

MEDİKAL FİZİK

BİYOELEKTRİK ÖLÇÜ VE GÖZLEM ARAÇLARI

ÖLÇÜ VE GÖZLEM ARACI

Ölçme işlemi; bir büyüklüğün aynı türden bir başka büyüklükle karşılaştırılması olarak tanımlanır. Ölçü ve gözlem araçları kullanılarak duyuşal yollarla sezemeyeceğimiz kadar küçük olan veya duyuşal yollarla hiçbir biçimde algılayamadığımız türden nicelikleri ölçebilmekte ve zaman değişim grafiklerini çizdirebilmekteyiz. Bir deney planlaması içinde üç sistem bulunur. Kontrollü etkime araçları ile incelenecek sisteme etki uygulanır. Ölçü aracı olarak adlandırılan sistemle “incelenecek sistemin” yanıtları ölçülür. İncelenen sistemin yanıtı ölçü gözlem aracına etki olarak uygulanmaktadır.

Ölçü Aracının Davranış Denklemi Çözümü

Üç yöntem kullanılır:

- Formüsel çözüm
- Grafik çözüm
- Ölçek ayarlanması

Ölçü aracının, yanıt ölçeğinin etki niceliği cinsinden düzenlenmesi işlemine **ayarlama (kalibrasyon)** denir. Bu işlem denklem çözümünü dolayısıyla ölçme işlemi çabuklaştırır. Basınç, kuvvet, sıcaklık gibi değişkenlerin elektriksel gerilime dönüştürülerek ölçülebilmesi ve zamanla değişim grafiklerinin çizdirilmesi amacıyla kullanılan araçlara **çevirgeç (transdüser, değiştirgeç)** denir.

ÖLÇÜ VE GÖZLEM ARAÇLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

1. GİRİŞ KARAKTERİSTİKLERİ

Giriş biçimi (ölçülen): Bir ölçü aracı bir tür enerji girişine uygundur.

Yararlı giriş aralığı: Bir ölçü aracı ölçebildiği nicelik türünün yalnızca belirli aralıktaki değerleri için uygundur. Daha küçük girişleri sezemeyebilir, daha büyük değerler için sinyal veya araç bozulabilir.

Giriş empedansı: Ölçü aracının giriş empedansı konu sistemin özelliklerini değiştirmeyecek uygunlukta olabilir.

2. STATİK AKTARIM KARAKTERİSTİKLERİ

Ölçü aracının sabit veya çok düşük frekanslı etkiler karşısındaki davranışını anlatan karakteristiklerdir.

Duyarlık (sensitivity): Ölçü aracının birim etki (E) başına oluşturduğu yanıt (Y) olarak tanımlanır. $[S = \Delta Y / \Delta E]$

Doğruluk: Yüzde hata miktarı

Yüzde hata = (Aracın gösterdiği değer – Gerçek değer) / Gerçek değer

Tolerans: Maksimum hata verilerek anlatılır.

Kesinlik: Verilen bir sonucun kaç seçenek arasından seçildiğinin ölçüsüdür.

Tekrarlanabilirlik: Aynı etki tekrarlandığında aynı yanıtı oluşturabilme yetisidir.

Kararlılık: Okuma zamanına göre daha uzun bir süre sabit bir etki altında kalan aracın aynı kararlı yanıtı gösterebilme yetisidir.

Değişmezlik: Çevresel koşullardan etkilenmeme derecesidir.

Erim: Aracın ölçme yetisine sahip olduğu değerler aralığıdır.

Doğrusallık: Etki ile yanıt arasındaki doğrusal ilişkiden, yani sabit duyarlıktan maksimum sapma verilerek anlatılır.

Histeresis: Etkinin aynı bir değerine, etkiyi artırarak ve azaltarak zıt yönlerde yaklaşırken, okumalar arasında karşılaşılabilecek maksimum fark verilerek anlatılır.

Çözme gücü: Aracın ayırtılabileceği en küçük etki değişikliğidir.

3. DİNAMİK AKTARIM KARAKTERİSTİKLERİ

Yanıt zamanı: Basamaklı bir etki uygulandıktan sonra aracın kararlı yanıt değerinin 0.9'una ulaşabilmesi için gereken zaman

Bant genişliği: Frekansı değişen periyodik etkiler karşısında, bağıl yanıtın maksimum değerinden %70'e düştüğü frekanslar aralığıdır.

BİYOELEKTROTLAR

Metal veya sıvı köprü yapısında olan elektrotlar, biyoelektrik olayların deteksiyonunu sağlar. Ayrıca dokulara elektrik akımı uygulamalarında da kullanılır. Elektrotların seçiminde fizyolojik zehirlilik, iletkenlik, mekanik dayanıklılık önemli faktörlerdir. Biyoelektrik uygulamalarda en çok kullanılan elektrot metalleri platin, altın, gümüş, tantal, tungsten, paslanmaz çelik ve alüminyumdur.

- **Bakır**, zehirli olduğu için uygun değildir.
- **Platin**, pahalılık dezavantajı yanında yüksek iletkenliği, aşınmaya ve deformasyonlara dayanıklılığı nedeni ile organ içine sürekli gömülü elektrotlar (örneğin, elektronik pacemaker) için en uygundur.
- **Gümüş**, iyi iletkenidir, kolay oksitlenir.
- **Paslanmaz çelik**, korozyona (aşınma) uğrasa da dış uygulamalar için uygun sayılmaktadır.

- **Alüminyum**, yüzeysel uygulamalar için kullanılır. Yüzeysel kayıt ve uygulamalar için disk veya elips biçiminde yapılan elektrotlara dokularla iyi temas sağlamak için hafif içbükeylik verilir. İyi bir elektriksel iletim için, elektrot altında kalan deriye NaCl çözeltisi sürülmelidir (özel elektrot pastası, lastik bağ veya tutucu bantlar yardımı ile elektrotların dokularla iyi bir teması sağlanır).
- **Tersinir elektrot:** Çözelti içinde iyonu bulunan bir metalin elektrot olarak kullanıldığı ve arayüzde potansiyel düşmesi olmadan, akımın iki yönde de geçebildiği elektrotlara tersinir (reversible) elektrot denir.
- **Tersinmez elektrot:** Çözelti içinde metalin kendi iyonları yok ise (örneğin NaCl çözeltisi içinde paslanmaz çelik elektrotlar) tersinmez (irreversible) elektrot denir. Akım başlatmak için oldukça büyük potansiyel farklar gerekebilir.

Biyoelektrik gözlemler için Ag/AgCl tersinir elektrodu tercih edilir. Böyle bir elektrot yapmak için, tel veya disk şeklinde saf metalik gümüş Cl^- iyonları içeren seyreltik çözelti (HCl veya NaCl) içine daldırılarak birkaç dakika $1mA/cm^2$ şiddetli doğru akım geçirilir. Gümüş yüzeyi ince bir AgCl tabakası ile kaplanır. Böyle bir elektrot katot olarak çalışırken AgCl tabakasındaki Ag^+ iyonları gümüş metali üzerine, Cl^- iyonları ise dokuya geçer. Anot olarak davranırken, metalik Ag atomları elektron kaybederek Ag^+ iyonları halinde AgCl tabakasına girerken dokudan gelen Cl^- iyonları ile karşılaşır, yeni AgCl üretilir. Böylece elektrot Cl^- iyonlarına tersinir davranmış olur. EKG ve EEG uygulamalarında Ag/AgCl elektrot en uygundur. Yanı sıra çinko ve paslanmaz çelik elektrotlar da kullanılır. EMG veya MSS iç bölgelerinden kayıtlar için birkaç μm kalınlığı kadar inceltilmiş paslanmaz çelik veya tungsten elektrotlar kullanılmaktadır.

İyon seçici elektrotlar: farklı türde iyonlara duyarlı elektrotlardır. Klinik kimya ve biyokimya laboratuvarlarında kullanılan pH elektrotları örnek verilebilir.

ÇEVİRGEÇLER (TRANSDUCERLER)

Elektriksel karakteristiği belirli türden etkiler karşısında değişen devre elemanlarına **transducer (çevirgeç)** denir. Basınç, kuvvet, yer değiştirme gibi değişimlere duyarlık gösterecek devre elemanları yapılabilir. pH elektrodu, iyon seçici elektrotlar, enzim elektrotları çevirgeçlerdir.

BİYOELEKTRİK SİNYALLERİN AMPLİFİKASYONU

Biyoelektriksel sinyallerin amplifikasyonunda önceleri elektronik lamba öğelerinden kurulu amplifikatörler kullanılmıştır. Günümüzde ise daha pratik ve ekonomik olan transistör ve operasyonel amplifikatörler tercih edilmektedir. Periyodik tabloda IV.grup elementlerinden olan silisyum ve germaniyumun elektriksel özellikleri, iletkenlerle yalıtkanlar arasındadır. Bu nedenle **yarı iletken** olarak adlandırılırlar. Saf silisyum içine az miktarda V.grup elementi olan bir madde katılırsa, içinde serbest elektronların hareket ettiği ve **N tipi** olarak adlandırılan bir **iletken**, III.grup elementi olan bir madde katıldığında ise elektron eksikliği nedeniyle pozitif yüklü davranan oyukların yerleştirildiği ve **P tipi** olarak adlandırılan **iletken** ortam elde edilir.

- V.grup elemente örnek : N (Azot), P (Fosfor), As (Arsenik)

- III.grup elemente örnek : B (Bor), Al (Alüminyum), Tl (Taliyum)

Bu iki tip kristalin birleştirilmesiyle oluşturulmuş sisteme **kristal diyot** denir. İki P tipi kristalin arasına ince bir N tipi kristal yapıştırılması ile **PNP tipi** transistör, N tipi iki kristal arasına ince bir P tipi kristal yapıştırılması ile **NPN tipi** transistör elde edilir. Yapıları ve devre sinyalleri gösterilen transistörlerin üç bağlantı ucu **C (toplaç, collector)**, **B (taban, base)**, **E (salgıç, emitter)** olarak adlandırılır. Transistörlerden B yoluyla geçen akımda çok düşük bir değişme, toplaç – salgıç (C – E) yolundan geçen ana akımda çok büyük bir değişikliğe neden olur. Böylece çok düşük akım değişiklikleri yükseltilmiş olur (amplifikasyon).

YANIT GÖSTERİCİ, GRAFİK ÇİZİCİ SİSTEMLER

Ölçü ve gözlem araçlarının en son basamağı olan yanıt gösterici, bir kalemin, bir gösterge iğnesinin ya da ışıklı bir izin yer değiştirmesi veya ölçüm sonucunu doğrudan sayısal (digital) olarak gösteren bir sistemdir. Yanıt göstericiler, çalışma ilkelerine göre veya frekans geçirim bantlarına göre sınıflandırılabilirler.

- Alçak frekans potansiyometrik kayıtçı (servorecorder)
- Orta frekans galvanometrik kayıtçı
- Ossiloskoplar

Alçak Frekans Potansiyometrik Kayıtçı (Servorecorder)

Çalışma frekansı aralığı en düşük (0 – 2 Hz, Frekans Hertz), mürekkepli kalemle kağıda çizen sistemlerdir. Çok ağır değişen biyoelektrik olaylar, sıcaklık değişimleri, spektrofotometre çıkışı gibi ancak düşük frekanslı olayların gözlenmesinde kullanılabilmelerine karşılık duyarlılıkları oldukça yüksektir. Fark amplifikatörü, potansiyometredeki V_0 geriliminden bölünerek bulunan bir gerilimle giriş gerilimini (emir sinyali) karşılaştırır. Fark varsa (hata sinyali), gerilimin işaretine göre motor bir yönde döner ve makaralı sistemlere bağlı kalemi hareket ettirir. Kalemin hareketi, potansiyometreden alınan geri besleme sinyali ile giriş sinyali eşitleninceye kadar sürer. Bu sırada kalem, sabit hızla hareket eden bir kağıt üzerinde potansiyelin değişimini çizer. Giriş sinyali değişirse, kalem bu yeni emre uygun yeni bir konum almaya çalışır (Servomekanizma). Potansiyometrik otomatik kayıtçı şeması. Fark amplifikatörü giriş gerilimi ile geri besleme sinyalini karşılaştırır, fark varsa motoru döndürerek potansiyometreden gördüğü gerilimi (geri besleme) giriş gerilimine eşitlemeye çalışır

Orta Frekans Galvanometrik Kayıtçı

Doğrudan kağıda çizen 0 – 100 Hz arasında çalışan kayıtçılardır. Mürekkepli kalemle yazanları olduğu gibi ısıya duyarlı bir kağıt üzerine, akımın ısı etkisi ile yazan türleri de vardır. Şekilde çok kullanılan, döner sargılı motor veya galvanometrik kayıtçı şeması görülmektedir. Kalemi hareket ettiren kolun dönme hareketi yapması nedeni ile değişim grafikleri dik koordinatlar yerine eğrisel koordinatlarda çizilir (a'da görüldüğü gibi). Dönme hareketini doğrusal harekete dönüştürmek de mümkündür. Örneğin ısıtıcılı kayıtçılarda kağıt eğrinin çizildiği yerden aniden bükülerek yazdırıcı uç her tarafı yazacak şekilde uzatılır. Çizimler böylece dik koordinatlara aktarılmış olur (b'de görüldüğü gibi). EKG

cihazları bu türdendir. Aynı zaman eksenini üzerinde 2, 3, 4, 8, 16 kanaldan kayıt yapabilen kayıtçılar geliştirilmiştir. Bunlara genel olarak **poligraf** denir

OSSİLOSKOPLAR

Gerilimler yatay ve düşey saptırıcılara uygulanmadan önce osiloskobun içinde bulunan amplifikatörlerde yükseltilir. Oldukça yüksek frekanslara kadar yanıt verebilen elektriksel ölçü ve gözlem araçlarıdır. Osiloskobun en önemli parçası katot ışınları tüpüdür (CRT). Havası boşaltılmış olan bir tüpün arkasında, silindirik yapıda, elektron salan katot elemanı vardır. Oksit kaplı nikelden yapılan katot, içindeki fitilden akım geçirilerek dolaylı olarak ısıtılır ve elektron salar. İvmelendirme halkalarına doğru hızlandırılan elektronlar, elektron merceği görevi gören halka elektrotlar arasından geçerken ince bir demet haline getirilir. katodun önünde bulunan kontrol akfesine uygulanan bir gerilimin değiştirilmesi ile kafesi birim zamanda geçen elektron sayısı kontrol edilebilir. Bu işlem **demet modülasyonu** olarak tanımlanır. Bu işlem ekrana zaman bilgisi aktarılmasında, televizyon ve bilgisayar ekranlarında görüntü oluşturulmasında önemlidir. İnce demet haline getirilen elektronlar, lüminesans bir ekran üzerine düşürülünce ışıklı bir iz oluşur. elektron demeti yatay saptırıcı (X – X') levhalar arasından geçerken, ekran üzerindeki ışıklı iz yatay değişmeye uğrar. Düşey saptırıcılara uygulanan gerilimin etkisiyle de ışıklı iz düşey doğrultuda yer değiştirir. Bir osiloskobun düşey saptırıcılarına tam periyodik bir gerilim uygulanmış olsun. Osiloskobun yatay zaman tabanını oluşturan testere dişli gerilimin periyodunu değiştirerek, düşeye uygulanan gerilim periyoduna eşitlediğimizde (senkronlama), ışıklı iz her bir taramada aynı eğriyi çizer. Bir gerilimin zaman değişim grafiğini çizdirmek için, yatay saptırıcılara testere dişi olarak adlandırılan ve osiloskobun ürettiği bir gerilim uygulanır. Böyle bir gerilimin bir periyodu için, yatay değiştirme zamanla doğru orantılı olur. Gerilimin bir periyodu bitince ışıklı iz başa dönerek taramayı yeniler. Testere dişli gerilim periyodu düşey gerilim periyodunun iki katına eşitse iki periyotluk bir eğri görülür. Osiloskoplar aracılığıyla tam periyodik sinyallerin frekanslarını, aynı frekanslı iki sinyalin fazını karşılaştırmak, iletim hızının tayininde olduğu gibi, sinyaller arasındaki çok küçük zaman aralıklarını ölçmek mümkündür.

DOĞRULUK VE HATA KAYNAKLARI

Ölçme işlemi sırasında birçok faktör doğru ölçüm yapılmasını engeller. Ölçmenin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için hata kaynaklarını bilmek ve etkilerini azaltmak gerekir. Hata kaynakları, ölçme işlemi ve ölçü aracı dikkate alınarak, araç hataları ve ölçüm hataları olmak üzere iki farklı şekilde gruplandırılır.

ARAÇ HATALARI

- **Mekanizma hataları.** Aracın mekanizması ile ilgili bir arıza nedeniyle araç davranışının kısmen veya tamamen bozulmasından kaynaklanan hatalardır.
- **Ölçek hataları.** Ölçek ayarının bozuk olmasından kaynaklanan hatalardır.
- **Okuma hataları.** Ölçme, gösterge iğnesi ve gözün aynı doğru üzerinde olmamasından kaynaklanan hatalardır.

- **Çevre hataları.** Aracın dış çevresindeki; sıcaklık, nem, basınç, elektromagnetik alan gibi etkenlerden kaynaklanan hatalardır. Çevrenin istenmedik etkilerine genel olarak **gürültü** denir.
- **Dinamik hatalar.** Etki ve yanıtın zamanla değişim düzenlerinin uyumlu olmamasından kaynaklanan hatalardır.

ÖLÇÜM HATALARI

- **Rasgele ölçüm hataları.** Biyolojik sitemden kaynaklanan, araçla ilişkisi olmayan hatalardır.
- **Sistemik veya kusurluluk hataları.** Ölçek ayarının kusurlu olması, sıfır kayması gibi nedenlerle ortaya çıkan ve standart büyüklüklerin ölçülmesiyle saptanan hatalardır.

GÜRÜLTÜ VE GİDERİLME YOLLARI

Gürültü giderme amacıyla elektronik filtreler kullanılır. Gözlem aracının iletken bağlantı yolları ve incelenecek sistem istenmeyen pek çok elektromagnetik etki altındadır. Gürültü, 50 Hz frekanslı şebeke geriliminden kaynaklanan sabit frekans veya beyaz gürültü olarak adlandırılan çok değişik frekans bileşenlerini içerebilir. İyi bir ölçüm ve gözlem işleminde, gürültü genliğinin sinyal genlerine göre küçük kalması istenir. Bu ölçüm için **sinyal / gürültü ≥ 10** ise uygun kabul edilir.

Biyoelektrik gözlemler yapılırken gürültüyü azaltmak için gerekli önlemler;

- Hastayı veya deneği bir yerinden topraklamak.
- Sinyal taşıyan aktif tellerin elektromagnetik olarak yalıtılması. Bunun için tellerin dışı önce yalıtkan bir madde ile, yalıtkanın dışı da ince iletken telden örgülerle magnetik olarak perdelenir.
- Biyoelektrik sinyaller elektrotlardan gözlem aracına iletilirken bağlantı telleri kısa tutulmalıdır. Uzun teller gürültüyü artırır. Uzun bağlantı zorunlu ise amplifikasyon işleminin ilk aşamaları ön amplifikatör (preamplifikatör) adı verilen sistemle hemen elektrotların arkasından yapılır. Ön amplifikasyon işlemi ile sinyal / gürültü oranı iyileştirilir.
- Aynı fazlı gürültüler fark amplifikatörü kullanılarak azaltılır.
- Sinyali tekrarlama olanağı varsa, ortalama olarak sinyal / gürültü oranı artırılabilir.

FİZYOLOJİK SİNYALLERİN FREKANS İÇERİKLERİ VE SÜZGEÇLER

Bir gözlem aracının frekans geçirim bandı, incelenen sinyalin içerdiği tüm frekans bileşenlerini içermiyorsa sinyali bozar. Bu nedenle, gürültüsüz ortamda ideal bir amplifikatör veya gözlem aracı çok yüksek frekanslara kadar duyarlı olan sıfırıncı dereceden bir araç olmalıdır. Gürültülü bir ortamda tüm gürültü sinyallerini geçiren bir gözlem aracı uygun değildir. En uygun gözlem aracı, bilgi taşıyan sinyal içindeki tüm frekans bileşenlerini iyi geçiren, bu aralığın dışında kalanları ise yasaklayan bir sistem olmalıdır. Frekans bandını sınırlamak için kullanılan elektronik sistemlere **süzgeç (filtre)** denir.

Değişik düzenlemelerde belirli bir frekans aralığını geçiren, çok dar bir frekans bandını geçiren veya yasaklayan süzgeçler yapılabilir.

Elektrik Akımının Biyolojik Etkileri

Elektrofizyolojik deneylerde, kontrol ve ayarlama kolaylıkları nedeniyle elektriksel uyarılar tercih edilir. Ayrıca, teşhis ve sağaltıma yönelik bir çok amaçla, insan vücuduna elektrik akımı uygulanabilmektedir. Elektrik akımının biyolojik materyal üzerinde ısı, elektrokimyasal ve uyarıcı etkileri vardır. Herhangi bir uygulamada akımın bir etkisinden yararlanırken, diğer muhtemel etkilerini de bilmek ve bunları en aza indirici önlemleri almak gerekir. Vücut ve dokular bir hacim iletkeni olduklarından, akımın yerel etkileri yerel akım yoğunluklarına bağlıdır. Akım uygulamalarında elektrotların biçim ve konumları önemlidir. Aynı akım, farklı elektrot biçim ve konumlanımı ile uygulanırsa, yerel akım yoğunlukları ve dolayısıyla da etkileri değişebilir.

BİYOELEKTRİK UYGULAMA ARAÇLARI

Elektrik akımının biyolojik ortamlardaki etkileri akım, akım yoğunluğuna ve zamanla değişim biçimine bağlıdır. Elektronik sistemler farklı türlerden elektriksel gerilimler üretebilmektedir. Bu sistemler ürettikleri gerilimlerin biçimlerine göre özel adlar alırlar.

- **Güç kaynakları.** Şebeke gerilimini alıp istenen düzeyde, zamanla değişmeyen elektriksel gerilim (veya akım) vere sistemlerdir. Doğru akımın etkisi gerilim veya akımın büyüklüğüne bağlıdır.
- **Ossilatörler.** Genişliği ve frekansı değiştirilebilen sinüzoidal biçimli akım üreten araçlardır. Etkileri akımın genlik ve frekansına bağlıdır.
- **Puls jeneratörleri veya stimülatörler.** Ayarlanabilen genlik, frekansı ve puls sürelerine sahip akım veya gerilim üreten sistemlerdir. elektrofizyoloji ve nörolojide dokuları uyarmak için bu tür araçlar kullanılır. Bir süre puls üretilir, bir süre susar ve tekrar başlar. Pulstrenleri olarak adlandırılır.
- **Fonksiyon jeneratörleri.** Sinüzoidal, kare, üçgen şekilli farklı zaman desenlerine sahip gerilimler üretebilen sistemlerdir. Fonksiyon jeneratörünün oluşturduğu kare ve üçgen biçimli gerilimler.

BİYOELEKTRİK UYGULAMALAR

- **İyontoforez.** Elektrik akımı etkisinde yüklü taneciklerin dokuya sokulmasına iyontoforez denir.
- **Sinir ve kas dokularının elektriksel uyarılması.** Sinir ve kas dokularına, aksiyon potansiyelini başlatmak veya bloke etmek, özel kas gruplarının kasılmasını sağlamak amacıyla elektrik akımı uygulanır.
- **Ağrı giderimi için elektrik uygulanması, Tens.** Kronik ağrıların giderilmesi amacıyla çevresel (periferel) ve merkezi sinir sistemine (MSS) elektrik akımı uygulanır. Çevresel sinirlerin bu

amaçla uyarılması yöntemine **transcutaneous electrical neural stimulation** sözcüklerinin baş harflerinin kısaltılması ile **TENS** adı verilir. TENS'in ağrı giderme mekanizması "kapı kontrol teorisi" ile açıklanır. Teoriye göre; ince liflerle taşınan ağrı bilgisi, omurilik ve beyin sapının değişik düzeylerinde, diğer liflerle gelen bilgilerle bir araya getirilir. Diğer lifler uyarıldıklarında, ağrı iletimi ile ilgili kapı kapanarak ağrının üst merkezlere iletilmesi engellenir. Bunu sağlayabilmek için TENS uygulamalarında akım, kalın lifleri uyaracak ancak ince telleri uyarılmayacak şekilde seçilir. TENS akım parametreleri, puls genliği 0 – 150 V (25 – 60 mA), puls genişliği 50 – 300 ms, puls frekansı 10 – 200 Hz arasında olmalıdır. Tens'den başka, akupunktur iğnelerine elektriksel uyarılar uygulanarak ağrı giderilmesine çalışılır.

- **Merkezi sinir sisteminin elektriksel stimülasyonu.** Epilepsi, beyin felci gibi MSS ile ilgili birçok motor bozuklukta, beyin kabuğuna 2 – 10 arasında küçük elektrotlar yerleştirilerek korteks elektriksel yolla uyarılabilir. 10 – 50 Hz arasında akım üreten pilli güç kaynağı vücut dışında hasta tarafından taşınır.
- **Fonksiyonel elektrik stimülasyonu.** Kaybedilen nörolojik bir işlevin yerini alabilecek bir araca nöral protez, bu amaçla elektrik uygulamalarına fonksiyonel elektrik stimülasyonu (FES) denir. Örneğin bazı beyin ve omurilik rahatsızlıklarına bağlı yürüme zorluklarında, yukarı kaldırılan ayak havada kalmadan yere düşer. Böyle bir düşmeyi engellemek için topuğun iç tabanına yerleştirilen bir elektrik anahtarı ile kontrol edilen elektriksel stimülatörden yararlanılmaktadır. Bacak yukarı kaldırılmaya başladığında anahtar bundan bilgi almakta, ayak yere tekrar değinceye kadar, ayağı açık tutan kasların kasılmasını sağlamak için stimülatör çalıştırılmaktadır.
- **Elektronarkoz.** Kafatasından değişik biçimlerde elektrik akımı geçirilerek anestezi ve/veya uyku durumu sağlanmaya çalışılır. Bu amaç için 20 – 10000 Hz (birim zamandaki titreşim sayısı) arasında sinüzoidal akımlar kullanılır. Ancak mekanizması tam olarak bilinmemektedir.
- **Defibrilatörler.** Bazı kazalar veya organik bozukluklar sonucu, kalpte ritim bozuklukları ve rasgele uyarı yayılmaları ile karşılaşılır. Bu durumda kulakçık ve karıncık duvarlarının düzensiz olarak 300 – 600 kez değişen titreşimlerden kaynaklanan ve **fibrilasyon** adı verilen ritim bozukluğu oluşur. kalbin pompa işlevini gerçekleştirmediği bu durum ölümle sonuçlanabilir. Ventriküler fibrilasyonu normal ritme dönüştürmek için kullanılan elektrikli cihazlara **defibrilatör** denir. Defibrilatörler, geniş yüzeyli, tuzlu su emdirilmiş ve doğrudan göğse uygulanan elektrotlarla, 5000 V elektriksel enerjinin depolandığı bir kaynaktan oluşur.
- **Elektronik pacemaker.** Kalpte, doğal impuls oluşturucu (pacemaker) odağın kayması veya iletim sistemindeki bozukluk nedeniyle ritim düzensizlikleri olabilir. Ritim bozukluklarında elektronik pacemakerler kullanılarak kalp normal ritimde çalıştırılabilir.
- **Kısa dalga diyatermi.** Tıpta elektrik akımının ısıtıcı etkisinden yararlanılmasıdır. Fizik tedavide kullanılır. Vücuttan geçirilen 10 mHz'in üzerindeki frekanslarda akım sinir ve kas dokuda uyarı oluşturmaz. Bu özelliği nedeni ile vücudu derinliğine ısıtmada yüksek frekanslı akımlardan yararlanır.
- **Elektrocerrahi.** Cerrahide elektrik akımının ısı etkisinden faydalanılır. Yüksek frekanslı akımlar sivri uçlu bir metal aracılığı ile dokuya uygulandığında lokal kesme yapılabilir. akımın ısı etkisi

ile pıhtılaşma da sağlandığından, kanamanın riskli olduğu operasyonlarda tercih edilir. Bu amaçla yapılmış sistemlere **elektrokoter** adı verilir.

- **Elektrik çarpması ve elektrik güvenliği.** Bağlantı bozukluğundan veya prizin topraklı olmamasından kaynaklanan çarpmalar tehlikeli sonuçlar oluşturabilir. Elektrik akımı etkisiyle oluşan şiddetli kasılmalar kontrol kaybına ve kendimizi akımın etkisinden kurtarmamıza engel olur.

KAYNAK

- PEHLİVANLI, F. (2004) *Biyofizik*, Hacettepe-Taş Kitapçılık.