltisi veya özel elektrot pastası sürülmeli, lastik bağ veya tutucu bantlar yardımı ile elektrotların dokularla iyi teması sağlanmalıdır.



Resim 1.4: Çeşitli elektrot uygulamaları

1.1.2.1. Tersinir ve Tersinmez Elektrotlar

Elektrotların vücuttaki biyolojik işaretleri algılaması veya vücuda dışarıdan uyarıcı işaret göndermesi, elektron akımını iyon akımına ya da iyon akımını elektron akımına dönüştürmesi esasına dayanır. Elektrotların iyon akımını elektron akımına dönüştürme işlemi, elektrotların içinde buldukları sıvı ortamda (elektrolit) ve elektroda yakın olan arayüzde gerçekleşir. Bu arayüzün elektrot tarafında akım taşıyıcı olarak elektronlar ve elektrolit tarafında ise katyon (C^+) ve anyonlar (A^-) bulunur. Elektrolit içinde kullanılan elektrolit malzemesinden katyonların bulunduğu durum da göz önüne alınarak elektrot atomlarının elektrotlarını kaybederek elektrolit içinde katyon (pozitif iyon) durumuna gelmesi veya tersine elektrolit içindeki elektrot malzemesinden olan katyonların, elektrottan elektron çalarak elektrot yüzeyinde birikmesi işlemleri ile karşılaşılır. Bu durum Şekil 1.2'de görülmektedir. Elektrottan akım çekilmediği sürece kimyasal birer reaksiyon durumunda olan bu iki işlem, birbirini dengeleyerek sürüp gider.



Şekil 1.2: Elektrot-elektrolit arayüzü (elektriksel çift tabaka double layer)

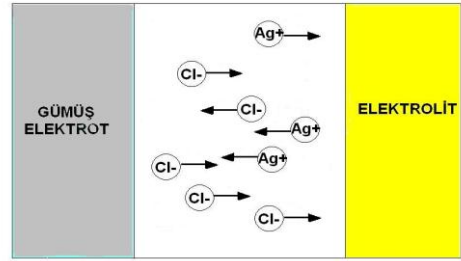
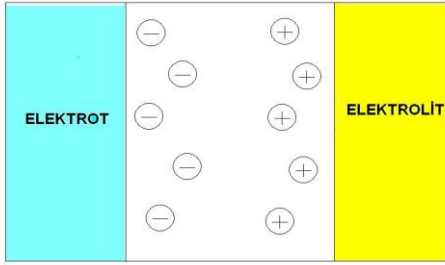
Bu dengede elektrot-elektrolit arayüzünde pozitif yüklü C^+ iyonlar ile elektrodun arayüze yakın olan bölgelerinde elektronlar birikir. Bu şekilde arayüzdeki yük birikimi, elektrodu çevreleyen elektrolit bölgesinin elektriksel potansiyelini, elektrolidin diğer bölgelerine göre farklı bir potansiyele getirir. Kullanılan elektrodun yapıldığı malzemeye ve kullanılan elektrolitteki iyon aktivitesine göre değişen bu potansiyel farkına **yarı-hücre potansiyeli** adı verilir. Elektrotların yarı-hücre potansiyellerini ölçmek kolay değildir. Çünkü elektrolidin elektrottan uzaktaki referans potansiyelde olan noktasına batırılacak olan referans elektrodunun da bir yarı hücre potansiyeli olacaktır. Bu yarı-hücre potansiyeli ölçülecek elektrot ile referans elektrot arasına bağlanacak büyük iç dirençli bir voltmetre, ancak bu iki elektrodun yarı hücre potansiyellerinin farkını gösterecektir.

Yarı hücre potansiyelinin ölçülebilmesi için elektrottan hiç akım çekilmemesi gerekir. Akım çekilince reaksiyon dengesi bozulur ve ölçülen yarı-hücre potansiyeli, akımın sıfırken aldığı değerden farklı olur. Bu iki potansiyel arasındaki farka **gerilim aşımı** denir.

Teorik olarak elektrotlar, polarize olan ve polarize olmayan elektrotlar olarak ikiye ayrılabilir. Polarize olan elektrotlarda, elektrot-elektrolit arayüzünde akım geçişi sınırlıdır ve

elektrot bir kapasite gibi davranır. Tamamıyla polarize olan elektrotlardan akım geçirildiği zaman elektrot-elektrolit ayırım bölgesinden gerçek bir şarj transferi olmaz. Elektrot-elektrolit ayırım bölgesinden akım geçmektedir. Ancak bu akım yer değiştirme akımıdır.

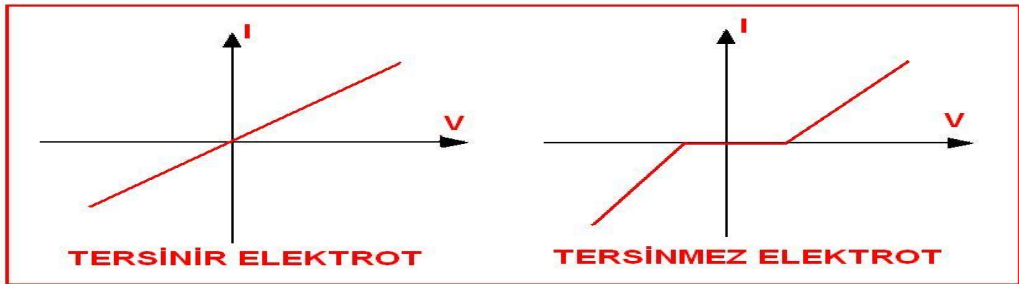
Bu elektrotlarda çözelti içinde metalin kendi iyonları yoktur (Örneğin, NaCl çözeltisi içinde paslanmaz çelik elektrotlar). Bu şekilde tamamıyla polarize olan elektrotlara (irreversible) **tersinmez elektrot** denir. Bu elektrot Şekil 1.3a'da görülmektedir. Tersinmez (tam polarize olan) bir elektrot sisteminde hissedilir bir akım başlatabilmek için oldukça büyük potansiyel farkları gerekebilir. Dolayısıyla bu tip elektrotlar tercih edilmez.



Şekil 1.3a: Polarize olan (tersinmez) elektrot

Şekil 1.3b: Polarize olmayan (tersinir) elektrot

Çoğu uygulamalarda çözelti içinde iyonu bulunan bir metalin elektrot olarak kullanılması tercih edilir. Arayüzde bir potansiyel düşmesi olmadan akımın iki yönde de geçebildiği bu türden elektrotlara (reversible) **tersinir elektrotlar** denir. Şekil 1.3b tersinir (tam polarize olmayan) elektrotlarda elektrot-elektrolit ayırım bölgesinden akım serbestçe geçebilir ve bu geçiş sırasında bir enerji gereksinimi olmaz. Tersinir ve tersinmez elektrotlardaki akım/voltaj karakteristiği aşağıdaki gibidir.

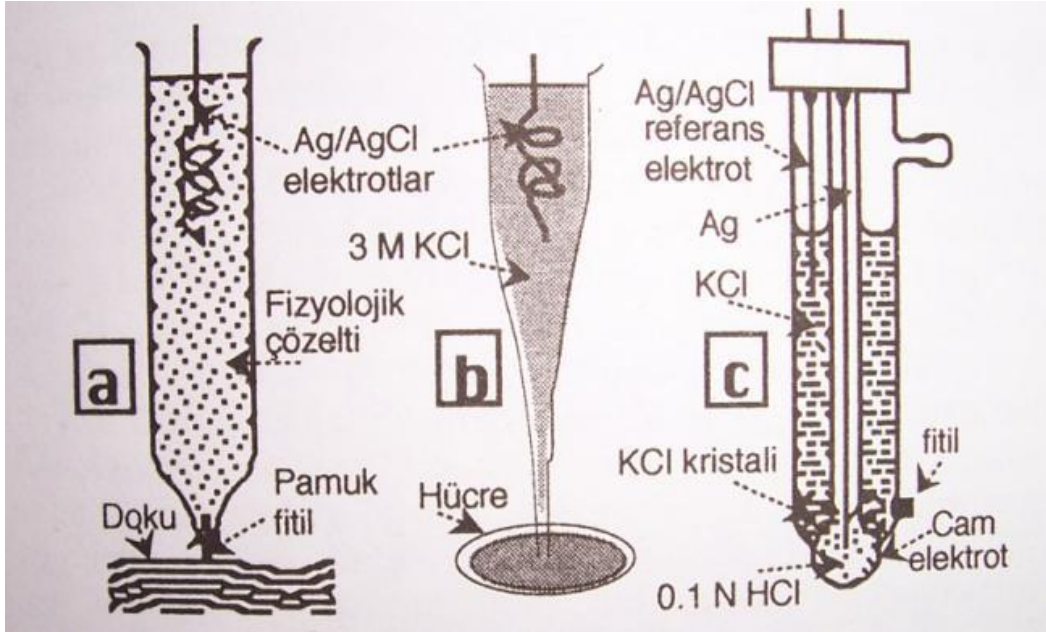


Şekil 1.3c :Tersinir ve tersinmez elektrotlardaki akım voltaj karakteristiği

Şekil 1.3b'de gösterilen Ag/AgCl (gümüş/gümüşklorür) elektrot ya katı Ag yüzeyinin, ince bir katı Ag/AgCl tabakasıyla kaplanmasından ya da pudra şeklindeki AgCl'ün katı palet şeklinde sıkıştırılmasından oluşmuştur. AgCl'ün bulunmasıyla elektrot, yaklaşık olarak mükemmel nonpolarize veya tersinir elektrot gibi davranır. AgCl elektrot çift tabakanın oluşmasını engeller. AgCl elektrot ve elektrolit arasında serbestçe göç edebilen Ag ve Cl iyonlarına ayrışır. Böylece çift tabakanın oluşması önlenir. Sonuçta Ag ve elektrolit arayüzünde düşük empedans ve düşük offset potansiyeli oluşmaktadır. Ag/AgCl ve Zn/ZnSO₄ (çinko/çinkosülfat) elektrotların ikisi de bu özellikleri göstermektedir.

1.1.2.2. Biyoelektrik Uygulamalar İçin Özel Elektrotlar

Biyoelektrik gözlemler için Ag/AgCl tersinir elektrodu tercih edilir. Bu şekilde bir elektrot yapmak için tel veya disk biçimindeki oldukça saf metalik gümüş, Cl⁻ iyonları içeren seyreltik bir çözelti (HCl veya NaCl) içerisine daldırılarak birkaç dakika 1 mA/cm² şiddetli bir doğru akım geçirilir. Gümüş yüzeyi ince bir AgCl ile kaplanır. Böyle bir elektrot örneğin katot olarak çalışırken AgCl tabakasındaki Ag⁺ iyonları gümüş metali üzerine; Cl⁻ iyonları ise çözeltiye (dokuya) geçer. Anot olarak davranırken ise metalik Ag atomları elektron kaybederek Ag⁺ iyonları hâlinde AgCl tabakasına girerken dokudan gelen Cl⁻ iyonları ile karşılaşır, yeni AgCl üretilir. Böylece elektrot Cl⁻ iyonlarına tersinir davranmış olur.



Şekil 1.4: Biyoelektrik uygulamalar için özel bazı elektrot biçimleri

- Fitilli Ag/AgCl elektrot
- Mikroelektrot
- pH ölçümleri için referans elektrodu ile birlikte cam elektrot

Doku hareketlerinden kaynaklanacak direnç dalgalanmalarını önlemek için doku ile elektrot arasına pamuk fitilden bir köprü kurulabilir (Şekil 1.4a). Hücre içi potansiyel ölçümlerinde kullanılan mikroelektrotlar da genellikle Ag/AgCl elektrotlardır. Cam mikropipetler içerisine 3M KCl çözeltisi konur ve çözelti içine Ag/AgCl elektrot daldırılır (Şekil 1.4b).

EKG (kalp sinyalleri) ve EEG (beyin sinyalleri) uygulamalarında Ag/AgCl elektrot en uygundur. Bunun yanında çinko ve paslanmaz çelikten elektrotlar da kullanılabilir. EMG (kas sinir sinyalleri) veya MSS (merkezi sinir sistemi) iç bölgelerinden kayıtlar için birkaç µm kalınlığa kadar inceltilmiş paslanmaz çelik veya tungsten elektrotlar kullanılmaktadır.

Metalik bir elektrot, bir çözelti içine daldırıldığında elektriksel çift tabaka ile birlikte çözelti ile metal elektrot arasında bir potansiyel fark ortaya çıkar. Elektrot potansiyeli adı verilen bu potansiyel farkı bir başka referans elektrota göre bağıl olarak ölçülebilir (Şekil 1.4c).

1.1.2.3. Gümüş/Gümüşklorür (Ag/AgCl) Elektrotlar

Elektrik akımı, doku ve sıvılarda iyonlarla; metallerde ise elektronlarla taşınmaktadır.

Dokudaki elektriksel etkileri ölçmek için dokudaki iyonik akımların ölçme devresindeki elektronik iletme aktarımları gerekmektedir. Bu aktarma, doku-elektrot ara yüzeyinde yapılmaktadır.

Farklı iki metal, elektrolit içeren bir kaba daldırılırsa bu metaller arasında bir potansiyel farkı oluşabilir. Bu metallerden biri gümüş (Ag), diğeri bakır (Cu) ise bu potansiyele **gümüş/bakır hücre (pil) potansiyeli** denir ve 0.4 V büyüklüğündedir. Bu potansiyel cebirsel olarak toplanmış iki ayrı bileşeni içermektedir.

Gümüş elektrodun yarı hücre potansiyeli ve bakır elektrodun yarı hücre potansiyeli her ne kadar ölçülmesi zorsa da bu yarı hücre potansiyelleri metal-elektrolit ara yüzeyinde oluşmaktadır.

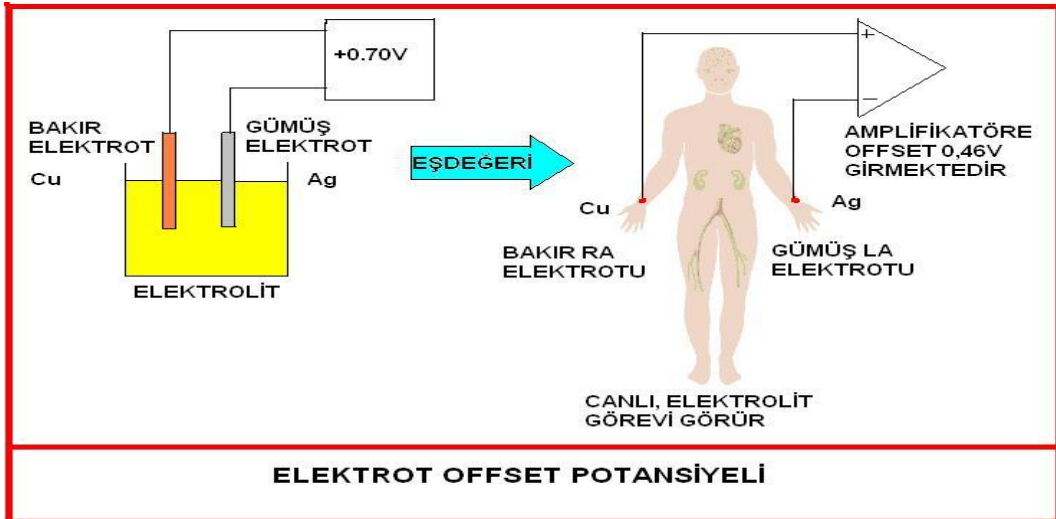
Bazı kimyasal faktörler ihmal edilirse ilk yaklaşımla, yarı hücre potansiyeli yaklaşık olarak ilgili elektrodun elektrot potansiyeline eşit olur. Böylece Ag ve Cu elektrotları arasında oluşan potansiyel farkı, yaklaşık olarak Ag ve Cu'nun elektrot potansiyellerinin farkına; yani yaklaşık olarak $0.80 - 0.34 = 0.46$ V'a eşittir. Bu potansiyelin gerçek değeri birçok kimyasal faktörlere (Bunlardan en önemlileri elektrodun cinsi ve konsantrasyonudur.) bağlıdır. Bununla birlikte verilen değer, muhtemelen fizyolojik ortamda ölçülen 100 mV'luk gerçek değer dolayındadır.

Bilinen metallerin elektrot potansiyellerinin listesi Tablo1.1'de verilmiştir. Bu listeye **elektrokimyasal seri** denir.

METAL	İYONİK SİMGE	ELEKTROT POTANSİYELİ
ALÜMİNYUM	Al ⁺⁺⁺	-1.66 V
ÇİNKO	Zn ⁺⁺	-0.76 V
DEMİR	Fe ⁺⁺	-0.44 V
KURŞUN	Pb ⁺⁺	-0.12 V
HİDROJEN	H ⁺	0 V
BAKIR	Cu ⁺⁺	+0.34 V
GÜMÜŞ	Ag ⁺	+0.80 V
PLATİN	Pt ⁺	+0.86 V
ALTIN	Au ⁺	+1.50 V

Tablo 1.1: Metallerin elektrot potansiyelleri, elektrokimyasal seri

Bir Ag ve Cu elektrot örneği aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Bu örnekte görülen elektrolit kabındaki elektrotlar ile bir insan üzerindeki elektrotlar arasında benzerlik vardır. Elektrofizyolojide iki elektrot arasında dedekte edilen yarı hücre potansiyellerindeki farka **offset potansiyeli** denir.



Şekil 1.5: Elektrot offset potansiyeli

Fark yükselteçlerde bulunan DC potansiyel ile fark offset potansiyelini birbirine karıştırmamak gerekir. Fark yükselteçteki DC gerilim, bu elektronik devrenin besleme

gerilimidir. Oysa ofset potansiyeli, iki elektrot arasında oluşan potansiyellerin farkıdır. Farklı metaller tarafından oluşturulan offset potansiyeli, yaklaşık olarak elektrot potansiyellerinin farkına eşittir.

$$\text{OFFSET} \approx \text{EP Ag-EP Cu}$$

$$\approx 0.80 \text{ V} - 0.34 \text{ V}$$

$$\approx 0.46 \text{ V}$$

Biyomedikal uygulamalarda elektrotlar arasında oluşan elektrot offset potansiyeli kararsızdır ve büyüklüğü bilinmemektedir. Bu potansiyelin olabildiğince küçük olması istenmektedir. Elektrot offset potansiyelini küçültmek için önce onun kaynağını bilmek gerekmektedir. Herhangi bir elektrot-elektrolit arayüzünde, elektrodun iyonlarını çözeltiye deşarj etme ve elektrolitteki iyonların da elektrotla birleşme eğilimleri vardır. Bu kimyasal reaksiyonlar aşağıdaki gibi gösterilebilir:



(Oksidasyon = Yükseltgenme reaksiyonu)

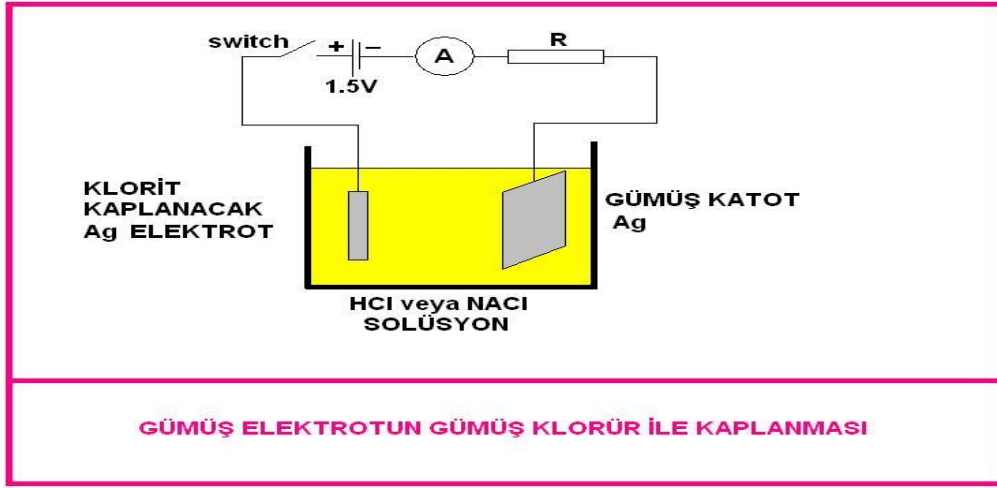


(Redüksiyon = İndirgenme reaksiyonu)

Bu reaksiyonların sonucuna bakıldığında daha önce anlatılan Şekil 1.3a ve 1.3b'deki çift tabaka düzeninin oluştuğu görülür. En basit formu ile zıt işaretli iki paralel yük alanı oluşur. Tersinmez elektrotlarda bu kimyasal reaksiyonun sadece biri görülür. Polarize olan bu elektrotlarda arayüz üzerinden net bir yük aktarımı olmaz. Yük aktarımı mümkün olan elektrotlar, polarize olmayan (nonpolarize) elektrotlar olarak bilinir. Bu elektrotlara **tersinir elektrotlar** da denir. Bu tersinir türden olan elektrotlarda yukarıda bahsedilen reaksiyonlardan ikisi de eşit kolaylıkla gerçekleşir. Uygulamada kullanılan elektrot sistemleri, bu ideal sınırlar arasındaki özelliklere sahiptir.

1.1.2.4. Klorla Kaplama

Gümüş elektrotlarla sağlıklı ve gürültüsüz bir ölçüm yapabilmek için bu elektrotların yüzeylerinin AgCl ile kaplanması gerekir. Ag/AgCl elektrotlar, elektrolizle hazırlanır. Üzeri AgCl ile kaplanacak olan Ag tel veya levha önce mekanik olarak temizlenir. %10'luk NaCl (veya HCl) solüsyonu içine anot olacak şekilde daldırılır. Katot olarak gümüş kullanılır. 1.5 V'luk bir pilden 3-5 mA'lık akım uygulanır. Akım geçirilmeye başlandığında akım şiddeti önce yüksektir ve AgCl, Ag levha üzerine birikmeye başlar. Daha sonra akım şiddeti azalır, reaksiyon yavaşlar ve birkaç dakika içinde minimum değere ulaşır. Bu sırada Ag plakanın



Şekil 1.6: Gümüş elektrodun gümüş klorür ile kaplanması

üzerinde koyu renkli AgCl birikir. AgCl hafif bir zorlama ile metal elektrodun üzerinden kolaylıkla sıyrılabilir ve Ag , elektrolitle temas edebilir. Bu noktalardan salıverilen Ag^+ iyonları, biyolojik dokular üzerinde zararlı etki yapabilir.

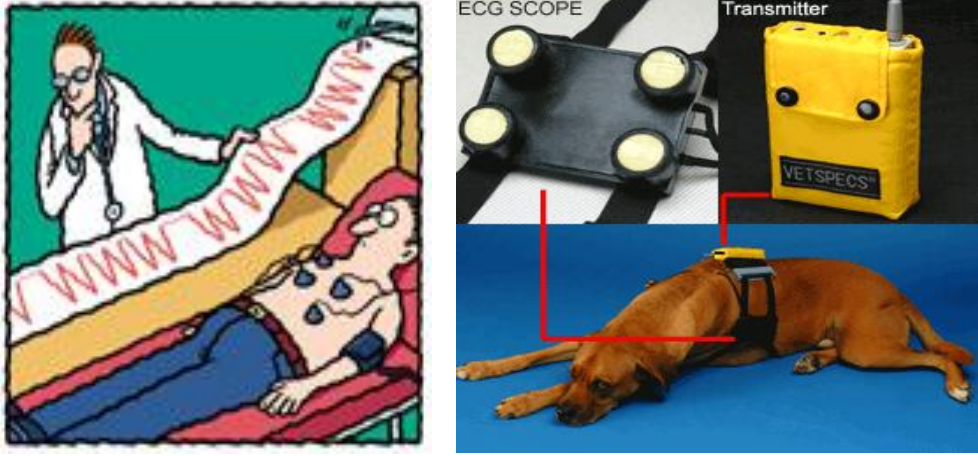
Elektrolitik olarak AgCl kaplanarak hazırlanan Ag elektrotlardan daha dayanıklı ve verimli elektrotlar da vardır. Bu tip elektrotlarda ortada Ag bir tel ve telin etrafında silindirik olarak toz hâlinde Ag/AgCl ile kaplanmış ve daha sonra 400°C 'de pişirilmiştir.

Polarize olmama özelliğine ek olarak Ag/AgCl elektrotlar üzeri AgCl ile kaplanmamış Ag elektrotlar ile karşılaştırıldıklarında daha az elektronik gürültüye sebebiyet verdikleri görülür. Bu elektrotlar, bu avantajları nedeniyle çok uygulama alanı bulur.

1.1.3. Elektrotların Kullanım Amaçları

Yaşayan organizmalarla (özellikle insanla) ilgili büyüklüklerin ölçülmesinde, ölçüm sistemi ile subje arasındaki etkileşim nedeniyle üzerinde ölçüm yapılan insanın da ölçüm sisteminin bir parçası olarak dikkate alınması gerekir. Bunun anlamı, ölçülen büyüklüklerin gerçek büyüklükleri gösterebilmesi için yaşayan organizmanın iç yapısı ve özellikleri, insan sisteminin tasarımı ve uygulanması sırasında dikkate alınmalıdır. Üzerinde ölçüm yapılan insan organizması ve ölçümü yapan ölçü sistemi ile birlikte oluşan tüm sisteme **insan-enstrümantasyon sistemi** denir.

Bu sistemdeki temel unsurlar herhangi bir enstrümantasyon sistemindeki temel unsurların aynısıdır. Aradaki tek fark, üzerinde ölçüm yapılan subjenin canlı organizma olmasıdır. Bu genellikle insandır. Ama subje her zaman insan olmayabilir (Resim 1.5).

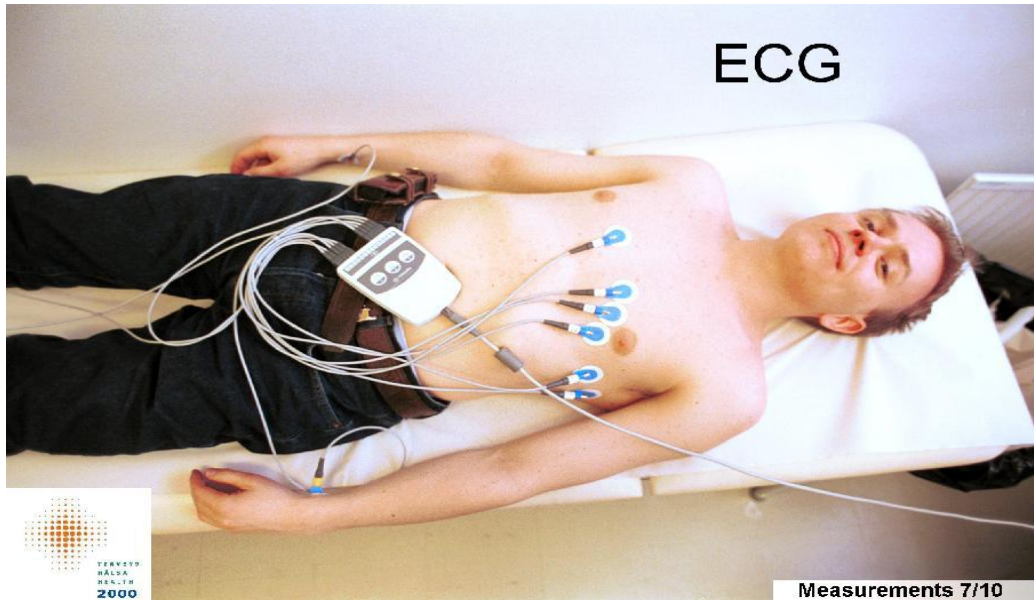


Resim 1.5: Ölçüm yapılan canlı organizmalar

Elektrotlar, genel anlamda canlı organizmadaki elektriksel kökenli biyolojik işaretlerin algılanması için kullanılır. Bu elektriksel işaretler kalp, kas, beyin, sinir, mide-bağırsak ve retina gibi vücut bölümlerinden alınır.

Aşağıda bazı elektrik kökenli biyolojik işaretler ve bu işaretlerin elektrotlar yardımı ile ölçüm düzenekleri görülmektedir.

EKG (ECG Elektrokardiyogram): Bu elektriksel işaretler kalpten alınır. En çok kullanılan ve yaygın olan elektrot tipi EKG tipi elektrotlardır. Aşağıdaki resimlerde EKG ölçüm düzenekleri görülüyor (Resim 1.6, 1.7).

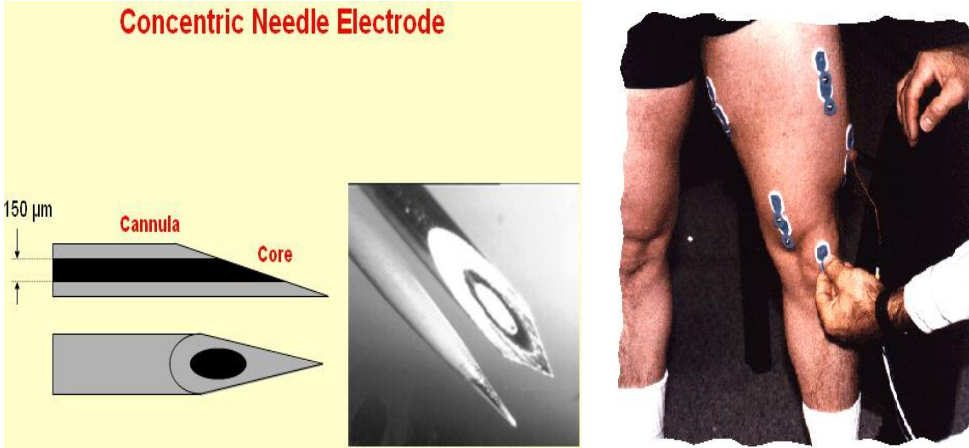


Resim 1.6: EKG (ECG) ölçüm düzeni



Resim 1.7: EKG ölçüm düzenleri ve EKG dalga formu

EMG (Elektromiyogram): Bu ölçüm sisteminde ölçülen, kaslardan alınan elektriksel işaretlerdir. Kaslar, uyarıcı elektrotlar yardımıyla küçük elektrik şoklarıyla uyarılır. Bu uyarılma esnasında uyarılan kasın tepkileri de başka elektrotlar yardımı ile kaydedilir.

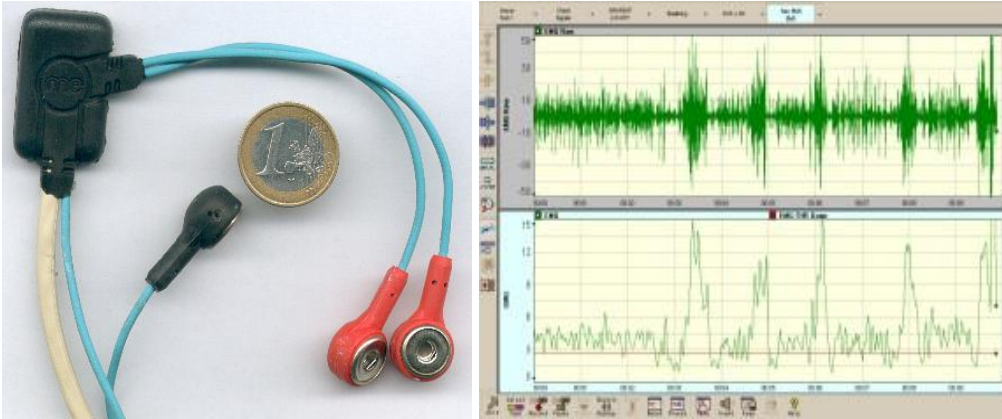


Resim 1.8: EMG iğne elektrodu ve ölçüm düzeni

Resim 1.9 ve 1.10'da subjelerin kol ve boyun kaslarında EMG ölçüm düzeneklerinin yapıları görülmektedir. Vücuttaki her kas üzerinde bu ölçümler yapılabilir.

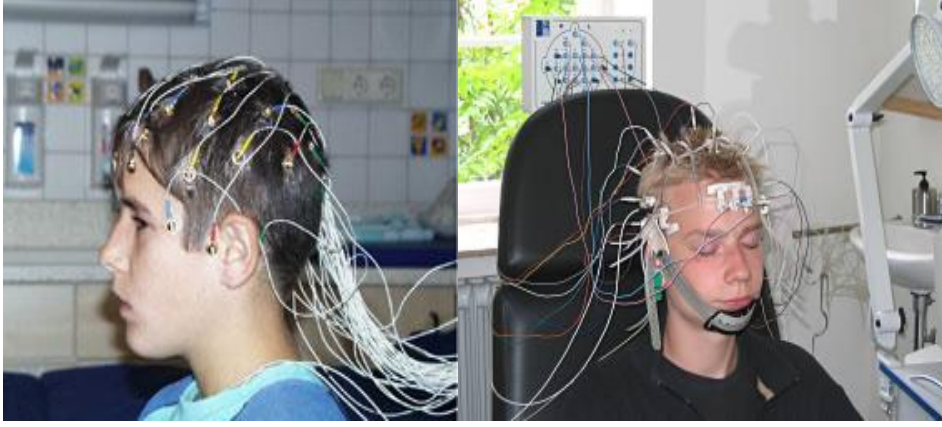


Resim 1.9: Çeşitli EMG ölçüm düzenleri



Resim 1.10: Bir EMG elektrodu ve EMG sinyali

EEG (Elektroensefalogram): Bu ölçüm sisteminde ölçülen, beyinden alınan elektriksel işaretlerdir. Bu ölçüm sisteminde de bazı uyarılar (ses, ışık gibi) kullanılır. Beyin gördüğü, duyduğu kısacası algıladığı her duruma bir tepki verir. Bu tepki özel EEG elektrotları yardımı ile algılanarak kaydedilir.



Resim 1.11: Çeşitli EEG ölçüm düzenleri

EEG ölçüm sistemindeki elektrot sayısı, diğer ölçüm biçimlerine göre daha fazladır. Bu elektrotların bir diziliş sırası vardır. Junction box (EEG elektrot bağlantı kutusu) üzerinde hangi elektrodun, hangi bağlantı terminaline bağlanacağı şekillerle gösterilmiştir. Bu bağlantı kutusu Resim 1.11’de görülüyor.

EGG (Elektrogastrogram): Bu ölçüm sisteminde, mide ve bağırsaklardan elektriksel işaretler alınır. Yine bu işaretler öncelikle elektrotlar tarafından algılanır. Daha sonra yükselteç devrelerinde yükseltilerek uzman hekim tarafından yorumlanabilir hâle getirilir.

Aşağıda bir EGG (elektrogastrogram) ölçüm düzeneğine ilişkin resim görülüyor.



Resim 1.12: EGG ölçüm düzeni

ERG (Elektroretinogram): ERG ölçüm sistemlerinde genel amaç, göz retinasının elektriksel aktivitesini ölçmektir. Uyarıcı olarak göze parlak ışık (flaş ışığı) verilerek gözün tepkileri izlenir. Elektrot olarak çok ince içi tuzlu su dolu bir kontakta lensin iç yüzeyine tutturulmuş küçük ve düz bir Ag/AgCl elektrodu kullanılır.



Resim 1.13: ERG ölçüm düzeni ve ERG elektrodu

EOG (Elektrookulogram): Göz hareketlerinin incelenmesi ve gözün çevresinde oluşan EOG olarak isimlendirilen elektriksel kökenli biyolojik işaretlerin ölçülmesi için kullanılan bir yöntemdir.

EOG elektriksel işaretleri; gözün sağ ve soluna, buruna ve şakağa yerleştirilen yüzey elektrotları ile ölçülür.



Resim 1.14: EOG ölçüm düzeni ve EOG elektrodu

1.2. Algılama Amaçlı Elektrot Çeşitleri

Biyoelektrik potansiyelleri ölçebilmek için iyonik potansiyel ve akımları elektrik potansiyel veya akımlarına dönüştüren dönüştürücülere ihtiyaç vardır. Elektrik kökenli biyolojik işaretleri algılamakta kullanılan böyle bir dönüştürücü iki elektrottan meydana gelir ve elektrotların uygulandıkları noktalar arasındaki iyonik potansiyel farkını ölçer. Her bir hücrenin ürettiği bireysel aksiyon potansiyellerini ölçmek imkânsız değilse de bazı özel uygulamalar dışında çok zordur. Çünkü hücre içine hassas olarak elektrot yerleştirilmesi gerekmektedir.

Biyopotansiyelleri en genel ölçme yöntemi, vücut yüzeyinden yapılan ölçümlerdir. Bu durumda alttaki birçok hücrenin aksiyon potansiyellerinin yüzeye gelen toplamı alınmaktadır. Bazı ölçümlerde ise bir sinire, kasa veya beynin belirli bölgelerine batırılan iğne elektrotlar yardımıyla ölçüm yapılır.

Biyopotansiyellerin vücut yüzeyine nasıl ulaştıkları kesin olarak bilinmemektedir. Ortaya birçok teoriler atılmıştır. Kalbin elektriksel potansiyellerinin izahı için ortaya atılan nispeten gerçekçi görünen teoriye göre yüzeyden ölçülen potansiyel alttaki bireysel aksiyon potansiyellerinin kendilerinin değil fakat birinci türevlerinin toplamıdır. Ölçme metodu ne olursa olsun biyoelektrik potansiyellerin oldukça iyi bilinen dalga şekilleri mevcuttur.

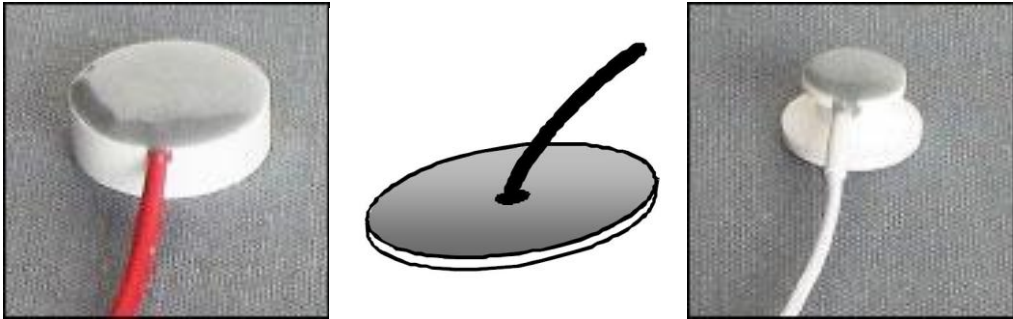
Genel olarak algılama amaçlı kullanılan elektrotları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Yüzey elektrotları
 - Dâhilî elektrotlar
 - Mikroelektrotlar
 - Değişik tipteki elektrotlar
- Şimdi bu elektrotları inceleyelim.

1.2.1. Yüzey Elektrotları

Yüzey elektrotları, biyolojik işaretlerin deri üzerinden algılanmasında kullanılır.

1.2.1.1. Metal Plaka Elektrotlar

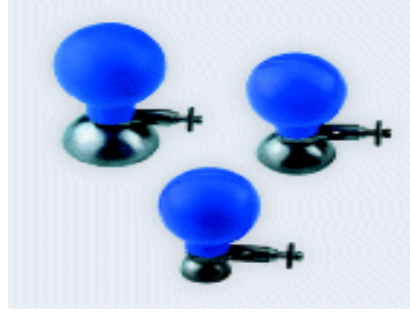


Resim 1.15: Metal plaka elektrotlar

Çok sık kullanılan bir elektrot türüdür. Özellikle EMG, EEG, ve EKG işaretlerini algılamakta kullanılır. Deri ile temas eden metalik bir yüzeyi bulunur. Gerçekte deri ile temas, bir elektrolit pasta aracılığı ile olur. Metal plaka düz veya uygulanacak yüzeyin şeklini alacak şekilde bir silindirik yüzey parçası biçimindedir. Genellikle nikel-gümüş alaşımından yapılır. Genelde bu sınıfa giren elektrotların yüzeyleri büyük olduğundan empedansları küçüktür (2-10 K Ω).

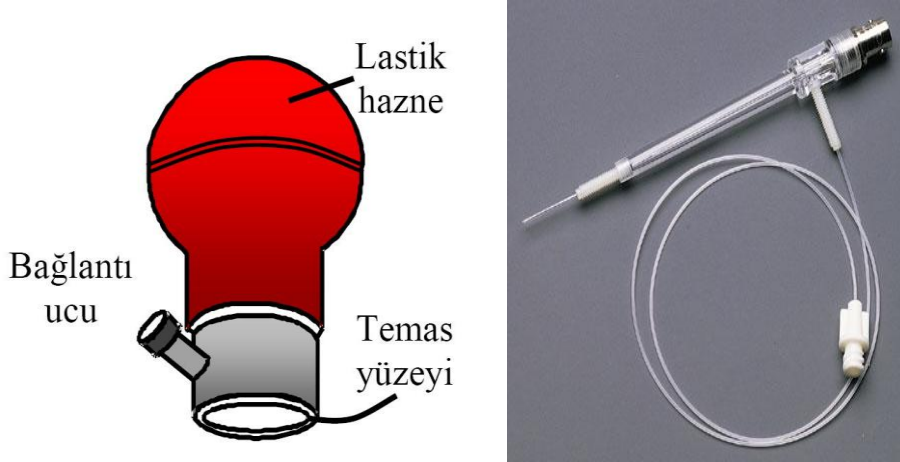
1.2.1.2. Emici Düzenli Elektrotlar

Metal plaka elektrotların gelişmiş bir şeklidir. Herhangi bir şekilde yapışkan veya bağlama bandı gerektirmez.



Resim 1.16: Emici elektrotlar

Genelde göğüs üzerinden EKG işaretlerinin algılanmasında kullanılır. Bu elektrot türünde metal elektrot, bir boru şeklindedir. Bu borunun halka şeklindeki yüzlerinden biri deriye temas ederken diğer yüzü deriye elektrodun tutturulmasını sağlayan ve vakum pompası görevi yapan elastik bir hazne içinde kalır. Bu tür elektrotların deri ile temas eden yüzeyleri halka şeklindedir. Hacimleri biraz büyüktür. Buna karşın empedansları da büyüktür. Bu nedenle küçük giriş empedanslı kuvvetlendiricilerle kullanılması elverişli olmaz.



Resim 1.17: Emici tip elektrot çeşitleri

Emici elektrotlar, Resim 1.17’de olduğu gibi iğne elektrot şeklinde de kullanılır. Bu elektrotlar, bir dokuya batırılarak hem uyarı hem de dokudan elde edilen sinyali kayıt amaçlı kullanılır. Vücut yüzeyindeki yağ veya hava nedeniyle diğer elektrotlarla ulaşılamayan zor bölgelerdeki elektriksel sinyaller, bu tip elektrotlar yardımıyla daha kolay algılanabilir. Bağırsaklar, sinirler, kaslar ve gözlerde kullanılır.

1.2.1.3. Gezici Tip Elektrotlar

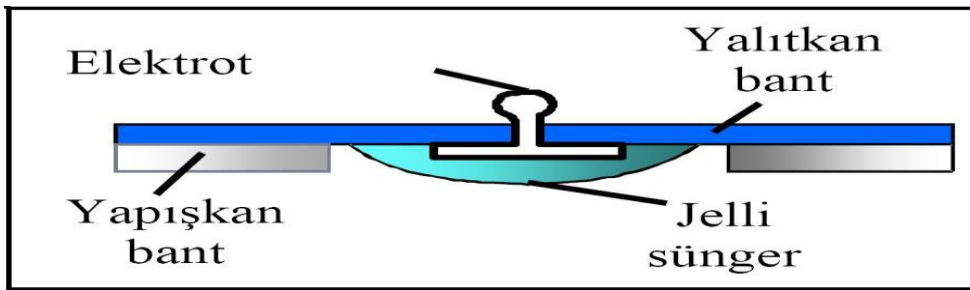
Bu tipten elektrotlarda elektrolit, metal elektrot ile birlikte hareket ettiğinden elektrot ya da deri, yani elektrolit hareketinden ileri gelen bozucu işaretler pek oluşmaz. Bu elektrot tipi Resim 1.18’de görülüyor. Elektrot şapka biçimindedir ve metal disk, şapkanın en üst iç yüzeyine yapışık durumdadır. Elektrot kullanılacağı zaman yalıtkan şapkanın içi, elektrolit ile doldurulur ve şapka her iki yüzü yapışkan olan elastik bir halka vasıtası ile deriye yapıştırılır. Şapka hareketli olsa bile metal, elektroda göre hareket etmeyeceğinden aralarındaki yük dağılımı bozulmaz ve daha kararlı işaretler elde edilir. Ayrıca metal disk, gümüşten (Ag) yapılp gümüşklorür (AgCl) ile kaplanırsa karalılık daha da artırılmış olur. Her iki tarafı yapışkan olan elastik halka, her hasta için yenilenir.



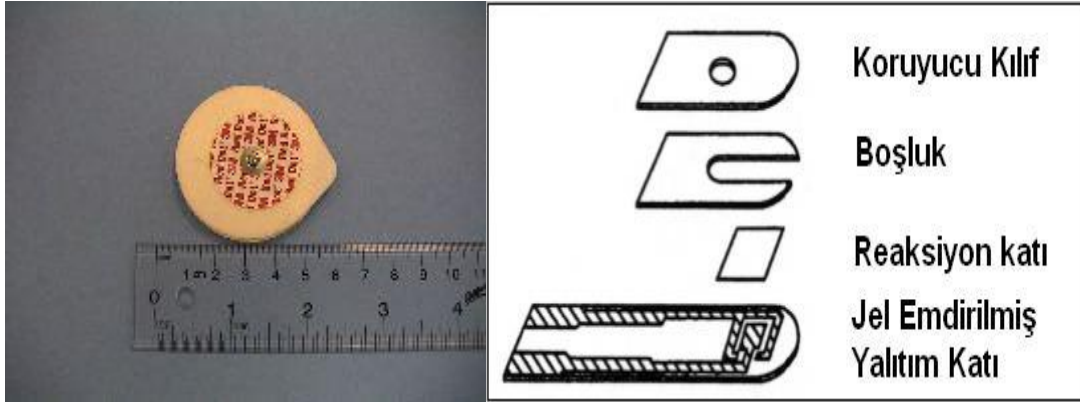
Resim 1.18: Gezici tip elektrotlar

1.2.1.4. Tümüyle Atılabilir (Tek Kullanımlık) Elektrot

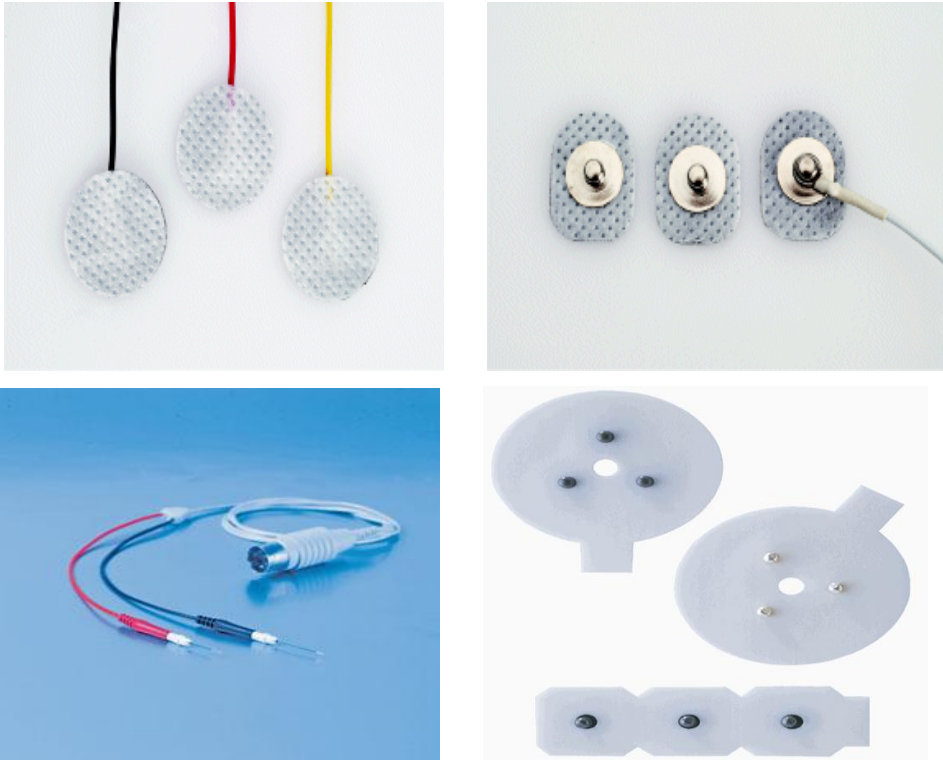
Bu elektrotlar, EKG ölçümlerinde çok kullanılan ve bir kere kullanıldıktan sonra atılan (disposable) elektrotlardır.



Şekil 1.7: Tek kullanımlık elektrot yapısı



Resim 1.19: Tümüyle atılabilir (disposable) elektrot yapısı



Resim 1.20: Tümüyle atılabilir değişik EKG elektrotları ve EMG iğne elektrodu

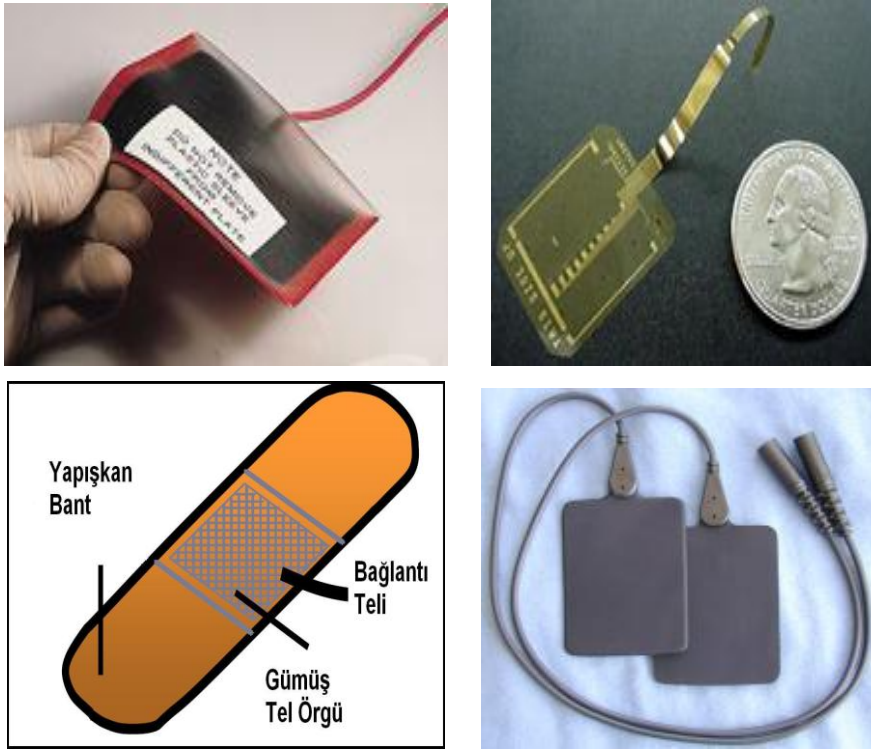
Elektrolit, gümüş/gümüşklorür (Ag/AgCl) elektrot tabanının hemen altında, elektroda yapışık durumda, jel emdirilmiş sünger olarak imal edilir.

Resim 1.20’de bir kere kullanılıp atılan (disposable) bazı elektrot çeşitleri görülüyor. Bu elektrotların en büyük avantajı hijyenik olmalarıdır. Dolayısıyla temizleme problemi ve başka hastaya mikrop taşıma riski yoktur.

1.2.1.5. Bükülebilir (Flexible) Elektrotlar

Bu türden bir elektrot, düz olmayan vücut yüzeyinin şeklini alacak biçimde bükülüp esneyebilmektedir. Çok kullanılan tipi, bir yüzü kısmen gümüş (Ag) teller ile örülmüş, yapışabilir özelliğe sahip olan bir bant şeklinde olanıdır.

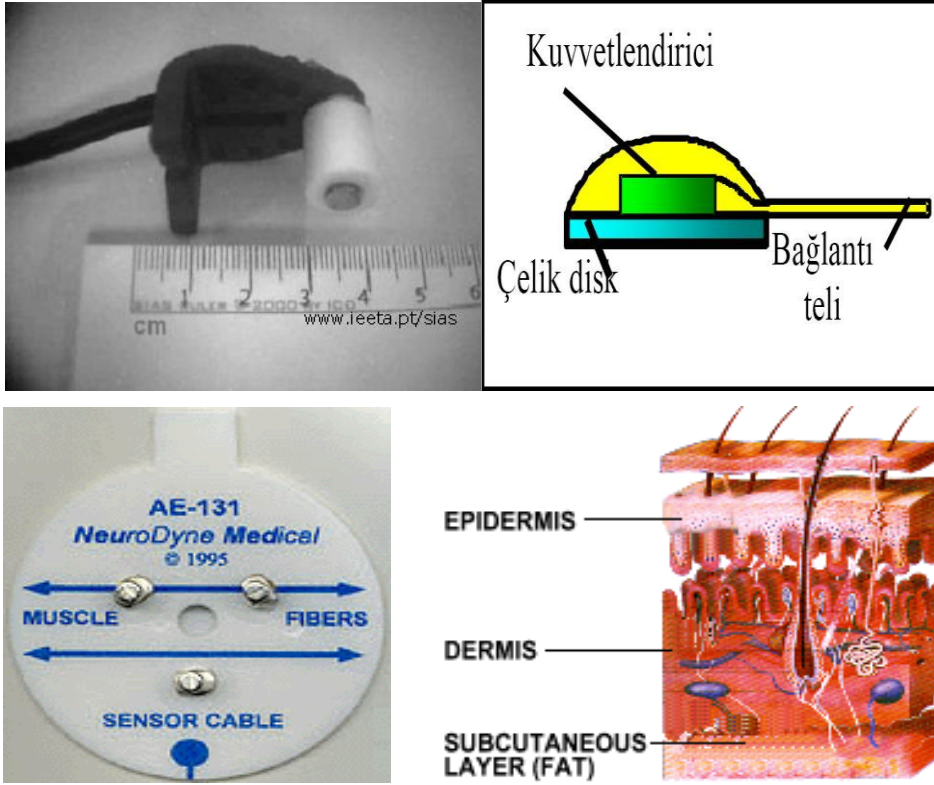
Hastanın günlük hareketlerini etkilemeyecek ve kısıtlamayacak esneklikte olanları vardır. Bu elektrotların, elbise altında kullanılan tipleri olduğu gibi elbiseye iliştilererek kullanılan tipleri de vardır. Aşağıdaki resimlerde esnek elektrotlara ilişkin çeşitli örnekler verilmiştir.



Resim 1.21: Bükülebilir (flexible) elektrot örnekleri

1.2.1.6. Kuru Elektrotlar

Yüzey elektrotlarının bu gruba girenleri, jel ya da pasta gerektirmeksizin deri üzerine direkt olarak uygulanabilir niteliktedir. Bu nedenle arada kapasitif bir kuplaj oluşur. Bu kuru (dry) elektrot sisteminde elektrot-elektrolit ilişkisi bulunmadığından dış deri, elektrot yüzeyi ile daha iyi iletken durumunda olan dermis arasında bir yalıtkan durumundadır. Bu nedenle burada bir kapasite oluşur. Dermis ile elektrot, bu kapasitenin plakaları, dış deri ise dielektrik malzeme durumundadır. Üst deri iyice temizlenmeden kuru elektrot deri yüzeyine uygulandığından temas yüzeyinde oluşan direnç de büyük olur.



Resim 1.22: Kuru elektrotlar ve derinin yapısı

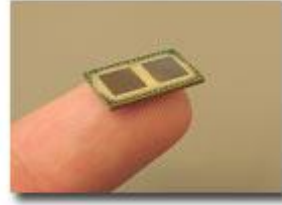
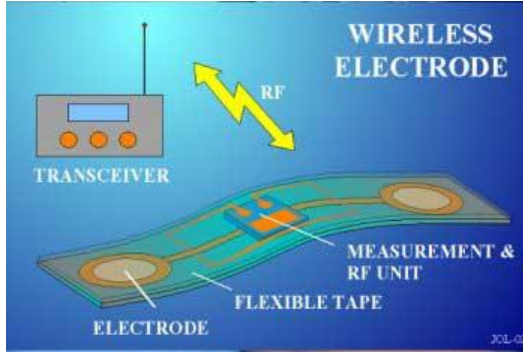
Bu nedenle bu tip elektrotların bağlandığı kuvvetlendiricilerin de giriş dirençleri aynı oranda büyük olmalıdır. Büyük empedanslı devrelerle çalışıldığı için gürültü problemi vardır. Bunu en aza indirmek amacıyla daha çok, empedans dönüştürme işlemi yapan yükseltecin ön katı, elektrodun hemen yanına monte edilir (Resim 1.22 üst sağ). Kuru elektrotların bazen elektrik malzemesi de metal üzerinde oksit film oluşturularak gerçekleştirilir ki bu durumda artık elektrolide gerek yoktur. Yarı iletken yapım teknolojisi ile silisyum (Si) kristal yüzeyler üzerinde çok ince ve düzgün SiO_2 yalıtkan tabakaları oluşturularak yapılan kuru elektrotlarda kapasite 1 nf civarında olup kuvvetlendiriciler de aynı silisyum taban üzerinde gerçekleştirilebilmektedir.

1.2.2. Dâhilî Elektrotlar

Dâhilî elektrotlar, biyopotansiyel işaretleri vücut içinden algılamakta kullanılır. Deri altına batırılan iğne şeklinde olanları (Resim 1.23) bulunduğu gibi tümüyle vücut içine gömülüp haricî kuvvetlendiriciye telemetri verici düzeni ile bağlı olanları da (Resim 1.24) vardır.

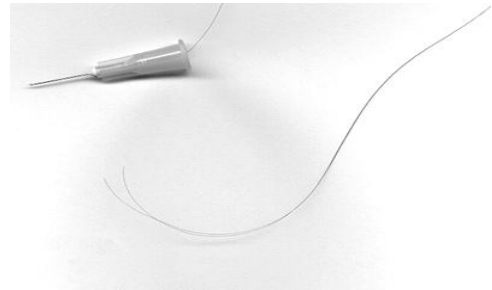
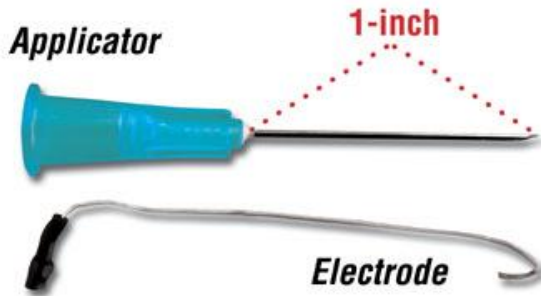


Resim 1.23: İğne elektrot



Resim 1.24: Vücut içine gömülen ve kablosuz sistemle veri gönderen (implant-deri altı) elektrot

Bu tür elektrotlarda pasta (jel) kullanılmaz. Elektrolit olarak hücre sıvısı mevcuttur. İğne elektrotlar paslanmaz çelikten yapılmış olup EMG ve ameliyat gereken hastalarda EKG işaretlerinin algılanmasında kullanılır. Bu elektrotlarda, yüzey elektrotlara göre daha kararlı işaretler elde edilebilmektedir. Ancak bunların kullanılışı her zaman hastayı rahatsız etmektedir. Çünkü iğne çapları 0,1 mm ile 1 mm arasında değişmektedir. Tel elektrotların metal uçları kanca şeklindedir (Resim 1.25). Bu kanca sayesinde bir şırıngaya tutturularak deri altına sokulur. Şırınga geri çekildiğinde ise yine kanca yardımıyla buldukları yere tutunur.



Resim 1.25: Tel ve kancalı elektrotlar

Aşağıdaki resimde hasta vücudundan daha kararlı ve net işaretler alınabilmesi için deri altına implant elektrot yerleştirilmesi işlemi görülüyor.

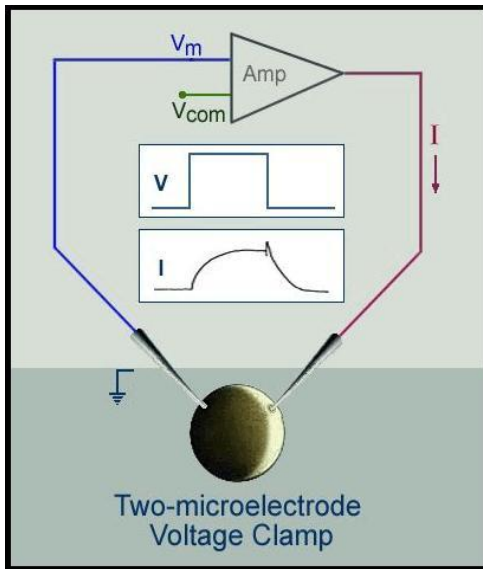


Resim 1.26: Bir hastaya deri altı (implant) elektrot yerleştirilmesi

1.2.3. Mikroelektrotlar

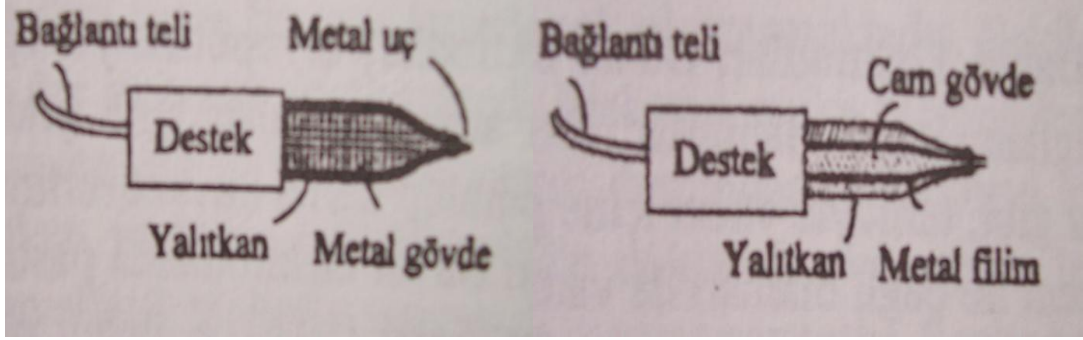
Uyarılabilen hücrelerin elektriksel davranışlarını inceleyebilmek için hücre zarı ile bölünen hücre içi ve hücre dışı arasındaki potansiyel farkını ölçmek gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için hücreyi tahrip etmeyecek ve elektriksel davranışını bozmayacak bir elektrodun hücre içine daldırılması gerekmektedir.

Bu amaç için kullanılan ve uç çapları $0,05\text{--}10\ \mu\text{m}$ arasında değişen ve hücre zarını delerek mekanik olarak kararlı kalabilecek durumda olan elektrotlara **mikroelektrotlar** adı verilir. Resim 1.27'de bir mikroelektrodun hücre içine daldırılışı yüzlerce kez büyütülmüş olarak görülüyor. Yine aynı resimde temsili olarak bir hücrenin içindeki ve dışındaki potansiyel farkının mikroelektrotlarla ölçülmesi görülüyor.



Resim 1.27: Mikroelektrotla hücre içi potansiyel ölçme işlemi temsili şema ve fotoğrafı (elektronik mikroskop ile yüzlerce kez büyütülerek çekilmiş fotoğraf)

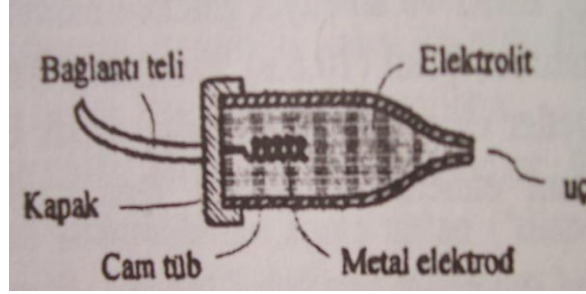
Mikroelektrotlarda mekanik sağlamlık metal kılıfla, cam tüp içinde muhafaza edilerek veya bir cam silindir yüzeyini kaplayacak biçime getirilerek sağlanır. Bu mikroelektrot tipleri Şekil 1.8 ve 1.9’da görülüyor.



Şekil 1.8: Cam göbekli mikroelektrot

Şekil 1.9: Metal muhafazalı mikroelektrot

Elektrodu içine konan elektrolit içinde muhafaza eden camdan yapılmış mikropipetler de mikroelektrot sınıfına girer. Bir mikropipet elektrot Şekil 1.10’da görülüyor.

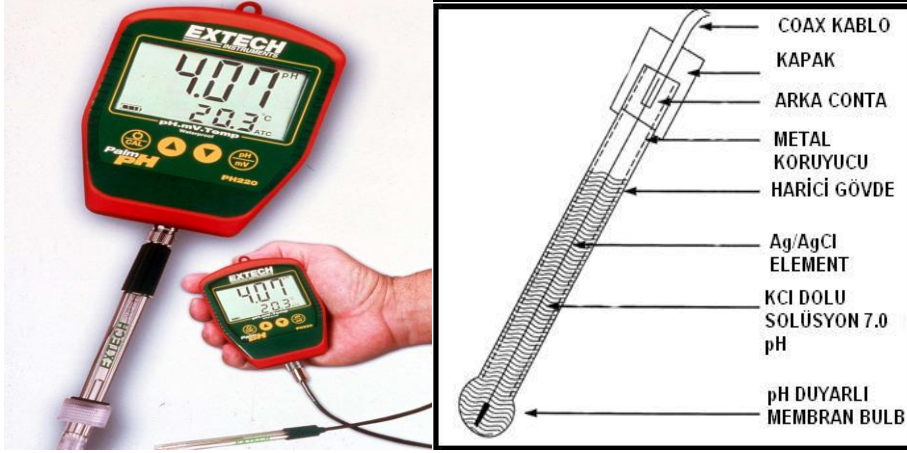


Şekil 1.10: Mikropipet elektrot

Mikropipet elektrotlarda cam muhafaza içindeki tüpün içi KCl (potasyum klorür) ihtiva eden bir sıvı ile doldurulduktan sonra tüpün geniş olan ağzı, ortasında metal (gümüş-Ag) elektrot tel bulunan yalıtkan bir tıpa ile kapatılır. Cam tüpün ince ve açık olan ucunun çapı 1 µm kadardır.

1.2.4. Değişik Tipteki Elektrotlar

1.2.4.1 Ph Elektrotlar



Resim 1.28: Dijital pH metre ve pH elektrodunun yapısı

pH glass (cam) elektrotlar, ilk kullanılan elektrotlardır ve H (hidrojen) iyon aktivitesini ölçmek için de en sık kullanılan elektrotlardır. pH hidrojen iyonu konsantrasyonunun negatif logaritmasıdır. pH elektrodu klorit iyonlu bir tampon solüsyon içeren hidrat veya nonhidrat cam tabakalardan yapılmış küçük bir ampulden ibarettir. Tampon, konsantrasyonu bilinen miktarda H iyonu içerir. Bir dâhili elektrot, referans elektrot gibi iş görür ve bu genellikle gümüş-gümüş klorit elektrottur. Saf su çok az miktarda ayrışabilir. Su gibi nötral sıvılarda H^+ konsantrasyonu kadar OH vardır.

$H^+ > OH$ olan solüsyonlar =>asit

$H^+ < OH$ olan solüsyonlar =>baziktirler

Danimarkalı biyokimyacı Sørensen H^+ konsantrasyonunu ifade etmek için daha pratik olan pH kavramını ortaya atmıştır. Ph, H^+ konsantrasyonunun negatif logaritmasıdır. Vücut sıvılarının pH'ı sabit tutulmaya çalışılır. Biyolojik olayların düzenli bir şekilde oluşması için pH değişiklikleri çok dar sınırlar içinde tutulmalıdır. Enzimlerin belirli pH sınırları içinde ideal aktivite göstermeleri de pH'ın önemini artırmaktadır. Aşağıdaki tabloda bazı biyolojik sıvıların pH sınırları verilmiştir.

Tablo	Bazı biyolojik sıvıların pH sınırları
Biyolojik sıvı	pH
Kan	7.35 -7.45
İdrar	5.50 -7.00
Mide suyu	1.60-1.80
Safra sıvısı	7.80-8.60
Tükürük	7.00
Pankreas sıvısı	8.00

Tablo 1.2: Bazı biyolojik sıvıların pH sınırları

pH metre sıvı maddelerin pH değerlerini ölçmeye yarayan bir laboratuvar aletidir. pH metre, potansiyometrik metot esasına göre çalışır. Potansiyometrik metot, "0" akım altındaki bir solüsyona batırılmış iki elektrot arasındaki potansiyel farkın ölçülmesi esasına dayanır. İki elektrot arasındaki potansiyel farkı genellikle bir pH/mV sayacı ile ölçülür.

Elektrotlardan biri indikatör (belirleyici) elektrottur. Bu elektrodun yarı hücre potansiyelinin solüsyondaki partiküllerin aktivite veya konsantrasyonlarında değişikliklere karşı hassas olması gerekir. Diğer elektrot ise referans elektrodudur. Referans elektrodun yarı hücre potansiyelinde değişiklik olmaz. İndikatör elektrot seçici olmalıdır.

pH metre, pH'a duyarlı bir cam membran elektrodudur. Bazı bileşimlerdeki camlar, solüsyonla ıslatıldıklarında cam membranın dıştaki tabakası hidrate olur ve uç kısmında H^+ iyon-değişim mekanizması sonucunda membran potansiyeli geliştiginde pH metrede değişiklik oluşur.

pH elektrot canımın önemli özelliği, H^+ nun bu yüzey reaksiyonuna fevkalade seçici olmasıdır. Elektrot, bir plastik veya cam tüp olup ucunu pH'a hassas cam bir membran kapatmaktadır. Membran genellikle çok ince olduğundan çok hassastır. Çok kolay çatlayabilir.

AgCl ile kaplanmış gümüş bir telin daldırıldığı 0.1 mola HCl solüsyonu internal (içteki) Ag/AgCl referans elektrodunu oluşturur ve ampul şeklindedir. Bu internal solüsyon membranın iç yüzeyi ile karşılaşan H^+ nunun durağan aktivitesini korur. Koruyucu bir kablo, internal Ag tel ile eksternal (dıştaki) pH sayacı arasında elektriksel bağlantıyı sağlar. Cam membranın pH hassasiyeti camın içeriğine göre saptanır. Cam, Na_2O , CaO ve SiO_2 içerir. Aslında saf SiO_2 pH'a tepki vermeyen bir yalıtıcıdır. Cama Na_2O eklenmesi SiO_2 yapısının formülünü bozar. Na^+ ile bağ yapmak üzere oksijeni negatif yük ile değiştirir. Camda Na^+ hareketi, cam membranda elektriksel akımın geçirgenliğini sağlar.

Membran yüzeyi, birkaç saat içinde dehidrate olacağından cam membran deiyonize su içine daldırılır. Bu su alımı, camın kademeli çözülmesine rehberlik eder. Bu işlemin uygulanması, genellikle elektrodun kullanım süresini saptar. Bunun yanı sıra yüzey

hidratasyonu, elektrodun fonksiyonu için gereklidir. Solüsyona yeni daldırılmış elektrotlar, yeterli derecede ıslanincaya kadar zayıf cevap verirler.

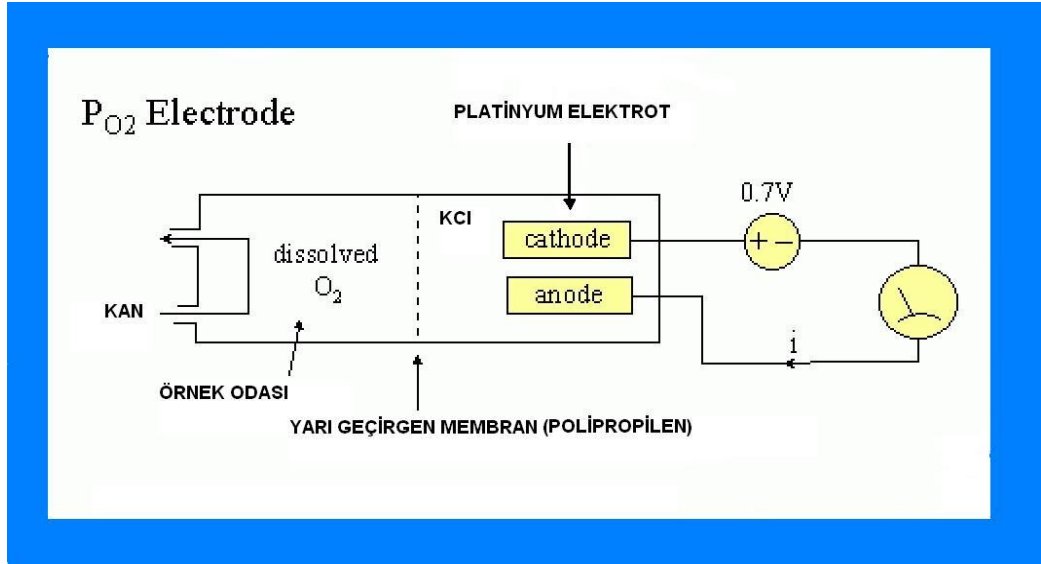
Bu tip cam pH elektrotlarda 10 pH değeri üzeri ve 1 pH değeri altı olan Ph ölçümlerinde hassasiyet azalır ve hata payı artar.

pH metrenin kullanıldığı yerlere aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Bir çözeltinin pH'ını ölçme
- Tampon çözelti hazırlama
- İdrar pH'ının ölçümü
- Kan ve mide suyu pH'larının ölçümü

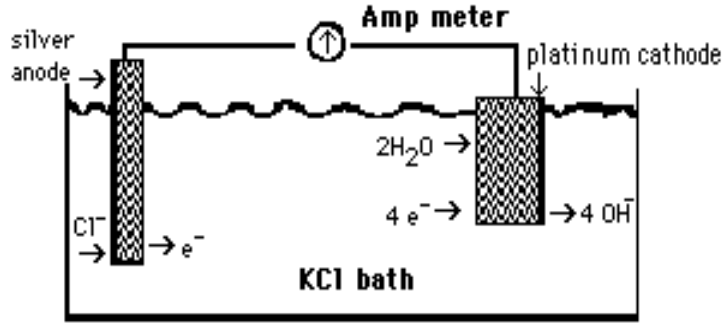
1.2.4.2. P_{O_2} Elektrotlar

PO_2 elektrotta genellikle polipropilenden yapılmış gaz permeabl (gaz geçişine izin veren) membran vardır. Bu membran çözünmüş oksijenin geçişine izin verir.



Şekil 1.11: pO_2 elektrodu prensip şeması

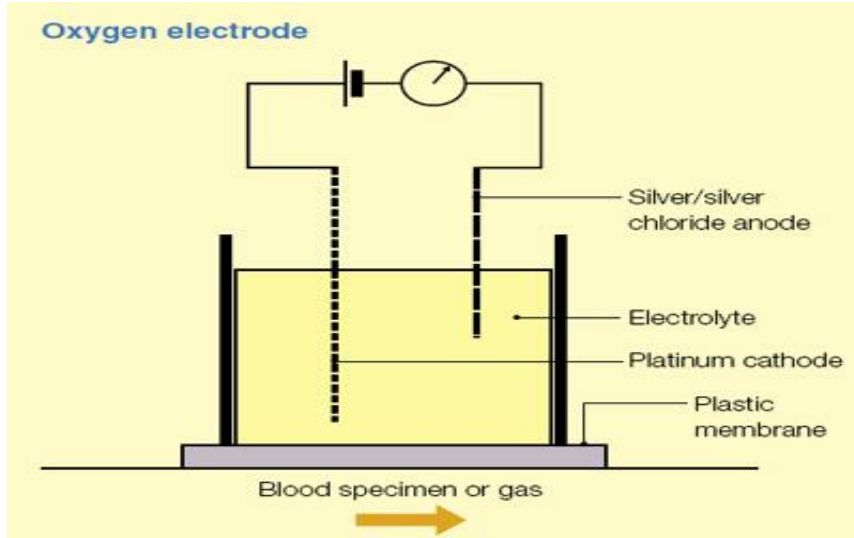
Elektrotta karışabilecek olan diğer kan içeriğinin geçişini bu gaz permeabl membran engeller. Çözünmüş oksijen, oksijen permeabl membrandan geçmiş (diffuze) olur. KCl tampon solüsyonuna karıştırılır ve polarize platinyum katotta reaksiyon oluşur (Şekil 1.11, 1.12, 1.13).



Measuring PO_2 (Clark electrode)

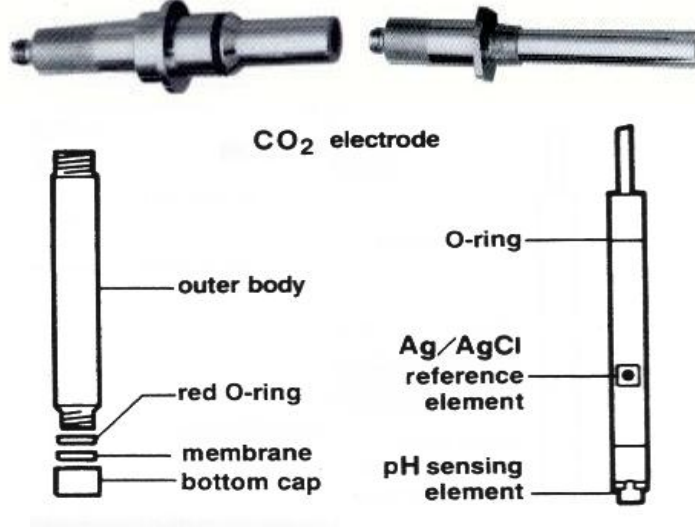
Şekil 1.12: pO_2 ölçümü

Elektronlar, akımda değişiklik oluşturur. Değişim parsiyel oksijen basıncıyla orantılıdır. Gümüş anot devrenin tamamlanmasını sağlar.



Şekil 1.13: Kandaki pO_2 ölçümü

1.2.4.3. Pco₂ Elektrotlar



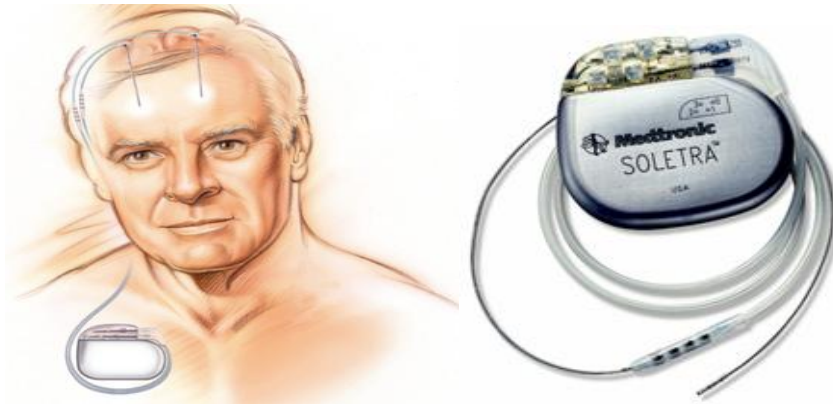
Şekil 1.14: CO₂ elektrot yapısı ve örnekleri

Plastik bir kılıfa konmuş pH elektrodudur. Bu plastik kılıf, sodyum bikarbonat tampon ile doludur ve gaz permeabl membran vardır. Bu membran, teflon veya silikondan yapılmıştır.

Kandaki çözülmüş CO₂, teflon membrana temas edince CO₂ tampona geçer. Kimyasal bir reaksiyon oluşur. Sonuçta pH azalır. H⁺ iyon aktivitesi potansiyometrik olarak ölçülür.

1.3. Uyarım Amaçlı Elektrotlar

1.3.1. Beyin Uyarıcı (Brain stimulate) Elektrot



Resim 1.29: Beyin uyarıcı elektrot takılmış bir hasta ve beyin pacemaker

Beyin uyarıcı (brain stimulate) pacemaker cihazı, parkinson veya epilepsi hastası olan kişilere ameliyatla beyin içine elektrot kısmı, göğüs içine de cihazın ana gövdesi gelecek şekilde yerleştirilir. Cihaz, pil ile çalışmakta olup ürettiği sinyaller elektrot yardımıyla beyne iletilerek beynin uyarılması ve fonksiyonlarını normal yapması sağlanır.

1.3.2. Defibrilatör (Dışardan Kalp Uyarıcı) Elektrodu



Resim 1.30: Defibrilatör cihazları ve elektrotları

Kalp, yani dolaşım sisteminin en önemli organı bir pompa gibi çalışmaktadır. Hayatın devamı için bu pompanın kusursuz şekilde çalışması gereklidir. Kalp kası, beyinden aldığı “kasıl” emriyle kasılır ve “gevşe” emriyle gevşer. Kalp kası, çizgili kas fibrillerinden veya liflerden meydana gelir. Bu liflerin hepsinin aynı anda gerilmesi sonucunda kalp kası kasılır. Bu fibrillerin veya liflerin herhangi bir hastalık nedeniyle düzensizleşmesine, birbirine bağımsız zamanda gerginleşmesine **fibrilasyon** denir. Fibrilasyona uğramış kalp, eğer bu şekilde çalışmaya devam ederse bir süre sonra kalp fibrilleri birbirinden ayrılır ve artık çalışamayacak bir hâl alır. Fibrilasyona uğramış veya yeni durmuş kalbe elektrik enerjisi şok hâlinde verildiği takdirde kalp dışarıdan uyarılmış olur ve kasılır. İşte bu dışarıdan uyarım işlemi **defibrilatör** denilen ve Resim 1.30’da görülen cihazlarla yapılır.

Tıpkı bir motora ilk hareket verildikten sonra motorun çalışması gibi, bu şekilde uyarılmış kalp yeniden çalışmaya başlar. Elektriksel defibrilasyon, belirli düzeyde ventriküler uyarıyı sağlar. Şok sayesinde fibrilasyon hâlindeki ventriküller normale döner. Günümüzde kullanılan defibrilatör cihazları, CPU kontrollü olup şu kısımlardan oluşur: a) EKG giriş, lead ve elektrot seçimi, filtre ve yükselteç kısmı b) Analog dijital çevirim kısmı c) Kaydedici kısmı d) İzleme monitör kısmı e) Yüksek voltaj kısmı f) Batarya



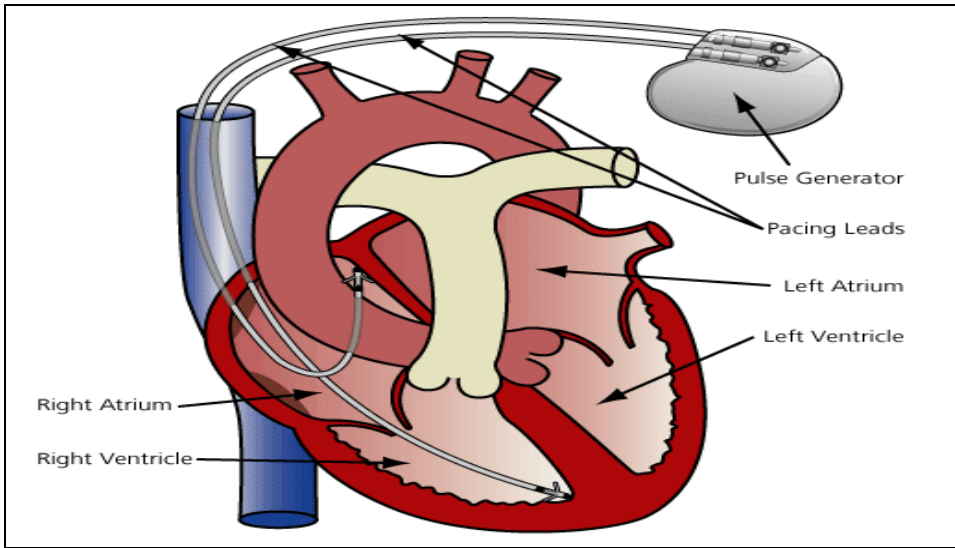
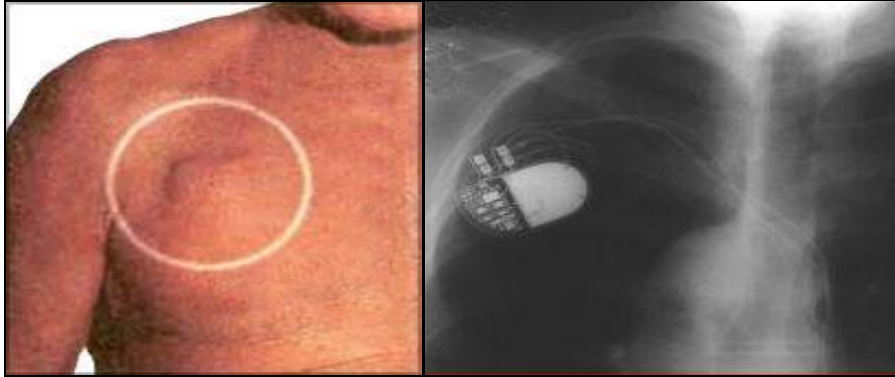
Resim 1.31: Defibrilatör elektrotları ve vücut bağlantıları

Defibrilatör elektrotları (paddle) kaşık tabir edilen iki elektrottan oluşur. Resim 1.26'da ve Resim 1.31'de görüldüğü gibi tutma saplı olanları ve vücuda yapıştırılan cinsten olanları mevcuttur. Defibrilasyon anında elektrotların iletken kısımlarına ve hasta vücuduna dokunulmamalıdır. Aksi hâlde yüksek elektrik şokuna maruz kalınır.

Resim 1.31'de ise defibrilatör elektrotlarının kalp şokuna girmiş hastaya nasıl bağlanması gerektiği görülüyor. Burada dikkat edilmesi gereken, elektrotların kalbin apex ve sternum bölümlerine doğru bağlanmasıdır.

1.3.3. Kalbi İçeriden Uyaran Pacemaker (Kalp Pili) Elektrodu

Pacemaker, elektrotları yardımıyla kalbe periyodik uyarımlar vererek çalışma düzenini sağlayan bir cihazdır. Sağ omuzun ön alt tarafından açılarak ve damara girilerek kalpte en fazla elektriksel uyarıma uygun olan kısımlara elektrotları yerleştirilir. Pilin kendisi ise açılan yerde deri altına yerleştirilir. Belirli aralık veya durumlara göre şok verip kalbin düzenli atışını sağlamak için programlanır. Örnek olarak kalbin dakikada atışı 70'in altına indiğinde otomatik olarak devreye girer ve kalbi dakikada 70 attırır, daha sonra devreden çıkar. Kalbin atışı normale dönmüşse devreye girmez.

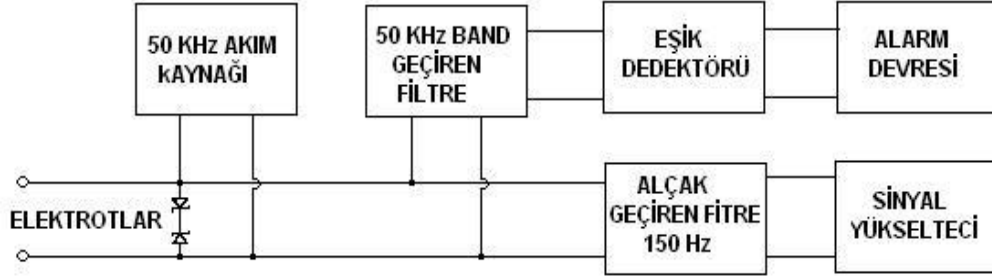


Resim 1.32: Pacemaker takılmış bir hasta ve pacemakerin uygulanma şekli

1.4 Elektrot Durum Dedektörü

Uzun süre kullanılan kardiyak monitörlerinde, elektrot-hasta bağlantısının durumu çok önemlidir. Sakıncalı durumlarla karşılaşmamak için yoğun bakım merkezlerinde elektrotlar oldukça sık (günde bir kere) değiştirilir. Modern kardiyak monitörlerinin çoğunda elektrotların hastaya temasında meydana gelecek bir bozulmayı gösteren alarm düzenleri vardır. Böyle bir düzenek Şekil 1.16'da gösterilmiştir.

50 KHz'lik yüksek empedanslı işaret üreten bir akım kaynağı, elektrotların uçlarına bağlanmıştır. Normal durumda, elektrotların uçlarındaki gerilim çok küçük olmaktadır.



Şekil 1.16: EKG durum dedektörünün blok diyagramı

Elektrot bağlantılarında meydana gelebilecek bir bozukluk sonucu, elektrotlar arası empedans aniden yükselir. Dolayısıyla elektrotlar arasındaki 50 KHz'lik işaretin genliği de artar. 50 KHz'lik işaret, 50 KHz'lik bant geçiren filtre yardımıyla elektrotlardan elde edilen işaretten ayrılır, eşik dedektörüne uygulanır ve alarm devresi çalışır. Girişteki koruyucu diyot düzeni, elektrotların tamamen kurtulması ve 50 KHz'lik işaretin dedektörde bir bozulma oluşturmaması için kullanılmıştır.

1.5 Bağlantı Çeşitlerine Göre Elektrotlar ve Fiziksel Özellikleri

1.5.1. Klips (Clip) Elektrotlar

Klips (clip) elektrotlar; sıkıştırılmalı, yaylı ve tokalı tip elektrotların genel adıdır. Bu elektrotlar, vücudun ilgili bölgesine takıldıktan sonra çıkarılıncaya kadar orada kalır. Bu elektrotları kullanmak, kullanıcının daha rahat ölçüm yapması açısından kolaylık sağlar. Yaylı ve sıkıştırılmalı olduğu için kolay kolay gevşeme olmaz. Dolayısıyla elde edilen veriler daha sağlıklı olur. Bu özelliği dolayısıyla pediatri de (çocuk) çok kullanım alanı bulur. Aşağıdaki resimlerde çeşitli klips elektrotların resimleri görülüyor.

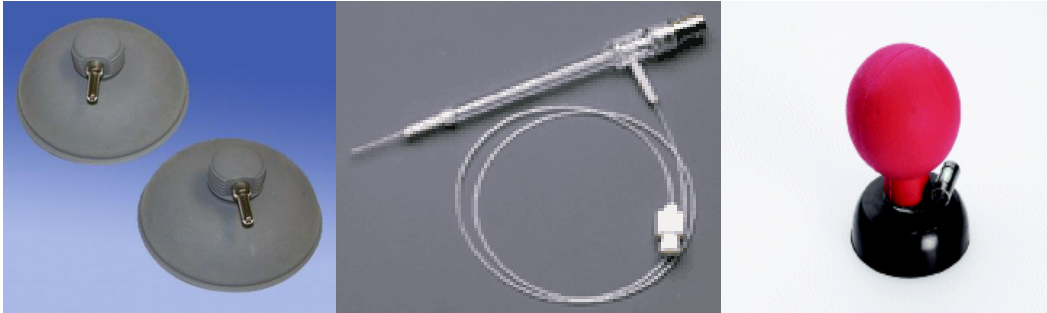
Bu resimde görülenlerin bir kısmı klips elektrot, bir kısmı ise klips leaddir. Vücuttaki biyoelektrik işaretleri algılayan asıl eleman elektrottur. Elektrodun algıladığı işaretler ise lead denilen kablo ve aparatlarla işaretleri yükseltip yorumlayacak sinyal izleme cihazına aktarılır.

Örneğin, Resim 1.29'da görülen üst soldaki bir lead, onun ucuna takılarak sıkıştırılan ve üst ortada görülen eleman ise bir cup (fincan, kupa) elektrottur. Lead ve elektrotlar, tek parça olabildiği gibi iki ayrı parça olarak da imal edilir.



Resim 1.29: Çeşitli clip elektrotlar ve leadler

1.5.2. Emme (Vakum) Elektrotlar



Resim 1.30: Emme (vakum) elektrotlar

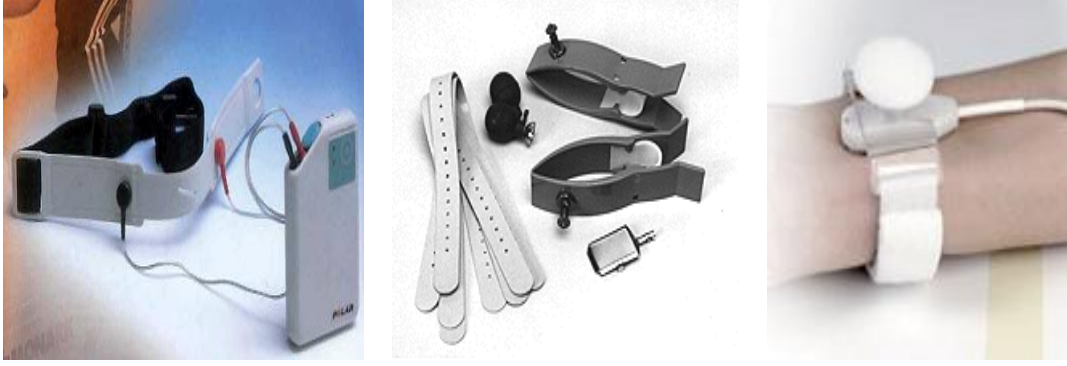
Emme elektrotlar, biyoelektrik işareti ölçülecek olan bölgeye vakum yapılmak suretiyle o bölgeden elde edilen işaretin daha sağlıklı ölçülebilmesini amaç edinmek üzere kullanılır.

Bu elektrotlarda yapışkan yüzeye ihtiyaç yoktur. Biyo işareti ölçülecek dokuya iç basıncın düşürülmesi (vakum) suretiyle yapışır.

Lastik pompa şeklinde ya da deri altındaki bir dokunun biyopotansiyel işaretini ölçmek amacıyla deri altına iğne şeklinde batırılmak üzere imal edilen tipleri vardır.

1.5.3 Diğer Elektrotlar

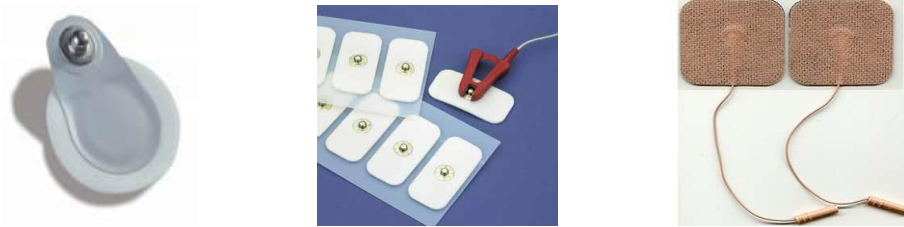
1.5.3.1. Strap (Kayış) Elektrotlar



Resim 2.3: Kayış (bant-strap) elektrotlar

Bu elektrotlar el bileği, ayak bileği, kol, baş çevresi gibi bölgelerdeki biyo işaretleri ölçmek amacıyla kullanılır. Uzunlukları veya çapları ayarlanabilir.

1.5.3.2 Yapışkan (Adhesive) Elektrotlar

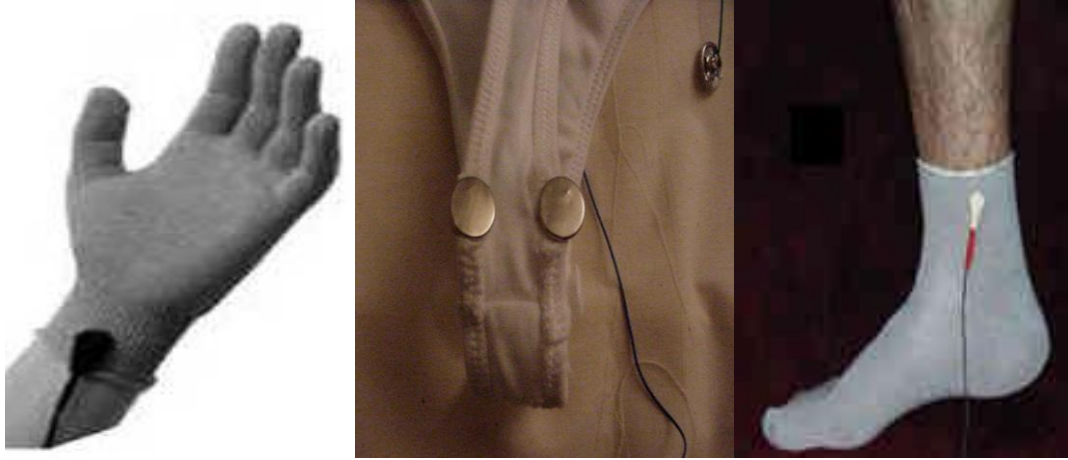


Resim 1.32: Yapışkan (adhesive) elektrotlar

Yapışkan elektrotlar, direkt olarak deri üzerine yapıştırılarak kullanılır. Elektrot, koruyucu kılıfından çıkartılır ve önceden temizlenmiş olan yüzeye yapıştırılır.

1.5.3.3 Cloth (Giysi) Elektrotlar

Bu tip elektrotlar, vücut sinyalleri izlenecek kişinin günlük hareketlerini ve aktivitelerini kısıtlamadan gerekli işaretlerin alınmasını sağlar. Ayrıca kişinin üzerinde sinyal işleme ve kayıt yapan bir ünite de mevcuttur.



Resim 1.33: Cloth (giysi) elektrotlar

1.6. Elektrotlarda Kullanılan Jeller (Gel)

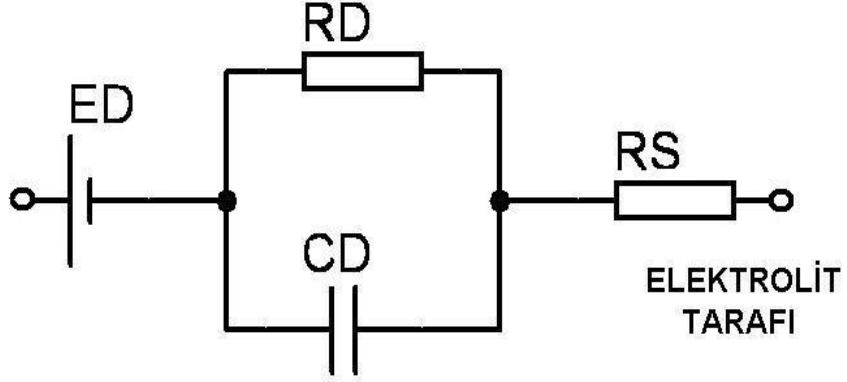
İnsan derisinin bir direnci vardır. Bu direnç, kişiden kişiye ve derinin özelliklerine göre farklılık gösterir. İnsan enstrümantasyon sisteminde ölçümün daha kaliteli ve net yapılabilmesi için hem deri direncinin hem de elektrodun temas yüzeyinde oluşturduğu direncin en aza indirilmesi gerekir. Elektrot jelleri (pasta), bu oluşan direnci azaltmak için kullanılır. Ayrıca bu jeller, elektrotların vücuda daha iyi yapışmalarına da katkı sağlar.



Resim 1.34: Jel ve EEG elektrodunun enjeksiyon ile jellenmesi

Jeller koyu kıvamlıdır. Akışkan değildir. İmal edilirlerken hijyenik ve dermatolojik testlerden geçirilir. Bazı elektrotlar, imalat sırasında jellenir. Bu elektrotlarda jel kullanmaya gerek yoktur.

1.7. Elektrodun Elektriksel Devre Modeli ve Elektriksel Özellikleri



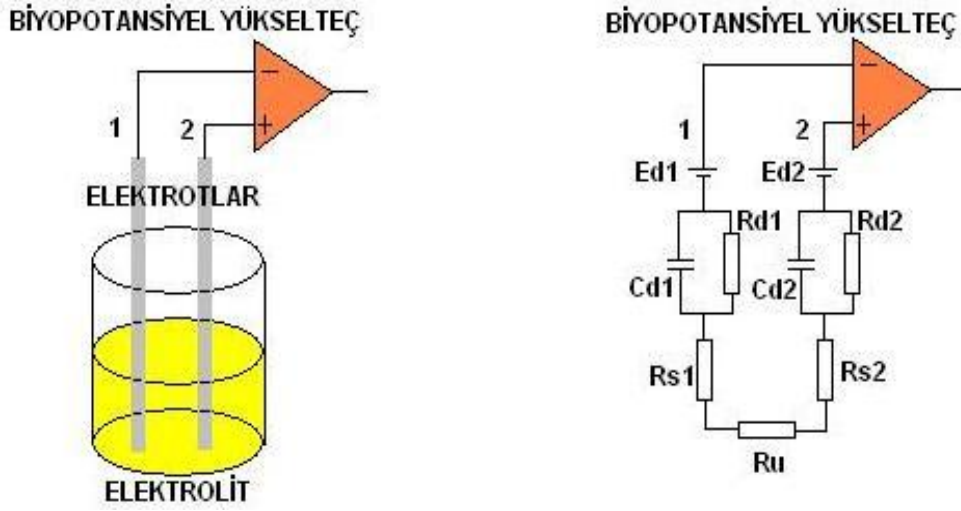
Şekil 1.10: Elektrodun eş değer devre modeli

Elektrodun elektriksel devre modeli Şekil 1.10'da gösterildiği gibidir. Bu modelde CD, elektrot-elektrolit arayüzündeki yük birikiminin neden olduğu kapasiteyi; RD ise bu kapasitenin kaçak direncini temsil etmektedir. ED, elektrodun yarı hücre potansiyeline karşılık olan gerilim kaynağıdır. RS ise elektrolidin direncine karşılık gelir. Kullanılan elektrot, Ag/AgCl elektrodu ise CD kapasitesi oldukça küçüktür ve bu yüzden kapasitif etki oldukça azdır.

Şekil 1.11'de elektrotların doku ile olan bağlantı durumunun elektriksel eş değer modelinin çıkarılmasında yardımcı olabilecek şekil olarak elektrolit içine daldırılmış olan elektrotların kuvvetlendirici ile olan bağlantısı ve bu bağlantının elektriksel eş değer modeli gösterilmiştir.

Bu modelde elektrotlar, Şekil 2.3'teki elektrot eş değer devresi ile ve elektrolit ise daha çok rezistif karakter göstermesi nedeni ile R_u direnci ile gösterilmiştir.

Elektrotların deri üzerinden test edilecek veya ölçme yapılacak organa olan bağlantısında ise deri, paralel R-C elemanları ile biyopotansiyel kaynak, bir gerilim kaynağı ve ona seri bağlı olan R-C devresi ile elektrot-biyopotansiyel kaynak arasındaki daha çok sıvımsı olan ortam (iletken hacim, volume conductor) ise bir direnç elemanı (R_u) ile modellenebilecektir (modelde elektrotlar, Şekil 1.11).



Şekil 1.11: Elektrot-elektrolit ve yükselteçten oluşan sistem ve bu sistemin basitleştirilmiş elektriksel eş değer modeli

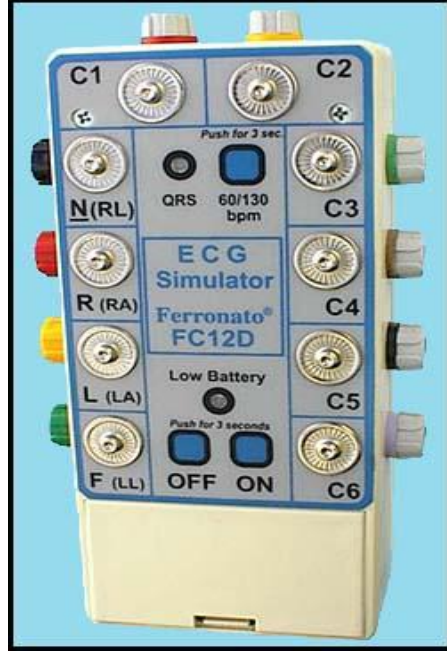
1.8. Ohmmetre ile Elektrotların Sağlık Kontrolü

Elektrotlar, yaptıkları görev itibariyle hayati öneme sahip bilgiler verirler. Bazen bir hastanın kritik hayat bilgileri, bu elektrodun sağlıklı bilgiler vermesiyle yakından ilgilidir. Dolayısıyla elektrotların elektriksel açıdan sağlam olması ve doğru bilgiler vermesi çok önemlidir. Bilinen yöntemlerle örneğin, AVO metre ile bir elektrodun sağlıklı çalışıp çalışmadığı anlaşılabilir. Ancak elektrot "lead"lerinin sağlık testleri AVO metre ile yapılabilir. Resim 1.36'da bazı "lead"ler görülüyor. Yine de en sağlıklı bilgi, ölçülecek olan elektrodun sinyal ölçüm cihazının simülatörü yardımı ile elde edilir.

Resim 2.9'da bazı sinyal ölçüm cihazlarına ait hasta simülatörleri görülüyor. Bu simülatörler, gerçek bir hastanın verilerini üretme özelliğine sahiptir. Farklı ayarlara ve davranış özelliklerine sahiptir. Bu simülatörler yardımı ile hem gerçek sinyal ölçüm cihazlarının hatalı ölçüm ve arızalarını hem de bu cihazlara ait olan elektrot ve "lead"lerin sağlık testlerini yapmak mümkündür.



Resim 1.36: Bazı elektrot leadleri



Resim 1.37: EKG (ECG) ve EEG-EMG hasta simülatörleri

UYGULAMA FAALİYETİ-1

Aşağıdaki uygulamayı işlem basamaklarına göre gerçekleştiriniz.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Size verilen elektrotları inceleyiniz.➤ Elektrotlarda gözle görülür bir yıpranma var mı? Araştırınız.➤ Varsa elektrot leadlerini AVO metre ile sağlamlık testinden geçiriniz.➤ Elektrotların varsa klips ve bağlantı uçlarının sağlamlık kontrolünü yapınız.➤ Elektrotları kullanım yeri tiplerine göre gruplayınız.➤ Elektrotların ilgili biyomedikal cihaza bağlantısını yapınız.➤ Laboratuvarınızda bulunan uygun bir biyomedikal sinyal ölçme cihazı ile basit bir ölçüm yapınız.➤ Bu işlemi uygularken cihazın ve sizin elektriksel açıdan güvenliğe olduğunuzdan emin olunuz.➤ Ölçüm işlemi bittikten sonra cihazın elektriksel bağlantısını kesip elektrotları çıkarınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Önce elektrotları fiziksel kontrolden geçiriniz.➤ Kırık, kopuk, ezik var mı? Dikkatli inceleyiniz.➤ Her elektrodun ayrı leadi olmayabilir. Unutmayınız.➤ Klips yayları, kırık veya deforme olabilir. Dikkat ediniz.➤ Her elektrodun kullanım yerine göre tipi farklı olabilir, öğreniniz.➤ Elektrodu doğru cihaza bağlayınız.➤ Bu ölçüm için EKG cihazı ve elektrotları uygun olacaktır. Talimatnamedeki talimatlara riayet ediniz.➤ Cihazın güvenli çalıştırılabilmesi için gerekli olan elektriksel güvenlik talimatlarını okuyunuz.➤ Bağlantıları sökerken kablo ve leadlere zarar vermeyiniz. Malzemeleri yerine koyunuz.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Size verilen elektrotları dikkatlice incelediniz mi?		
2. Elektrotlarda gözle görülür yıpranmalar olup olmadığını dikkatle kontrol ettiniz mi?		
3. Elektrotların varsa ayrılabilir leadlerinin sağlamlıklarını AVO metre ile test ettiniz mi?		
4. Elektrotları kullanım yeri tiplerine göre grupladınız mı?		
5. Elektrotların ilgili biyomedikal cihaza bağlantılarını yaptınız mı?		
6. Laboratuvarınızda bulunan uygun bir biyomedikal sinyal ölçme cihazı ile basit bir ölçüm yapmadan önce elektriksel güvenlik önlemleri aldınız mı?		
7. Laboratuvarınızda bulunan uygun bir biyomedikal sinyal ölçme cihazı ile basit bir ölçüm yaptınız mı?		
8. Ölçüm işlemi bittikten sonra cihazın elektriksel bağlantısını kesip elektrotları çıkardınız mı?		

UYGULAMA FAALİYETİ-2

Aşağıdaki uygulama faaliyetini işlem basamaklarına göre yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Klips elektrotların klipslerinin sağlamlığını kontrol ediniz.➤ Emici elektrotların lastik pompalarının sağlamlığını kontrol ediniz.➤ Strap elektrotların strap sağlamlıklarını kontrol ediniz.➤ Yapışkan elektrotların yapışkanlık özelliğini kontrol ediniz.➤ Jel sürülme özelliğine sahip bir elektrodu jelleyiniz.➤ AVO metre ile elektrot leadlerinin sağlamlık testini yapınız.➤ Herhangi bir sinyal izleme cihazı simülatörü ile o simülatöre ait cihazı test ediniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ Klipsler bağlandığı noktayı sıkı kavramalıdır.➤ Emici elektrotlar, bağlanan yüzeyi yere düşmeyecek şekilde çekmelidir.➤ Strap elektrotların delik kısımdaki yırtılmalarına dikkat ediniz.➤ Yapışkanlık özelliği ilk seferden sonra azalır. Unutmayınız.➤ Jel miktarı az ya da çok olmamalıdır.➤ AVO metre ile yapılan ölçümler %100 doğru değildir. Unutmayınız.➤ Örneğin EKG cihazını EKG simülatörü ile test ediniz.

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıda boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise **D**, yanlış ise **Y** yazınız.

1. (...) Vücutta oluşan biyolojik işaretlerin ölçülmesi için elektrotlardan faydalanılır.
2. (...) Elektrotların seçiminde fizyolojik zehirlilik, elektriksel iletkenlik ve mekanik dayanıklılık gibi unsurlar önemli değildir.
3. (...) Elektrotların iyon akımını elektron akımına dönüştürme işlemi, elektrotların içinde buldukları sıvı ortamda (elektrolit) ve elektroda yakın olan arayüzde gerçekleşir.
4. (...) Elektrotlar, polarize olan (irreversible-tersinmez) ve polarize olmayan (reversible-tersinir) elektrotlar olarak iki gruba ayrılabilir.
5. (...) Ag/AgCl elektrotlar, tercih edilmeyen elektrotlardandır.
6. (...) Offset potansiyeli, elektrolit içindeki iki elektrot arasında oluşan potansiyelin toplamıdır.
7. (...) Ag/AgCl elektrotların, üzeri AgCl ile kaplanmamış Ag elektrotlar ile karşılaştırıldıklarında daha az elektronik gürültüye sebebiyet verdikleri görülür.
8. (...) EMG (elektromiyogram) ölçüm sisteminde, elektrotların yardımı olmadan kaslardan elektriksel işaretler alınır.
9. (...) EEG (elektroensefalogram) ölçüm sisteminde, tek elektrotla elektriksel işaret ölçümü yapılır.
10. (...) Yüzeysel elektrotları, biyolojik işaretlerin deri üzerinden algılanmasında kullanılır.
11. (...) Disposable elektrotlar, her kullanımdan sonra temizlenerek defalarca kullanılabilir.
12. (...) Flexible elektrotlar, düz olmayan vücut yüzeyinin şeklini alacak biçimde bükülüp esneyebilmektedir.
13. (...) Yüzeysel elektrotlarından jel ya da pasta gerektirmeksizin deri üzerine direkt olarak uygulanabilir nitelikte olan tiplerine **kuru elektrotlar** denir.
14. (...) Biyopotansiyel işaretleri, iğne şeklinde olup deri altına batırılarak veya tümüyle vücut içine gömülüp haricî kuvvetlendiriciye kablosuz verici düzeni ile bağlanarak ölçmeye yarayan elektrotlar, haricî elektrotlardır.

15. (...) pH elektrotlar, hidrojen H iyon aktivitesini ölçmeye yarayan bir elektrottur.
16. (...) Elektrot durum dedektörleri, elektrotlarda bir arıza söz konusu olduğunda alarm vererek kullanıcıyı uyarır.
17. (...) Klips elektrotlar, yapışkan elektrotlardır.
18. (...) Emme (vakum) elektrotlarda yapışkan yüzeye ihtiyaç yoktur.
19. (...) Bilek, kol, bacak gibi uzuvları kemer şeklinde kuşatarak saran elektrotlar, strap tipi elektrotlardır.
20. (...) Elektrot jeli, derinin ve elektrot temas yüzeyinin direncini azaltmak için kullanılır.
21. (...) İmali sırasında jellenmiş elektrotlara, kullanım sırasında da jel sürülmelidir.
22. (...) Hasta simülatörleri, cihazların sağlıklı çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için kullanılan test cihazlarıdır.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığımızda, biyomedikal sinyal izleme cihazlarına ait elektrotların parazitlerini önleyici tedbirleri alabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Elektrotların parazit nedenlerini internetten araştırınız. Ayrıca üniversite hastaneleri ve diğer hastanelerin doktor ve teknik servis elemanlarından bilgi alınız.
- Elektrotların olası zararlı etkileri nelerdir? İnternet ortamından araştırınız.
- Araştırmalarınızı rapor hâline getirip sınıf ortamında arkadaşlarınızla tartışınız.

2.ELEKTROT PARAZİTLERİNİ ÖNLEYİCİ TEDBİRLER ALMA

2.1. Elektrot Bağlamada Dikkat Edilecek Özellikler

Hasta vücudunun herhangi bir bölgesine elektrot bağlanırken şu hususlara dikkat edilmelidir:

- Kullanılan cihaz EN ve TSE belgeli bir cihaz olmalıdır.
- Kullanılacak cihaz, elektriksel güvenlik testlerinden geçirilmiş olmalıdır.
- Cihaz, topraklaması olan bir prizde çalıştırılmalıdır.
- Gerekli ise hasta topraklama ve referans elektrotları kullanılmalıdır.
- Hastaya bağlanacak elektrotlar, bu cihaza ait orijinal elektrotlar olmalıdır.
- Orijinal olmayan, eskimiş, yıpranmış, ezik, kırık elektrotlar kullanılmamalıdır.
- Deri direncini düşürmek için elektrotların yerleştirileceği deri üzerindeki alanlar, kulak memeleri ve EOG elektrotlarının yerleştirileceği alanlar gibi bölgeler, alkollü pamukla temizlenmelidir.
- Elektrodun özelliğine göre jel sürülüp sürülmeyeceğine dikkat etmelidir (İmalatında jel emdirilmiş elektrotlarda jel kullanılmaz. Ayrıca kuru tip (dry) elektrotlarda da jel kullanımı gerekmez.).
- Elektroda jel sürülecekse uygun bir jel, uygun miktarda kullanılmalıdır (Az kullanılması deri direncini düşürmez. Çok kullanılması ise yakınında başka elektrotlar varsa iletkenlik nedeni ile yanlış ölçümlere neden olur.).

- Sağlamlığından emin olunmayan elektrotlar ya kullanılmamalı ya da sağlamlık testinden geçirilmelidir.
- Eski ve yeni elektrotlar birlikte kullanılmamalıdır.
- Elektrot leadleri sağlam olmalıdır.
- Elektrotlarla leadlerin bağlantıları iyi yapılmalıdır.
- Elektrotların cihaza olan bağlantıları doğru ve sıkı yapılmalıdır.
- Elektrot bağlanacak bölge, iyice temizlenmeli; gerekli ise baş, kol bacak göğüs gibi bölgelerdeki tüylerden arındırılmalıdır.
- Elektrotlar, vücuda tam temas ettirilmeli ve ölçüm sırasında hareket ettirilmemelidir.
- Her elektrodun vücut üzerindeki yeri bellidir. Cihaz ve elektrot leadleri üzerindeki işaret ve yazılara dikkat edilerek bağlantılar doğru yapılmalıdır.
- Elektrot, disposable (tek kullanımlık) elektrot ise bir kere kullanılıp atılmalıdır.
- Tüm elektrotlar yerleştirildikten sonra elektrot empedansları kontrol edilmelidir.

Öncelikle tüm elektrotların cihaza bağlı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Elektrot empedansları 10 kilo ohmun altında olmalıdır. Empedansı yüksek olan elektrot yerleşim bölgeleri, alkollü pamukla tekrar silinmelidir.

2.2. Elektrotların Temizlenmesi

Biyolojik sinyal izleme cihazlarına ait elektrotlardan tek kullanımlık (disposable) olanlar, kullanımdan sonra atılmalıdır. Bunların tekrar kullanımı söz konusu değildir. Tekrar kullanılabilir (reusable) olanlar ise her kullanımdan sonra mutlaka temizlenmelidir. Hem elektrot üzerinde kuruyan jelin yanlış ölçüme neden olmaması hem de hijyen açısından farklı kişiler üzerinde kullanılacağı düşünülerek elektrot temizliği ihmal edilmemelidir.

Elektrotlar, aşındırıcı ve yıpratıcı malzemelerle temizlenmemelidir. Elektrotlar üzerinde oluşacak çizikler, yüksek dirence dolayısıyla yanlış kayıt alınmasına neden olurlar. Temizlik için ılık su ve sabun ile elektrot yıkanmalı, kuru ve yumuşak bir bez ile kurulmalıdır. Başka kimyasal temizleyiciler kullanılmamalıdır.

2.3. Biyolojik İşaretlerin Algılanması

Biyoelektrik potansiyelleri ölçebilmek için iyonik potansiyel ve akımları, elektrik potansiyel veya akımlarına dönüştüren dönüştürücülere ihtiyaç vardır. Elektrik kökenli biyolojik işaretleri algılamakta kullanılan böyle bir dönüştürücü, iki elektrottan meydana gelir ve elektrotların uygulandıkları noktalar arasındaki iyonik potansiyel farkını ölçer.

Her bir hücrenin ürettiği bireysel aksiyon potansiyellerini ölçmek imkânsız değilse de bazı özel uygulamalar dışında çok zordur. Çünkü hücre içine hassas olarak elektrot yerleştirilmesi gerekmektedir.

Biyopotansiyelleri en genel ölçme yöntemi, vücut yüzeyinden yapılan ölçümlerdir. Bu durumda alttaki birçok hücrenin aksiyon potansiyellerinin yüzeye gelen toplamı

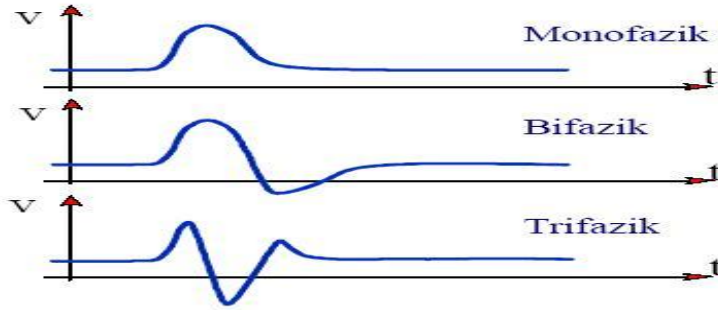
alınmaktadır. Bazı ölçümlerde ise bir kasa, sinire veya beynin belirli bölgelerine batırılan iğne elektrotlar yardımıyla ölçüm yapılır.

Biyopotansiyellerin vücut yüzeyine nasıl ulaştıkları kesin olarak bilinmemektedir. Ortaya birçok teori atılmıştır. Kalbin elektriksel potansiyellerinin izahı için ortaya atılan ve nispeten gerçekçi görünen teoriye göre yüzeyden ölçülen potansiyel, alttaki bireysel aksiyon potansiyellerinin kendilerinin değil fakat birinci türevlerinin toplamıdır.

Ölçme metodu ne olursa olsun biyoelektrik potansiyellerin oldukça iyi bilinen dalga şekilleri mevcuttur.

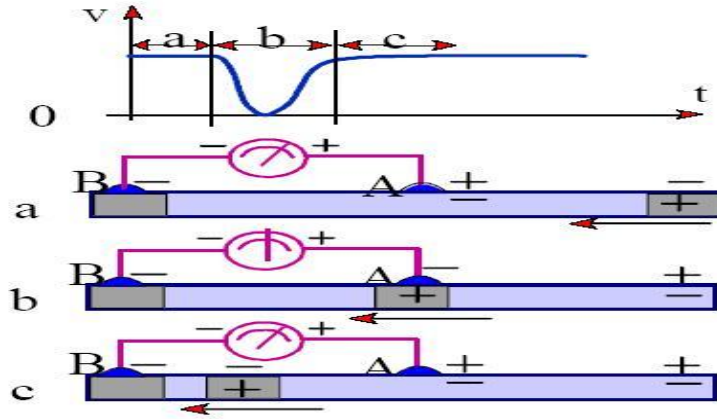
2.3.1 Elektrotların Elektriksel Kökenli Biyolojik İşaretleri Algılama Tekniği

Elektrotların, elektriksel kökenli biyolojik işaretleri algılama tekniğini, ENG sinir liflerinden alınan işaretlerin şekline göre anlatmak gerekirse ENG ölçümünde elektrotların yerleştirilme biçimine göre monofazik, bifazik ve trifazik adları verilen şekillerde yerleştirildiğini belirtmek gerekir (Şekil 2.1).



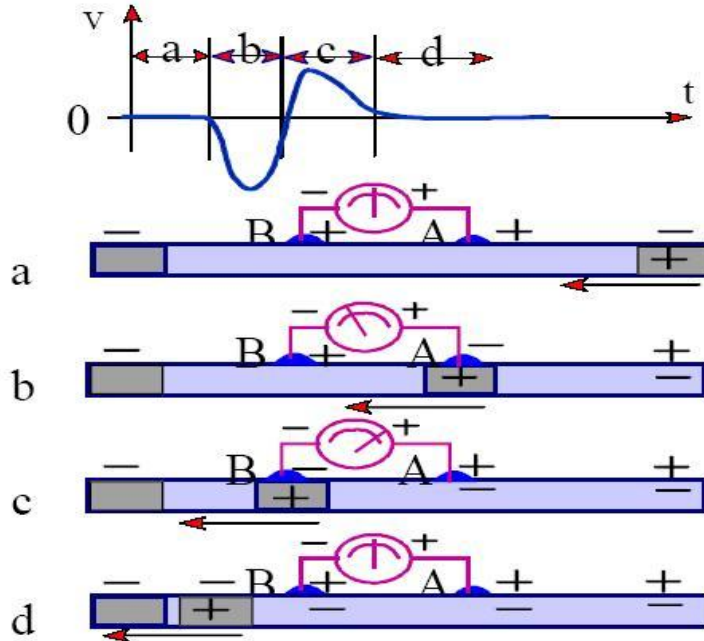
Şekil 2.1: Monofazik, bifazik ve trifazik işaretler

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi aksiyon potansiyeli ölçülmek istenen sinir hücresi lifinin sol tarafına sabit duracak şekilde referans elektrodu bağlanmıştır. Aktif elektrot ise herhangi bir noktaya bağlanmış olsun. Bu iki elektrot arasına aksiyon potansiyelinin değişimini izlemek için bir elektrometre bağlanmıştır.



Şekil 2.2: Monofazik işaret

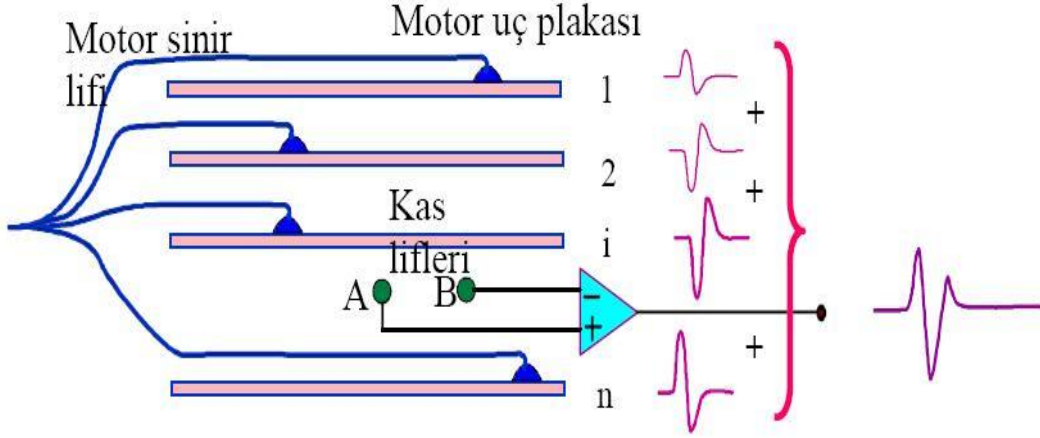
Normalde (hücre dinlenmede iken) elektrometre pozitif bir değer gösterir. Depolarizasyon darbesi aktif elektrodun bulunduğu bölgeye yaklaştığında elektrometrenin uçları, aynı değerdeki potansiyeller bağlanmış olacağından elektrometre sıfır göstermeye başlar. Bu şekilde gelen depolarizasyon darbesiyle birlikte elektrometre çıkışı, zaman içinde tek yönde (negatif) bir değişim göstermiş olur.



Şekil 2.3: Bifazik işaret

Şekil 2.3'te gösterildiği gibi ölçme elektrotları, sinir lifi üzerinde birbirine yakın iki noktaya yerleştirilecek olursa bu bağlama şekli bipolar bağlama olur. Bu şekilde, aksiyon

potansiyelinin sola doğru ilerlemesiyle elektrotlardan önce sağdaki (A) soldakine (B) göre daha negatif olur ve bu durumda elektrometrede negatif bir sapma gözlenir. Potansiyel darbesi sola doğru ilerlerken soldaki elektrodu sağdakine göre daha negatif yapar. Bunun sonucunda da elektrometrede pozitif bir sapma meydana gelir. Darbe iyice sola yaklaştığında elektrometrede tekrar sıfır sapması gözlenir. Bu şekilde bir negatif ve hemen arkasından bir pozitif değişim şeklinde gözlenen işaret, bifazik veya difazik olarak adlandırılır.



Şekil 2.4: Trifazik işaret

Şekil 2.4'te gösterildiği gibi ölçme elektrotları (A ve B), kas liflerinin arasına yerleştirilmiş olsun. Kas siniri akson ayaklarının kas lifleriyle olan bağlantılarına motor uç plakaları ve bir motor sinir lifiyle birlikte bu plakaların oluşturduğu gruba ise **motor birimi** denir.

Bir motor birimindeki motor plakalarında uyarı geldiğinde aynı anda aksiyon potansiyeli oluşacak, bunların elektrot çiftlerindeki yansımaları, motor plakalarının elektrotlardan olan uzaklığına göre çeşitli genlikteki bifazik değişimler şeklinde olacaktır. Bu değişimlerin fazları ise motor uç plağının elektrotların sağ ve sol tarafında oluşuna göre değişecektir.

Sonuçta elektrotlarda motor uç plakalarının aksiyon potansiyel değişimlerinin etkileri, bu potansiyellerin toplamı olarak görülecektir (trifazik değişim).

Girişimselde reusable olarak kullanılan elektrotlarda yıkandıktan sonra uygun bir şekilde (etilen oksit, gaz otoklav vb.) steril edilip paketlenmelidir.

2.4. Elektrotların Olası Zararlı Etkileri

Objeden algılanan işaretin elektriksel kökenli olması durumunda dönüştürücü olarak elektrot kullanılır. Elektrodun deri ile temasta olması nedeniyle bazı önlemlerin alınması gerekir. İnsan vücudu, büyük bir kimyasal işlemler düzeneği olarak düşünülebilir. Eğer vücudun kimyasal özellikleri elektrodun kimyasal özellikleriyle olumsuz yönde etkilenirse o zaman her bakımdan sorunlu durumlar ortaya çıkabilir. Bu sorunlar, elektrot direncinin artmasıyla örnek yüklemesinde olumsuz bir değişiklikten, elektroliz yoluyla insan vücudunun içine zararlı maddelerin salıverilmesine kadar tehlikeli durumlar olabilir. Bu elektroliz sonucu, hastane çevrelerinde metal zehirlenmesi ya da organik toksisite adı ile tanınır.

Vücutla temas eden ya da vücudun içine yerleştirilen elektrotlar ne çok aktif olan ve gevşek kimyasal bağları bulunan metal bakırdan ne de çok sıkı kimyasal bağları bulunan metal platinden yapılmalıdır.

Bakır elektrotlar, en az gürültülü olmalarına ve elektriksel özellikleri açısından da oldukça kararlı olmalarına karşın kimyasal bakımdan yüksek aktiviteli olmaları nedeniyle seyrek kullanılmaktadır.

Diğer yandan platin elektrotlar, vücudun kimyasal özelliklerinden etkilenmediği hâlde gürültü kapma ve elektriksel özelliklerinin tutarsızlığı yüzünden ender kullanılır. Ancak eğer bir elektrot, hastanın vücudu içinde uzun bir süre (örneğin, birkaç gün) kalacaksa o zaman platin elektrot kullanılır. Çünkü bu durumlarda kimyasal kararlılık diğer her türlü özellikten daha önemli olmaktadır.

Genelde, gerek deri yüzeyine gerekse vücut içine yerleştirilecek elektrotlar gümüş/gümüşklorür alaşımından yapılır. Bu alaşımın gürültü kapma, elektriksel ve kimyasal kararlılık açısından en dengeli alaşım olduğu saptanmıştır.

2.5. Elektrotların Özelliklerinin Ölçümler Üzerine Etkileri

Dönüştürücü, ölçme düzeninde hem hasta hem de ölçme sistemiyle temas hâindedir. Bu nedenle dönüştürücünün hem hastayı hem de ölçü aletlerini nasıl etkilediğinin incelenmesi gerekir. Bir dönüştürücünün çalışmasını belirleyen altı tasarım parametresi şunlardır:

- Örnek yüklemesi
- Çıkış empedansı
- Sönüm
- Frekans cevabı
- Doğrusallık
- Gürültü

2.5.1. Örnek Yükleme

Dönüştürücünün üzerinde ölçüm yapılan obje üzerine yaptığı etkidir. İdeal bir dönüştürücü, dönüştürmeye çalıştığı büyüklüğü hiçbir şekilde değiştirmez. Fizyolojik değişkenlerin kaynağı mekanik ya da kimyasal olduğundan dönüştürücü, obje üzerinde mekanik ve kimyasal etkiyi en az oranda göstermelidir.

Eğer mekanik direnç yüksek ise dönüştürücünün duyarlılığı azalır. Elde edilen ölçümler, ölçülen parametrelerin değişimlerini sağlıklı olarak belirtmez. Doğal olarak bir dönüştürücünün mekanik direncinin düşürülebileceği bir alt limit bulunmaktadır. Eğer bu sınırın altına inilirse o zaman dönüştürücü, aşırı duyarlılığı dolayısıyla hastanın en ufak kas hareketleriyle yanıltıcı çıkış işaretleri verebilir. Her tip dönüştürücü için bu gibi yanıltıcı sonuçlar doğurmayacak uygun bir örnek yükleme direnci aralıkları vardır. Bu değerler kullanıldığında ne fizyolojik parametre bozulmaya uğrar ne de çevreden anlamsız gürültüler algılanır.

2.5.2. Çıkış Empedansı

Dönüştürücünün çıkış empedansı, işaret işleme biriminin giriş empedansı ile uyumlu olmalıdır. İşaret işleme birimi, çoğu sistemlerde bir kuvvetlendiricidir. Dolayısıyla dönüştürücünün çıkış empedansı ve kuvvetlendiricinin giriş empedansı arasındaki ilişki önemlidir. Elektronik devrelerde en büyük güç aktarımı için süren cihazın çıkış empedansı sürülen cihazın giriş empedansının eşleniği olmalıdır. Ancak dönüştürücü olarak bir elektrot kullanılması durumunda elektrodun çıkış empedansının kuvvetlendiricinin giriş empedansına eşit olması istenmez. Eğer empedanslar eşitse elektrodun içinden ve cihaz üzerinden hasta yönünde veya ters yönde bir akım akabilir. Bu istenmeyen elektrot akımı, kimyasal reaksiyonları hızlandırabilir ve ek gürültü işaretleri üretebilir. Bu nedenle dönüştürücü çıkış empedansının kuvvetlendiricinin giriş empedansına göre düşük değerde olması istenir. Bu şekilde kuvvetlendirici gerilim değişimlerini sezebilir ve akımın akmasını önemli ölçüde önler.

Bu durumda kabul edilen en küçük empedans oranı 10:1'dir. Yani kuvvetlendiricinin giriş empedansı, elektrodun çıkış empedansının en az 10 katı olmalıdır. Bu değerlerde küçük bir elektrot akımı bulunabilir. En büyük oran ise 1.000.000:1 oranıdır. Bu değerlerde gürültü kapma ve çevreden etkilenme olayları baş gösterir ki bunlar da arzulanan durumlardır. Elektrotların deri yüzeyine ya da vücut içine yerleştirildikleri birçok uygulamada kuvvetlendiricinin empedansı 20 ile 80 Mohm arasında seçilmektedir.

2.5.3. Sönüm

Dönüştürücünün, fizyolojik olayı aslına sadık kalarak izleyemediği durumlarda çeşitli sönüm durumları söz konusudur. Üç farklı sönüm durumu vardır:

- **Kritikaltı sönüm:** Kritikaltı sönümlü bir dönüştürücü, darbe ya da basamak biçiminde bir giriş işaretine hızla cevap verebilir ancak bir tepe değerinden

- sonra sönümlü salınımlar göstererek çıkış işaretini oluşturur. Bu durumda dönüştürücünün frekans cevabı, sistemin frekans cevabından daha büyüktür.
- **Kritiküstü sönüm:** Kritiküstü sönümlü bir dönüştürücü, darbe ya da basamak biçiminde bir giriş işaretine çok yavaş cevap verir. Hiçbir şekilde aşma ve salınım oluşmaz. Çıkış işareti ancak uzun bir gecikmeden sonra kararlı durumuna gelir. Dönüştürücü kritikaltı sönümlü ise frekans cevabı düşük olur ve böylece bütün enstrümantasyon sisteminin frekans cevabının azalmasına neden olur.
 - **Kritik sönüm:** Kritik sönümlü bir dönüştürücü, arzulanmayan bir dönüştürücüdür. Ne hızlı ne de aşırı yavaş cevap verir. Salınım ya da aşma olmadığı gibi çıkış işareti, giriş işaretini en yakın biçimde izler.

2.5.4. Frekans Cevabı

Dönüştürücünün frekans cevabı, sönüm miktarına doğrudan bağlıdır. Eğer dönüştürücünün frekans cevabı fizyolojik olayın bant genişliğinden düşük ise bu olay hakkında bilgi önemli derecede kaybolur. Eğer frekans cevabı olayın bant genişliğinden büyük ise o zaman da fizyolojik olayla ilgisi olmayan birtakım ilgisiz işaretler (gürültüler) de sezilerek anlamsız sonuçlar ortaya çıkabilir. Dönüştürücünün frekans cevabı sezebildiği ve cevap verebildiği frekans bandı ile tanımlanır. Dolayısıyla incelenecek fizyolojik olayın frekansı, dönüştürücü tasarımında göz önünde bulundurulur.

Eğer fizyolojik olay yavaş ve sinüsoidal bir dalga şeklinde ise örneğin, EEG'de olduğu gibi, işaretin kapsadığı frekans bandı dar olur. Buna göre dönüştürücünün bant genişliği de dar olmalıdır. Diğer yandan kan basıncını izlemeye olduğu gibi daha geniş bir frekans aralığı söz konusu ise dönüştürücünün bant genişliği daha büyük olmalıdır.

2.5.5. Doğrusallık

Doğrusallık, dönüştürücü çıkış işaretinin dönüştürücü girişindeki fizyolojik işareti izleme yeteneğini etkileyen bir özelliktir. Dönüştürücünün geçiş karakteristiği doğrusal ise dönüştürücü çıkışındaki elektriksel işaret, fizyolojik işaretin benzeri olacaktır. Dolayısıyla doğrusallık, diğer bir deyişle lineerlik, dönüştürücülerde aranan önemli bir özelliktir. Başka bir deyişle fizyolojik işarettaki % olarak bağlı değişme, dönüştürücü çıkışında aynı miktarda değişme oluşturacaktır. Dönüştürücülerin sağlaması arzu edilen bu özellik, kullanım dinamiklerini önemli ölçüde kısıtlar.

Dönüştürücü ancak dar bir bölge içerisinde lineer çalışabilir. Dönüştürücülerin lineer olduğu bölge, dönüştürücünün tipine ve kullanıldığı sistemin özelliklerine bağlıdır.

2.5.6. Gürültü

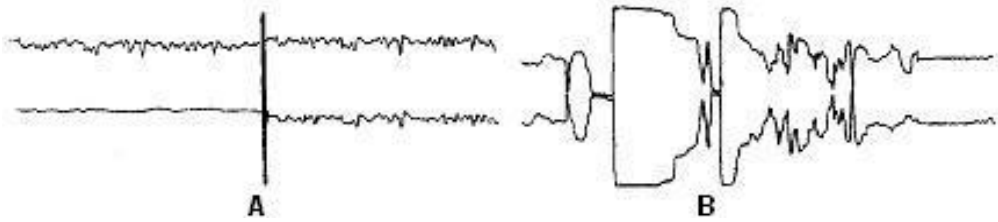
Sinyal izlenmesi sırasında vücuttan elde edilen işaretlerin dışındaki çeşitli ortamlardan kaynaklanan gürültüler kaydı bozar. Kaydın daha net görülebilmesi için işaret işleme aşamasından önce gürültünün yer aldığı bölümlerin mutlaka ayıklanması gerekir.

Ölçüm sırasındaki gürültü ve parazitler çeşitli nedenlere bağlı olarak oluşabilir. Bunlar kimi zaman hastaya, kimi zaman kayıt cihazına ve elektrik şebekesine bağlı olarak gelişir. Parazitler (gürültü) temel olarak 5 gruba ayrılabilir:

- Biyolojik nedenlerden oluşan bozulmalar (kas hareketleri, heyecanlanma, terleme)
- Ölçüm sırasındaki harekete bağlı bozulmalar
- Elektrotlara bağlı bozulmalar
- Şebekeye bağlı bozulmalar (radyo dalgaları, elektrostatik bozulma, şehir cereyanı gürültüsü)
- Kayıt cihazında arızalara bağlı bozulmalar

Bu bozulmalardan (parazitlerden), elektrot kaynaklı olanlar şöyle sıralanabilir:

- Bozuk ya da sallanan bağlantı kablosu
- Kötü yerleştirilmiş ya da bozuk elektrot: Kayıt elektrodun konumu değişince düzelecektir (Şekil 2.5 A).
- Ayna görüntüsü: Bipolar bağlamada üçlü bir elektrot serisinde ortadakinin yerinden oynaması durumunda alınan bipolar kayıtlarda ayna görüntüsü oluşur (Şekil 2.5 B).
- Elektrotlar arasında aşırı jel kullanımı nedeni ile iletken bir köprü oluşursa elektrotlar tek bir elektrot gibi davranır ve aynı kaydı verir.



Şekil 2.5: Bir EEG grafiğinde bozulma (gürültü) örnekleri

Bu bozulmalardan şebeke kaynaklı olanlar şöyle sıralanabilir:

- **Elektromanyetik dalgalara bağlı bozulma:** Teyp, telsiz, cep telefonu vb. elektronik cihazlar çalıştırıldığında elektrikli aletlerin açılıp kapatılmasıyla asansörün hareketleriyle oluşabilir.
- **Elektrostatik parazitler:** Pleksiglas vb. elektrostatik yüklenebilen materyalin hızlı bir şekilde elektrodun yakınında ileri geri hareket ettirilmesi sonucu oluşur.
- **Şehir cereyanının gürültüsü:** Şehir cereyanındaki 50 Hz'lik salınımların ölçüme yansmasıdır. Aletin ya da hastanın kötü topraklanmasına bağlı olarak ortaya çıkabilir, hasta farklı iki yoldan topraklanmış ya da toprak ile elektrotlardan biri arasında kısa devre oluşmuştur ve bu da pek çok kanala yansır. Elektrot direncinin yüksek olması bir başka nedendir. Elektrikli araçların etrafında oluşan alterne edici bir elektromanyetik alanın yakında olması da bu

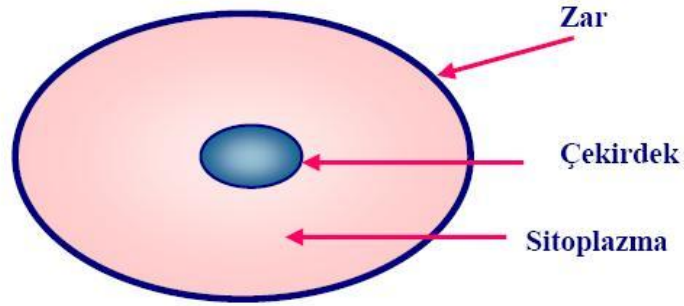
tür gürültüye yol açar. Kayıt odasının izolasyonu yetersizse bu alan, duvarı geçip etkisini gösterebilir.

Yukarıda belirtilen tüm bozulmalar ortadan kaldırıldıktan ve cihazın toprak bağlantısı kontrol edildikten sonra varlığını sürdüren bozulma, cihaz arızası olarak yorumlanabilir. Bu durumda yetkili bir kişiden hizmet almak gerekir.

2.6. Hücrelerde Elektriksel Aktivasyon

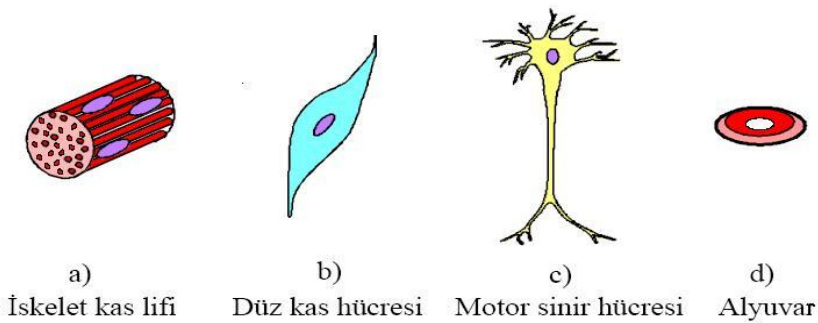
2.6.1. Hücre Fizyolojisi

Hücre, canlıların bağımsız olarak yaşamını sürdürebilen en küçük parçasıdır. Hücre, çekirdek, sitoplazma denilen hücre gövdesi ve sitoplazmayı çevreleyen bir hücre membranından (zarından) oluşur. Hücrelerde elektriksel işaretler, hücrenin uyarılabilme özelliği nedeniyle oluşur. Hücre membranları, eşik seviyesi olarak isimlendirilen bir değerin üzerindeki bir işaret ile uyarılacak olurlarsa bu uyarma bütün hücreye yayılır. Uyarma şekli; elektriksel, kimyasal, optik, termal veya mekanik olabilir.



Şekil 2.6: Hücrenin genel yapısı

Şekil 3.7’de bir insanda bulunan bazı hücrelerden örnekler görülmektedir. Hücre çapı 1-100 μ arasında, hücre boyu ise 0,2 μ -10 cm arasında değişmektedir.



Şekil 2.7: İnsan hücresi örnekleri

2.6.2. Aksiyon Potansiyelinin Oluşum Mekanizması

Elektrik kökenli biyolojik işaretlerin temelini, hücrelerde ortaya çıkan aksiyon potansiyeli oluşturur. Bu potansiyel, gerçekte hücre zarının iç ve dış taraflarındaki potansiyel farkıdır. Aksiyon potansiyelinin oluşumunda etkili olan etmenler aşağıda maddelenmiştir:

- Hücre zarının iyonlara olan seçici geçirgenliği
- Hücre zarının hücre içindeki negatif yüklü ağır molekülleri geçirmeyişi
- Hücrenin elektriksel, kimyasal, ısı, magnetik vb. etkilerle uyarılabilir olması
- Uyarılan hücre zarının iyonlara olan geçirgenliğinin değişik olması
- Hücre zarında pasif transporta ek olarak aktif transportun da bulunuyor olması

Şekil 2.8’de aksiyon potansiyelinin değişimi gösterilmiştir. Hücre uyarılmadığında sükûnette olup sükûnet potansiyeli -90mV kadardır. Hücrenin elektrik aktivitesinde iyonların hücre zarını pasif olarak geçişinde ortamlar arası iyon konsantrasyon farkları önemli olur. Bu şekildeki iyon geçişi, pasif transport olarak ifade edilir.

Hücre içi, negatif yüklü ağır moleküller nedeniyle negatif (-90mV) olup bu potansiyeli dengelemek üzere hücre zarının da kendilerini kolay geçirir olması nedeniyle K^+ iyonları hücre içini doldurmuştur. Oysa hücre zarının Na^+ iyonlarına olan geçirgenliği yüksek olmadığından Na^+ iyonları hücre içine girememektedir.

Sükûnette, hücre dışında, içine göre Na^+ ve Cl^- iyon konsantrasyonu daha fazladır, K^+ iyonu ise hücre içinde daha konsantredir.

Hücre uyarıldığında zarının Na^+ iyonlarına olan geçirgenliği artar; hücre içine Na^+ iyonları hücumu olur ve hücre içi potansiyeli $+20\text{ mV}$ değerine kadar yükselir, depolarizasyonda Na^+ , K^+ , Cl^- iyonları etkilidir.

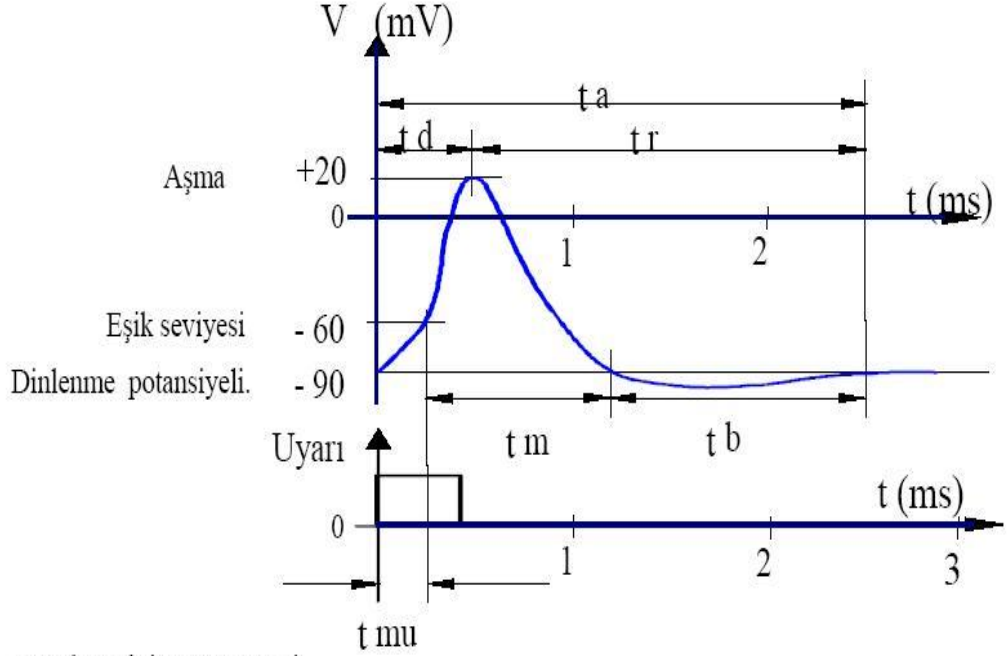
Gerilim değerinden etkilenen hücre zarının geçirgenliği, tekrar sükûnetteki durumuna döner. Bu durumda aktif transport etkili olur.

Enerji harcayarak çalışan Na^+ - K^+ aktif pompaları Na^+ iyonlarını hücre dışına (K^+ iyonlarını da hücre içine) pompalamak suretiyle sükûnetteki konsantrasyon dengelerini kurmaya ve bu dengeleri korumaya çalışır.

Repolarizasyonda, zar potansiyeli eski seviyesine gelir. Bu değişime, aksiyon potansiyeli adı verilir.

Hücre uyarıldığında zar potansiyeli (hücre dışı referans olmak üzere) pozitif doğru artar. Belli bir eşik gerilimini (-60 mV) geçer geçmez uyarı kesilse bile zar potansiyeli, $+20\text{ mV}$ repolarizasyon değerine kadar yükselmeye devam eder.

Eşik değerini geçemeyen zar potansiyelleri, uyarı kesildiğinde denge değerine döner. Demek ki hücre zarı, potansiyelini eşik değerinin üzerine çıkaran uyarılar için uyarılmış olmakta, yoksa uyarılmamış kalmaktadır. Buna “ya hep ya hiç yasası” denir.



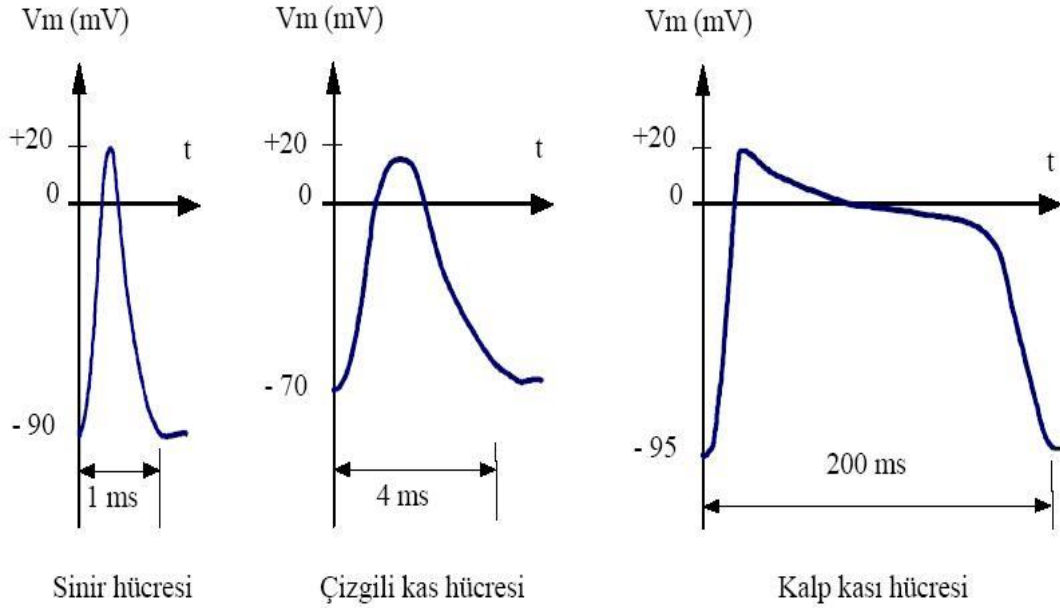
- t_a : Toplam aktivasyon süresi
- t_b : Bağlı bekleme süresi
- t_d : Depolarizasyon süresi
- t_m : Mutlak bekleme süresi
- t_{mu} : Minimum uyarı süresi
- t_r : Repolarizasyon süresi

Şekil 2.8: Aksiyon potansiyeli

Hücre uyarıldıktan sonra, tekrar uyarılabilmesi için bir süre gerekir. Buna **bekleme süresi** denir.

Aksiyon potansiyellerinin değişimi çeşitli hücrelerde farklılıklar gösterir.

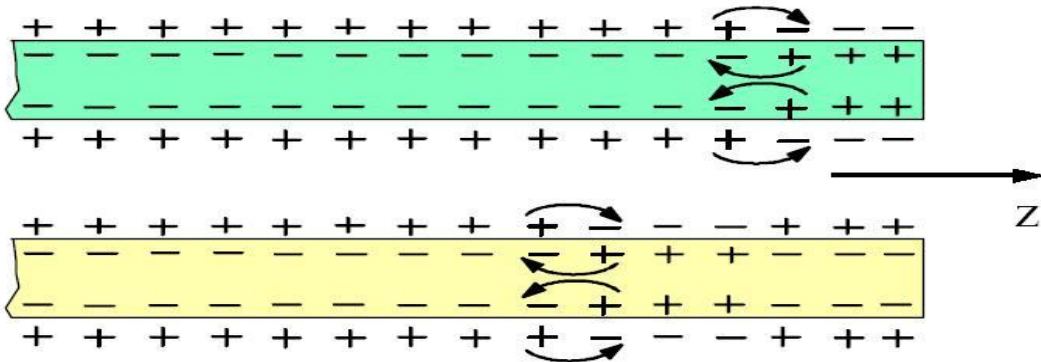
Sinir ve çizgili kas hücrelerindeki aksiyon potansiyelleri, süre ve genlik bakımından fazla farklı değildir. Kalp kasında ise şekil biraz değişik olup 0 mV'da kaldığı süre 200 ms kadardır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Çeşitli hücelere ait aksiyon potansiyeli

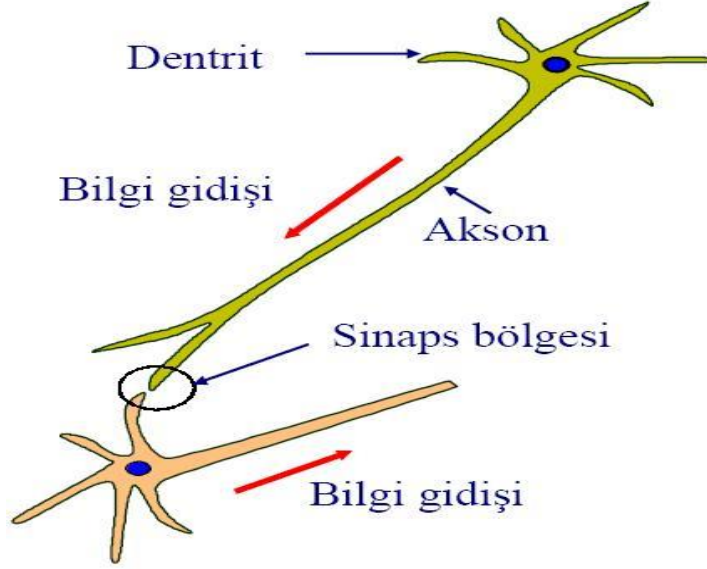
2.6.3. Aksiyon Potansiyelinin Yayılması

Bir hücre uyarılıp aksiyon potansiyeli ürettiğinde iyon akımı akmaya başlar. Bu olay komşu hücreleri de uyarabilir. Uzun aksonlu sinir hücrelerinde aksiyon potansiyeli, aksonun uzunluğuna göre çok kısa bir kısmında meydana gelir ve her iki yöne yayılır. Tabii durumda bir sinir hücresi, yalnız giriş ucuna yakın bir yerden uyarılır. Aksiyon potansiyeli, hücre boyunca yayılırken bekleme sürelerinden dolayı önce uyarılmış bölge yeniden uyarılmaz. Böylece yayılma tek yönlü olmuş olur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Aksiyon potansiyelinin yayılması

Şekil 2.11’de görüldüğü gibi aksiyon dalgası şeklinde sinir aksonu boyunca yayılan bilginin diğer bir sinir hücresine (nörona) geçişi sinaps bölgelerinde olmaktadır.



Şekil 2.11: Sinaps olgusu

Sinapslarda bilgi geçişi, nöro-transmitterler (kimyasal aktarıcılar) aracılığıyla olmaktadır. Sinapslarda bilgi geçişi, sinapsın yapısı gereği tek yönlü olmaktadır. Bu da bilginin sinir hücrelerinde tek yönlü yayılma sebeplerinden biridir.

Aksiyon potansiyeli, sinir hücresi boyunca darbe katarı şeklinde yayılır. Ya hep ya hiç prensibi gereği bu katardaki aksiyon potansiyellerinin genlikleri aynı kaldığından bilgi, aksiyon potansiyeli darbelerinin sıklığıyla (frekansıyla) taşınmaktadır (Şekil 2.11).

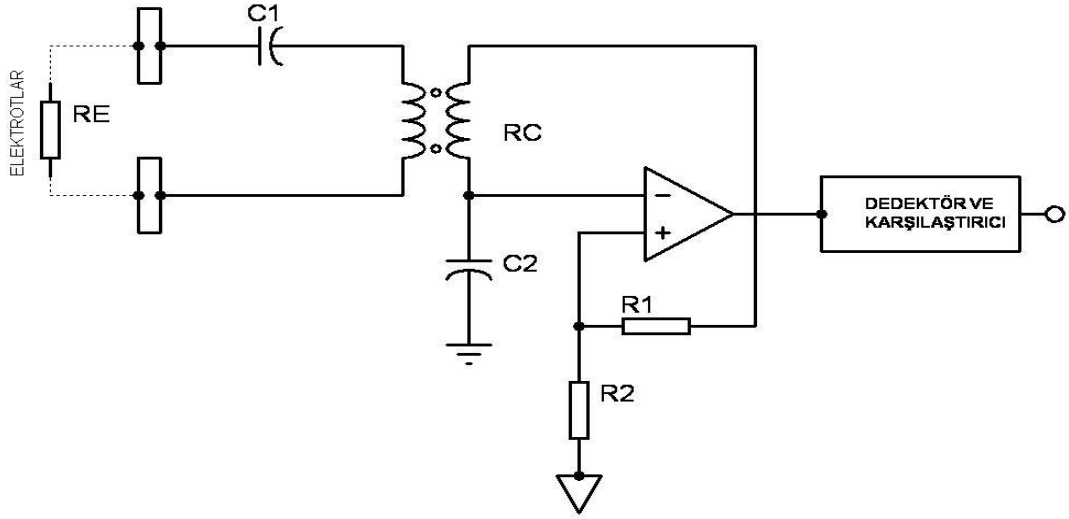
2.7. Elektrot Arıza Dedektörü

Elektrotların durumunu belirleyen çeşitli devreler geliştirilmiştir. Elektrotların, algıladıkları işaretleri kuvvetlendiriciye bozulmadan iletmeleri gerekmektedir. Elektrotlardaki temas bozukluğu, elektrotların ikisi arasındaki empedansın ölçümüyle belirlenir. Elektrotlar ve aradaki vücut parçasının empedansı, 100 Khz’de birkaç yüz Ω kadardır. Daha yüksek bir empedans ölçümü arıza belirtisidir. Dedeksiyon amacı ile kullanılabilir bir yol, 100 Khz’de küçük bir akım geçirmek ve empedansı ölçmektir. Emniyet nedeni ile bu akım μA ’ler seviyesindedir.

Şekil 2.1’de görülen devre, astable bir multivibratördür. Devrenin frekansı, transformatörün sekonderinden görülen RC ve C2’den belirlenmiştir. RE, elektrotlar ve vücut

empedansını sembolize eder. R1 ve R2 gerekli pozitif geri beslemeyi sağlar. C1, elektrotlardaki DC gerilimi bloke eder.

Elektrot devresinde kötü bir temas veya kopukluk olması hâlinde RE değeri artacaktır. Multivibratör, bu durumda osilasyon yapmayacak şekilde tasarlanmıştır. Normal durumda osilasyon vardır. Çıkış, bir dedektör veya demodülatöre uygulanır. Demodülatör çıkışı, bir eşik işareti ile normal temasın varlığını belirtecek şekilde karşılaştırılır.



Şekil 2.12: Elektrot arıza dedektörü

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıda verilen işlem basamaklarına göre uygulamayı gerçekleştiriniz.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Bir yüzey elektrodu kullanarak bir arkadaşınız veya model üzerinde hatalı ve doğru bağlantı şekillerini gösteriniz.➤ Daha önceden kullanılmış bir elektrodu temizleyiniz.➤ Herhangi bir sinyal ölçüm cihazı ile ölçüm yaparken bir parazit kaynağı ile parazit yaparak etkilerini inceleyiniz.➤ Yapmış olduğunuz işlemleri raporlayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Hatalı ve doğru bağlantı şekillerini hatırlamak için 2.3 nu.lı başlık altındaki konuyu tekrar ediniz.➤ Elektrot temizliği ile ilgili olarak 2.4 nu.lı konuyu tekrar ediniz.➤ 2.2.6 nu.lı konudan bir bozulma biçimi seçiniz. Bu konuyu tekrar okuyunuz.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanmadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Bir yüzey elektrodu kullanarak bir arkadaşınız veya model üzerinde hatalı ve doğru bağlantı şekillerini gösterdiniz mi?		
2. Daha önceden kullanılmış bir elektrodu temizlediniz mi?		
3. Herhangi bir sinyal ölçüm cihazı ile ölçüm yaparken bir parazit kaynağı ile parazit yaparak etkilerini incelediniz mi?		
4. Yapmış olduğunuz işlemleri raporladınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıda boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise **D**, yanlış ise **Y** yazınız.

1. () ENG ölçüm sisteminde elektrot yerleştirme biçimine göre monofazik, bifazik ve trifazik bağlantı tipleri vardır.
2. () İdeal bir dönüştürücü, dönüştürmeye çalıştığı büyüklüğü hiçbir şekilde değiştirmez.
3. () Her tip dönüştürücü için yanıtıcı sonuçlar doğurmayacak uygun bir örnek yüklemeye direnci aralıkları vardır. Bu sayede gürültü önlenir.
4. () Dönüştürücünün çıkış empedansı, işaret işleme biriminin çıkış empedansı ile uyumlu olmalıdır.
5. () Bir elektrodun çıkış empedansının kuvvetlendiricinin giriş empedansına eşit olması istenmez. Çünkü bu durum gürültüye neden olur.
6. () Bir dönüştürücüde doğrusallık (lineerlik) özelliği aranmaz.
7. () Ölçüm sırasındaki gürültüler, kimi zaman hastaya kimi zaman kayıt cihazına ve elektrik şebekesine bağlı olarak gelişebilir.
8. () Ölçüm sırasında elektrotların gevşek olması ve sallanması ölçüm kalitesini etkilemez.
9. () Ekonomik olması sebebi ile orijinal olmayan, eskimiş, yıpranmış, ezik, kırık elektrotlar kullanılabilir.
10. () Elektrotlar, aşındırıcı ve yıpratıcı malzemelerle değil, ılık su ve sabun ile yıkanmalı; kuru ve yumuşak bir bez ile kurulmalıdır. Başka kimyasal temizleyiciler kullanılmamalıdır.
11. () Vücutla temas eden ya da vücudun içine yerleştirilen elektrotlar ne çok aktif olan ve gevşek kimyasal bağları bulunan metal bakırdan ne de çok sıkı kimyasal bağları bulunan metal platinden yapılmamalıdır (özel durumlar hariç).
12. () Aksiyon potansiyeli, gerçekte hücre zarının iç ve dış taraflarındaki potansiyel farkıdır.
13. () Hücre uyarıldığında zarının Na^+ iyonlarına olan geçirgenliği artar, hücre içine Na^+ iyonları hücumu olur ve hücre içi potansiyeli +20 mV değerine kadar yükselir.
14. () Aksiyon potansiyellerinin değişimi, çeşitli hücrelerde farklılıklar göstermez.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise “Modül Değerlendirme”ye geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıda boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise **D**, yanlış ise **Y** yazınız.

1. (...) Vücutta oluşan biyolojik işaretlerin ölçülmesi için elektrotlardan faydalanılır.
2. (...) Elektrotların seçiminde fizyolojik zehirlilik, elektriksel iletkenlik ve mekanik dayanıklılık gibi unsurlar önemli değildir.
3. (...) Elektrotların iyon akımını elektron akımına dönüştürme işlemi, elektrotların içinde buldukları sıvı ortamda (elektrolit) ve elektroda yakın olan arayüzde gerçekleşir.
4. (...) Elektrotlar, polarize olan (irreversible-tersinmez) ve polarize olmayan (reversible-tersinir) elektrotlar olarak iki gruba ayrılabilir.
5. (...) Klips elektrotlar, yapışkan elektrotlardır.
6. (...) Elektrot jeli, derinin ve elektrot temas yüzeyinin direncini azaltmak için kullanılır.
7. (...)Dönüştürücünün çıkış empedansı, işaret işleme biriminin çıkış empedansı ile uyumlu olmalıdır.
8. (...) Bir elektrodun çıkış empedansının, kuvvetlendiricinin giriş empedansına eşit olması istenmez. Çünkü bu durum gürültüye neden olur.
9. (...) Bir dönüştürücüde doğrusallık (lineerlik) özelliği aranmaz.
10. (...)Ölçüm sırasındaki gürültüler, kimi zaman hastaya kimi zaman kayıt cihazına ve elektrik şebekesine bağlı olarak gelişebilir.
11. (...) Ölçüm sırasında elektrotların gevşek olması ve sallanması ölçüm kalitesini etkilemez.
12. (...)Aksiyon potansiyeli, gerçekte hücre zarının iç ve dış taraflarındaki potansiyel farkıdır.
13. (...)İmali sırasında jellenmiş elektrotlara, kullanım sırasında da jel sürülmelidir.
14. () Hasta simülatörleri, cihazların sağlıklı çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için kullanılan test cihazlarıdır.
15. (...)Ag/AgCl elektrotlar, tercih edilmeyen elektrotlardandır.

16. (...)Disposable elektrotlar, her kullanımdan sonra temizlenerek defalarca kullanılabilir.
17. (...)Flexible elektrotlar, düz olmayan vücut yüzeyinin şeklini alacak biçimde bükülüp esneyebilmektedir.
18. (...)Yüzey elektrotlarının jel ya da pasta gerektirmeksizin deri üzerine direkt olarak uygulanabilir nitelikte olan tiplerine **kuru elektrotlar** denir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Yanlış
3	Doğru
4	Doğru
5	Yanlış
6	Yanlış
7	Doğru
8	Yanlış
9	Yanlış
10	Doğru
11	Yanlış
12	Doğru
13	Doğru
14	Yanlış
15	Doğru
16	Doğru
17	Yanlış
18	Doğru
19	Doğru
20	Doğru
21	Yanlış
22	Doğru
23	Doğru
24	Yanlış
25	Doğru
26	Doğru

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Doğru
3	Doğru
4	Yanlış
5	Doğru
6	Yanlış
7	Doğru
8	Yanlış
9	Yanlış
10	Doğru
11	Doğru
12	Doğru
13	Doğru
14	Yanlış

MODÜL DEĞERLENDİRMENİN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Yanlış
3	Doğru
4	Doğru
5	Yanlış
6	Doğru
7	Yanlış
8	Doğru
9	Yanlış
10	Doğru
11	Yanlış
12-	Doğru
13-	Yanlış
14-	Doğru
15	Yanlış
16	Yanlış
17	Doğru
18	Doğru

KAYNAKÇA

- ALVUR Muhlise, Abdülkerim BEDİR, Laboratuvar Aletleri, Ankara, 2000.
- ONUR Rüştü, Biyolojik Sinyal Kaydı ve İşleme Yöntemleri, İzmir, 1996.
- PEHLİVAN Ferit, Biyofizik, Ankara, 1997.
- YAZGAN Ertuğrul, Mehmet KORÜREK, Tıp Elektronigi, İstanbul, 1996.
- www.cs.wright.edu/~phe/EGR199/Lab_1/electrode.jpg (Erişim tarihi Ağustos 2006)
- www.cs.wright.edu/~phe/EGR199/Lab_1/electrode.jpg (Erişim tarihi Ağustos 2006)
- <http://www.hmbg.utah.edu/sanguinetti/Links/twoelectrode.htm> (Erişim tarihi Ağustos 2006)
- www.swri.edu/3pubs/IRD2000/10-9191_a.jpg (Erişim tarihi Ağustos 2006)
- www.som.flinders.edu.au (Erişim tarihi Ağustos 2006)
- http://www.trade-taiwan.org/to_buy/list_photo_e.asp?m_code=2750 (Erişim tarihi Ağustos 2006)