

Biyopotansiyeller ve Ölçüm Cihazları

The Biopotentials and Measuring Devices

Mustafa Güven

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, ADANA

Arşiv Kaynak Tarama Dergisi (Archives Medical Review Journal) 2012; 21(3):174-188

ABSTRACT

Many organs in the human body, produces many different types of the electric activity, such as the muscle groups, heart, brain and eyes. These electric activities are also called biopotentials. Measurement of the biopotentials from the human body can indicated vital clues as to normal or pathological functions of the organs. Biopotential signals are small in amplitude and consists of very low frequencies. Therefore, the signals need to be amplified and filtered to make them compatible with devices such as displays, recorders, or analog to digital converters for computerized equipment. In addition, biopotential measurements are corrupted by environmental and biological sources of interference. Amplifiers and filters adequate to measure these signals have to satisfy very specific requirements. This study reviews the origins, acquisition of biopotentials, and design of the medical instruments used in biopotential measurement.

Key Words: Biopotentials, measuring devices

ÖZET

İnsan vücudundaki kas grupları, kalp, beyin ve gözler gibi bazı organlar işlevleri sırasında elektriksel aktivite üretmektedirler. Bu elektriksel aktiviteler aynı zamanda biyopotansiyeller olarak da adlandırılmaktadır. İnsan vücudundaki biyopotansiyel ölçümleri organların normal ya da patolojik fonksiyonları konusunda hayati ipuçlarına işaret edebilmektedirler. Biyopotansiyeller küçük genlikli ve düşük frekanslı sinyallerdir. Bu nedenle, biyopotansiyeller sinyal göstericiler, çiziciler veya analog-dijital dönüştürücüler kullanan bilgisayarlı sistemlere uyum sağlamaları için öncelikle kuvvetlendirilmekte ve filtre edilmektedir. Bunlara ek olarak biyopotansiyel ölçümler çevreden ve biyolojik kaynaklardan gelen etkilerle bozulabilmektedir. Amplifikatörler ve filtreler bu sinyallerin doğru olarak ölçülmesi için özel gereksinimlere göre uygun hale getirilmelidir. Bu çalışmada, biyopotansiyellerin kaynakları, kayıtlanması ve biyopotansiyellerin ölçümlerinde kullanılan medikal cihazların yapısı incelenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Biyopotansiyeller, ölçüm cihazları

Giriş

İnsan kaynaklı biyoelektrik potansiyellerin ölçülmesi yaklaşık bir yüzyıldan önceye dayanmaktadır. Bu potansiyellerin tıbbi amaçlarla kullanılması ise 1900 yıllarından sonra olmuştur. İnsanda ilk Elektrokardiyografi (EKG) denemesi 1887 de yapılmış olsa da, ancak 1902 de Willem Einthoven'in kullanılabilir doğrulukta EKG cihazını yapması ile kalbin elektriksel aktivitesi kayıtlanabilmiştir (Şek.1). Willem Einthoven'in Elektrokardiyografi cihazı 270 kg'lık bir ağırlığa sahipti ve 5 kişi tarafından çalıştırılması gerekiyordu. Elektrokardiyografi üzerindeki çalışmaları nedeniyle 1924 de Nobel tıp ödülü alan Einthoven'in hesaplamaları ve kendi adı ile anılan Einthoven üçgeni bugün de geçerliliğini korumaktadır¹. Elektrotlardan aldığı potansiyeli kuvvetlendiren ve bugünkü cihazların atası olan vakum lambalı ilk EKG cihazı ise 1928 yılında Ernestine ve Levine tarafından yapılmış, cihazın ağırlığı da 25 kg'a düşürülmüştür. Daha sonraları 1950 lerde transistörlü ilk biyopotansiyel ölçüm cihazlarının yapılışından bu yana bu tür cihazların temel yapısı pek az değişmiştir. Ancak uzun yıllar tümüyle analog devre elemanlarından yapılan bu cihazlar son yıllarda dijital teknolojinin kullanılması ile değişime uğramış olup hem donanım hem de yazılım olarak ilk cihazlara artık pek benzememektedir. O zamanlardan bu yana sadece kalbin elektriksel aktivitesi değil diğer organlardan kaynaklanan biyoelektrik potansiyellerin özellikleri araştırılmış ve daha iyi anlaşılmıştır. Teknolojik gelişmelerin desteği ile cihazların daha duyarlı ve kullanışlı hale gelmesiyle de sadece EKG değil, Elektroensefalografi (EEG), Elektromiyografi (EMG), Elektrokülogram (EOG) gibi sıklıkla kullanılan biyoelektrik temelli yöntemler, bugün bazı hastalıkların tanısı için tıp alanında başvurulan önemli yöntemler olmuştur².

Sadece insan değil tüm biyolojik varlıkların yaşamsal aktiviteleri sırasında elektrik ürettiği bilinmektedir. Bu elektrik kısaca biyoelektrik ya da biyopotansiyel olarak tanımlanabilmektedir ve sinir, kas vb. hücrelerin elektrokimyasal aktiviteleri sonucu ortaya çıkmaktadır³. Bilindiği üzere hücre zarının her iki tarafında bulunan sıvıda farklı konsantrasyonlarda Na^+ , K^+ , Cl^- gibi iyonlar bulunmaktadır. Bu konsantrasyon farkları biyopotansiyellerin

temelini oluşturmaktadır ve -60 mV ile -90 mV arasında *dinlenme zar potansiyeli* de denilen bir potansiyel farkı oluşturur^{1,4}. Bu potansiyel farkının korunması canlı için yaşamsal önem taşır ve farkın korunması için çeşitli mekanizmalar kullanılır. Ancak kas ve sinir gibi uyarılabilir hücrelerde dokunun işlevi gereği dinlenme zar potansiyeli bazen değişir. Bu durum *aksiyon potansiyeli* de denilen +30 ile +50 mV a kadar yükselebilen kısa süreli potansiyel değişikliklerine neden olur⁴. Kasların kasılmasında ve sinirlerde bilgi akışı ve işlenmesinde temel rol oynayan aksiyon potansiyelleri olmadan yaşam düşünülemez. Kalp, kaslar ve beyin gibi benzer işlevdeki uyarılabilir hücrelerin birlikte aktivasyonu sonucu hücre dışına ulaşan elektrik alanları tüm dokuya oradan tüm vücuda yayılır ve cilt üzerinden duyarlı cihazlarla ölçülebilir. Deri üzerine yapıştırılan yüzeysel elektrotlarla veya doku içerisine batırılan iğne elektrotlarla bu elektrik potansiyellerinin ölçülmesi, değerli tanı yöntemleri olan EKG, EEG ve EMG'nin temelini oluşturmaktadır. Bu çalışmada insandaki biyoelektrik olayların temeli ve ölçülmesinde kullanılan cihazların genel yapısı kısaca incelenmektedir.

Biyopotansiyeller Nasıl Oluşur?

İnsan vücudunda bulunan milyarlarca hücre aslında K^+ , Na^+ ve Cl^- gibi iyonların bulunduğu bir sıvı içerisinde yüzer. Hücre zarında bulunan açılıp kapanabilen iyon kanalları, biyokimyasal pompalar, çeşitli maddelere duyarlı reseptör ve enzim sistemleri sayesinde hücre zarı partiküllere karşı seçici geçirgen davranır. Bu nedenle bir kısım iyonlar ve partiküller hücre dışında fazla olarak bulunurken, bir kısmı da hücre içerisinde yoğunlaşmıştır. İyonların hücre içi ve dışı sıvıdaki yoğunluk farklılıkları hücre zarının iki tarafı arasında potansiyel farkı oluşmasına neden olur⁵. Elektrokimyasal ilkeler doğrultusunda oluşan bu potansiyel, biyopotansiyellerin ya da biyoelektriğin temelini oluşturmaktadır. Tablo.1 de bir memeli hücresinde hücre içi ve dışındaki iyonların konsantrasyonları ve iyonların denge potansiyelleri görülmektedir⁴. Hücre içi ve hücre dışı arasındaki potansiyel farkının oluşumu pasif ve aktif olarak parçacık taşınması ile mümkün olabilmektedir. Ancak bu potansiyelin

kararlı bir şekilde sabit tutulması da önemlidir. Bunun için hücrenin aktif ve pasif kaynakları kullanılır ve potansiyel sabit tutulur. Hücre içi ve dışı arasındaki potansiyel farkı değişmeden sabit tutulduğunda *dinlenim zar potansiyeli* adı verilen kararlı bir potansiyel oluşmaktadır. Dinlenim zar potansiyeli her hücre türü için biraz farklı olabilirse de genellikle -70 mV ile -90 mV arasındadır^{1,4}. Hiç şüphesiz dinlenim zar potansiyelinin sürdürülmesinde en önemli görev aktif Sodyum-Potasyum pompasına düşer. Çünkü uyarılabilir hücreler adı verilen kas, sinir gibi bazı hücrelerde bazen dinlenim zar potansiyeli hızla değişerek +50 mV a kadar yükselebilmektedir. Kas, sinir gibi hücrelere ait *aksiyon potansiyeli* adı verilen ve 1-400 ms kadar sürebilen bu özel durumda hücre içine bol miktarda sinirlerde Na⁺ veya kaslarda Ca⁺² girişi olur. Hücre içinin pozitif değerdeki bu potansiyeli sürdürülemez ve hızlı kinetikli voltaj kapılı K⁺ kanallarının katkılarıyla derhal düşürülür. Diğer yandan hem dinlenim zar potansiyelinin sürdürülmesi aktif bir iştir ve Sodyum-Potasyum pompası da bu aşamada aktif iş yapar. Dinlenim zar potansiyelindeki kısa süreli bu elektriksel dalgalanma dokunun özelliğine göre saniyede 1 ile 200 kez tekrarlanabilmektedir ve bu dalgalanma tüm hücre boyunca yayılmaktadır. Böylece dipten tepeye genliği 100 mV ve frekansı da 1- 200 Hz arasında olabilen bir biyoelektrik "sinyal" oluşmaktadır⁶. Ancak bu sinyalin karakteri her dokunun işlevine göre değişir. Vücutta hücreler diğer hücre ve dokular ile işbirliği ile çalıştıklarından patolojik durumlar hariç, genellikle diğer hücrelerden gelen elektriksel ya da kimyasal uyarılar ile çalışmayı sürdürürler. Örneğin kalp hücreleri sino-atriyal odaktan gelen ritim uyarıları ile uyumlu olarak yaklaşık 1 Hz civarında kasılırken, bir kas ve sinir gurubu 50 Hz civarında çalışabilir. İlgili tüm hücrelerin oluşturduğu doku gruplarının çalışmasından kaynaklanan elektrik alanları kaynak dokudan uzaklaştıkça şiddetleri azalsa da vücudun başka bölgelerinden ölçülebilmektedir⁷. Ancak, biyopotansiyelin kaynaklandığı hücrelerin elektrik alanlarının bir tür toplam oluşturduğunu ve kaynak dokudan uzaklaştıkça da başka doku gruplarının elektriksel aktivitelerinin de bu toplama ek yaptığı dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, ölçülen biyosinyalin niteliği hedef dokuya

uzaklığı oranında değişime uğramakta ve orijinalliği bozulmaktadır. Buna rağmen dokulardan kaynaklanan sinyaller, dokunun sağlıklılığı ve işlevleri hakkında çok değerli bilgiler verdiği için, bundan sonraki bölümde kısaca değinilecek olan EKG, EEG, EMG gibi tanı yöntemleri yaklaşık bir yüzyıldır sağlık alanında kullanılmaktadır.

Tablo.1. Memelilerde hücre içi ve dışında Na⁺, K⁺, Cl⁻ ve Ca²⁺ konsantrasyonları ve tek iyon için denge potansiyelleri⁴.

İyon	Hücre Dışı (mM)	Hücre İçi (mM)	Denge Potansiyeli (mV)
Na ⁺	145	12	+66
K ⁺	4.1	150	-96
Cl ⁻	118	3,9	-90
Ca ²⁺	1,5	10 ⁻⁴	+129
Kararlı durum potansiyeli			-90 mV

Biyopotansiyellerin Özellikleri

Biyopotansiyeller kaynaklandıkları doku ve organlara göre farklılıklar gösterebilirler de genellikle düşük genlikli (10 µV- 10 mV) ve düşük frekanslı (dc-200 Hz) olmaları gibi ortak sinyal özellikleri vardır⁷. Bu sinyalleri klinik amaçlar doğrultusunda elde etmek için özelleşmiş elektrotlar ve elektronik sistemler kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılan sistem genellikle hedef organın ismi ile adlandırılırlar (Elektrokardiyografi, Elektroensefalografi gibi). Çok küçük genlikte olan bu potansiyellerin ölçülmesinde sırayla, elektrotlar, amplifikatörler, sinyal uygunlaştırıcılar ve sinyal görüntüleme araçları kullanılır. Elektrot olarak genellikle dokulara zarar vermediği için deriye yapıştırılan yüzey elektrotları yaygın olarak kullanılır (EEG, EKG, EMG). Bazen daha yerel ölçümler yapmak için iğne elektrot kullanmak gerekmektedir. İğne elektrot tipi de dokulara en az zarar veren yöntemlerden biri olarak kabul

edilebilir. Ancak hangi elektrot tipi kullanılırsa kullanılsın ölçülen sinyallerin çok küçük olması nedeniyle her aşamada kayıt sorunları ile karşılaşılır. Deri iletkenliği, vücudun hareketi, elektrot gürültüsü, şehir şebekesinden kaynaklanan girişimler, elektromanyetik dalga etkileşimleri gibi sorunlar zaten küçük olan sinyalin kalitesini daha da bozar. Prensip olarak her dokudaki biyopotansiyelleri ölçmek mümkün olsa da günümüzde en sık olarak tanı amacıyla en çok EKG, EEG, EMG ve EOG kayıtları yapılmaktadır. Bu tekniklerle ölçülen biyopotansiyellerin özellikleri Tablo.2 de gösterilmektedir.

Tablo.2. Günümüzde kliniklerde en sık kullanılan biyopotansiyellerin genlikleri, frekansları ve kayıt elektrotlarının özellikleri^{2,7}.

Biyopotansiyel	Genlik (mV)	Frekans (Hz)	Elektrot malzemesi	Elektrot Tipi
Elektrokardiyografi (EKG)	1- 5	0,05-100	Ag-AgCl	Cilt elektrodu
Elektroensefalografi (EEG)	0,001-0,01 mV	0,5- 40	Altın, Ag-AgCl	Kafa cilt elektrodu
Elektromiyografi (EMG)	1- 10 mV	20- 2000	Gümüş, karbon ya da çelik	İğne elektrot
Elektrookülogram (EOG)	0,01- 0,1 mV	dc- 10	Ag-AgCl	Cilt elektrodu

EKG: EKG sinyalleri göğüs, kol ve bacağına yerleştirilen yüzey elektrotları ile ölçülebilirler. Bu yolla elde edilen sinyaller 1- 5 mV genliğindeki potansiyeller kalp kaslarının elektriksel aktivitesi hakkında değerli bilgiler içerir¹⁻⁴. Şekil 2B de klasik bir EKG sinyalinin bir kısmı görülmektedir. Genellikle bacak ve göğüs elektrotlarını içeren 12 kablolu EKG sistemi kullanılır. Kol ve bacaklardan elde edilen sinyaller I, II, III standart derivasyonları ile bu sinyalleri büyütülmüş bir şekli olan aVR, aVL ve aVF dir (Şek.3D). Ayrıca göğüste kalp üzerine dizilmiş 6 adet elektrot vardır. Bunlar

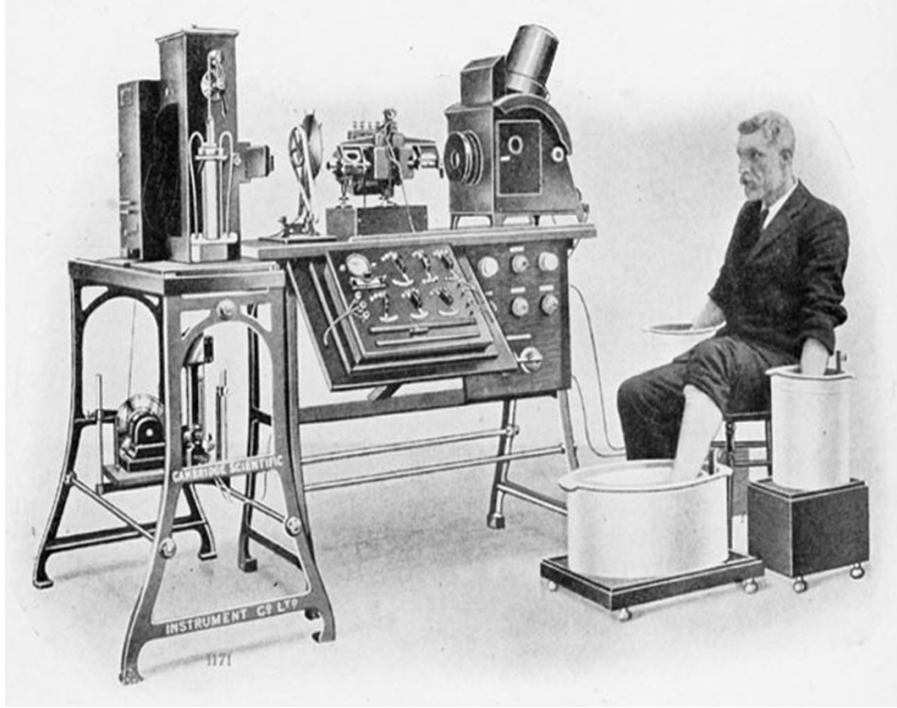
V1 ile V6 arasında numaralandırılır. 12 elektrot kullanılarak çekilmiş bir EKG'nin değerlendirilmesi ile kalbin elektriksel eksenindeki kayma, kalp kaslarındaki iskemi, infarktüs, blok vb. patolojik durumlar ve muhtemel yerleri saptanabilir. EKG sinyallerinin doğru kayıtlanabilmesi için genellikle Ag/AgCl kaplanmış elektrotlar ve elektrot ile cilt arasındaki direnci azaltmak için NaCl içeren jel kullanılır⁸. Bu tür cihazların elektrik güvenliği çok yüksek tutulmaktadır. Bu nedenle hastaya elektriksel olarak zarar verme ihtimalleri yok denecek kadar azdır. Diğer yandan EKG cihazları genellikle yoğun bakım üniteleri gibi kritik noktalarda da kullanılmaktadır. Defibrilatör türü cihazların ürettiği 5000 V kadar yüksek potansiyeller bu cihazları bozabilir². Bu nedenle biyopotansiyel ölçen cihazların girişlerine yüksek voltaj koruması konulur ve bu nedenle cihazın bozulması da zordur.

EEG: Beynin elektriksel aktivitesi sırasında ortaya çıkan biyopotansiyellerdir(Şek.2C). Milyarlarca nöronun birbirleriyle iletişiminin bir yansıması olan bu potansiyeller, 1-100 μ V genliğinde ve 0,5-50 Hz arasında sinyaller şeklinde kafa derisinin üzerindeki elektrotlar ile belirlenebilmektedir^{2,4}. EEG sinyalleri çok küçük sinyallerdir ve bu nedenle ölçülmesi sırasında çevreden kaynaklan elektriksel parazitlerin mümkün olduğunca engellenmesi gerekmektedir. Genellikle kafa üzerine belirli noktalara dizilmiş ve elektrot jeli sürülerek deri direnci azaltılmış 10-20 adet Altın kaplı yüzey elektrotları ile ölçülmektedir. Bu yöntemle herhangi bir elektrot kendisine en yakın sinyali en yüksek genlikte aktarırken, komşu elektrotlar ise aynı potansiyeli daha küçük genlikte EEG cihazına aktarmaktadır. Böylece EEG sinyallerinin elektrotların yerleşimine göre yerel haritalaması mümkün olabilmektedir^{6,7}. Örneğin epilepsi gibi anormal beyin aktivitesi durumlarında sorunun kaynaklandığı beyin bölgesine en yakın elektrotlarda epilepsiye özgü sinyaller görülürken uzak elektrotlarda daha düşük genlikte görülmektedir. Ayrıca, uyku, uyanıklık, koma, rüya hali gibi durumlarda EEG sinyallerinin baskın frekans ve dalga tipleri değişmektedir.

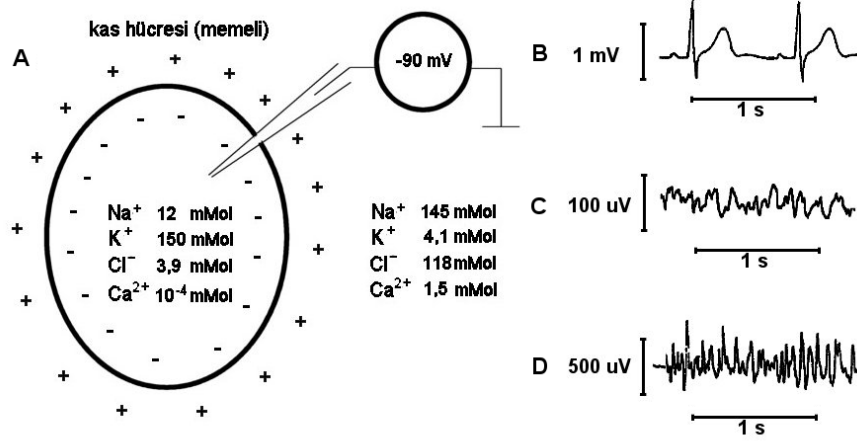
EMG: Kas lifleri kasılmaları sırasında biyoelektrik aktivite göstermektedir (Şek.2D). Bu aktivite kas grubuna yakın yerleştirilmiş iğne veya cilt elektrotları

ile belirlenebilmektedir⁹. EMG aktivitesi EKG ve EEG sinyallerinden daha yüksek frekanslı ve daha yüksek genlikli olarak ölçülebilmektedir. EMG özellikle nöromusküler hastalıkların tanısında çok başvurulan değerli bir tanı yöntemidir.

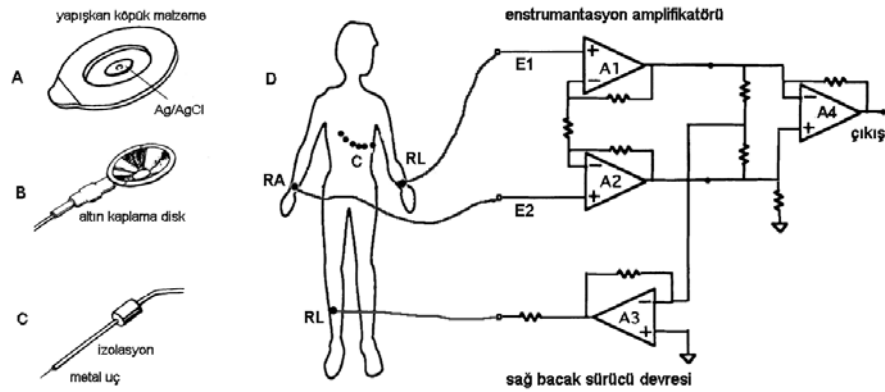
EOG: Göz kürelerinin hareketleri sırasında kornea ve retina arasında ortaya çıkan biyopotansiyellerdir. EOG potansiyeli aynı zamanda kornea-retina potansiyeli olarak da bilinmektedir. Bu sinyaller 10-100 μ V aralığında düşük genlikli ve dc-10 Hz arasında düşük frekanslı sinyallerdir⁷. Göz çevresine belirli noktalara yerleştirilmiş Ag/AgCl elektrotlar ile ölçülebilmektedir.



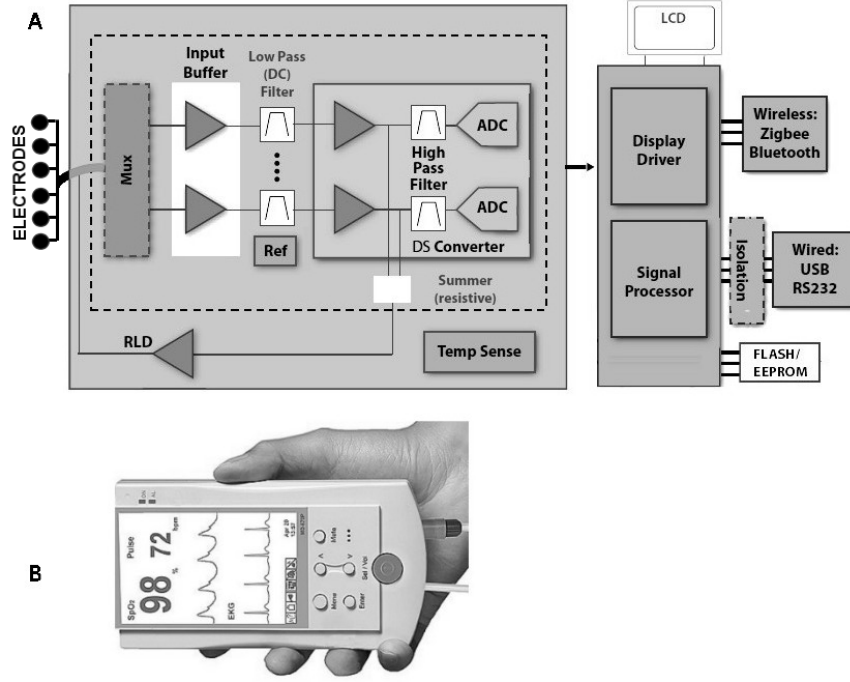
Şekil 1. Willem Einthoven tarafından yapılan ilk Elektrokardiyografi cihazı. Sağ el, sol el ve sol bacak tuzlu su dolu kovalar içinde tutulmakta ve Galvanometrik bir cihaz ile de Elektrokardiyogram yazdırılmaktadır. Bu cihaz 270 kg ağırlığında olup 5 kişi ile çalıştırılmaktadır. http://en.wikipedia.org/wiki/String_galvanometer



Şekil 2. Memeli kas hücresinde önemli iyonların konsantrasyonları (A). Elektrot jeli ve yüzey elektrotu kullanılarak deri yüzeyinden kayıtlanmış örnek Elektrokardiogram (B), Elektroensefalogram (C) ve Elektromiyogram (D).



Şekil 3. Biyopotansiyellerin ölçülmesinde sıkça kullanılan elektrot tipleri. Kullan-at tipi Ag/AgCl Elektrokardiyografi elektrodu (A). Elektroensefalografi ölçümlerinde kullanılan Altın kaplı elektrot (B). Elektromiyografi ölçümlerinde kullanılan iğne tipi elektrot (C). Enstrümantasyon amplifikatörünün temel devre şeması ve Elektrokardiyografi çekilmesi sırasında bu amplifikatörün vücut üzerine elektrotlarla bağlanması (D).



Şekil 4. Sekiz kanallı EKG, EEG ve EMG biyopotansiyel işleyicisinin donanım yapısının şematik görünümü (A) ve yeni teknolojiler kullanılarak yapılmış bir portatif EKG cihazı (B). Günümüzün biyopotansiyel ölçen araçları bir yüzyıl öncesinin aletleri ile aynı ilkeler ile çalışmaktadır. Ancak bugün hem yetenekleri artmış hem de çok küçültülerek yapay zeka algoritmaları ile güçlendirilmiştir.

Elektrotlar

Bilindiği üzere canlılarda oluşan elektriksel potansiyeller iyonik potansiyellerdir. Bu potansiyellerin ölçülebilmesi için iyonik potansiyelleri elektronik potansiyellere dönüştürmek gerekmektedir. Elektrotlar bu amaçla kullanılan bir tür çevirici olarak düşünülebilir². Biyopotansiyeller en yaygın olarak vücut yüzeyinden ölçülmektedir (örn EKG, EEG). Ancak bu durumda da pek çok hücrenin oluşturduğu potansiyellerin toplamı kayıtlanır. Eğer deri üzerinden yüzey elektrotlarıyla ölçüm yeterli bilgi vermiyorsa bu durumda iğne

elektrotlara başvurulmaktadır (örn: EMG). Elektrotlar şekil olarak farklı büyüklük ve şekillerde olabilirler. EKG için en sık Şekil. 3A da gösterilen yapışkan, kullan at Ag/AgCl elektrot tipi kullanılmaktadır. Ancak bunun yanında kol ve bacaklara bağlanan plaka tipi elektrotlar ve vakum etkisi ile yapışan Ag/AgCl kaplanmış elektrotlar da kullanılmaktadır. EEG kayıtlarında Şekil.3B de gösterilen elektrotlar yaygın olarak kullanılır. EMG için yüzey elektrotları kullanılsa da Şekil.3C de gösterilen iğne elektrotlar kliniklerde en çok tercih edilen elektrot tipidir. Bunların dışında organa göre özel tasarlanmış pek çok elektrot tipi bulunmaktadır.

Elektrotları şekli ne olursa olsun temel işlevi dokudaki potansiyeli elektronik sisteme en verimli şekilde aktarmaktır. Ancak burada kullanılacak elektrotun iyi iletken olmasının yanı sıra doku için toksik olmaması, zaman içerisinde bozulmaması gerekir. Elektrotlarda iletkenlik en önemli özellik değildir. İyi iletken olan metallerde bile bir süre doku temasından sonra elektrot potansiyeli denilen ek bir potansiyel ve kapasitif etkiler oluşabilmektedir. Bu nedenle günümüzde bu tür sorunları olmayan Ag/AgCl kaplı metaller veya sıkıştırılmış Ag/AgCl pelletler tercih edilmektedir. 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 halinde AgCl tabakasına girerken, dokudan gelen Cl^- iyonları ile karşılaşır, yeni AgCl üretilir. Böylece elektrot Cl^- iyonlarına tersinir davranmış olur. Böylece elektrot potansiyeli oluşmadan biyopotansiyeller elektronik sisteme aktarılabilir^{2,4}. Ag/AgCl elektrotların yanı sıra Altın kaplı elektrotlar çok kullanımlı EEG elektrotlarında tercih edilebilmektedir. Diğer yandan iletken polimer elektrotlar, platin, çelik gibi metal ve karbon elektrotlar da biyopotansiyellerin ölçülmesinde kullanılmaktadır.

Biyopotansiyel Amplifikatörleri Ve Filtreler

Biyopotansiyeller genellikle küçük genlikli, düşük frekanslı sinyallerdir ve bu sinyaller çok küçük olduğundan analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle

yükseltmeleri gerekir. Bu iş için amplifikatörler kullanılmalıdır. Ayrıca ortamdaki manyetik ve elektrik alanlarından, elektromanyetik alanlardan etkilenebildikleri gibi hedef doku dışındaki biyolojik kaynaklı sinyallerin karışması nedeniyle esas sinyal bozulabilmektedir. Bu nedenle biyopotansiyelleri uygun bir oranda yükseltecek, uygun bant aralığında filtreleyecek ve istenmeyen gürültüleri temizleyecek şekilde amplifikatör ve filtre sistemi seçilmelidir. Bu amplifikatörler yukarıda sayılan özelliklerinin yanı sıra kaynak sinyali etkilemeyecek giriş direncine, düşük gürültüye ve sıcaklık değişimlerine karşı kararlı olmalıdır. Bu amaçlar doğrultusunda düzenlenmiş amplifikatörler genellikle *enstrümantasyon amplifikatörleri* olarak adlandırılmaktadır¹¹.

Enstrümantasyon amplifikatörlerinin devre planlaması kullanım amacına (EKG, EMG, EEG, EOG) bağlı olarak değişebilmektedir. Ancak bu farklılık temelde sadece sinyal yükseltme oranı ve sinyal bant frekans genişliği ile ilgilidir. Tıbbi amaçlı iyi bir enstrümantasyon amplifikatörü kuralları tüm kayıt yöntemleri için geçerlidir. Elektrotlardan gelen sinyal ilk yükseltme yapıldıktan sonra bant geçiren filtrelerden geçirilir ve istenmeyen frekanstaki sinyaller azaltılırken istenilen frekans aralığı kuvvetlendirilir. Şehir şebekesinden gelen 50 Hz tüm medikal cihazlar için en önemli parazit kaynaklarından birisidir. Bunun için genellikle 50 Hz frekansını söndüren dar frekans bantlı filtreler kullanılır. Bu işlemlerden sonra sinyal istenilen oranlarda (genellikle bu 10-100- 1000 kat gibi) yükseltilir ve yazdırıcı ya da monitöre gönderilir.

Biyopotansiyel yükselten cihazların niteliklerini artırmak için zaman içerisinde devre planlarında pek çok iyileştirmeler yapılmıştır. Bunlardan parazit azaltıcı teknikler ve elektrik yalıtımı en önemli iyileştirmelerdendir. Olası arızalarda hastanın şehir şebekesinden kaynaklanan elektrik akımına maruz kalmaması en önemli güvenlik konusudur. Bu nedenle bu tür cihazların elektriksel olarak hastadan izole edilmeleri gereklidir. Bu yalıtım, modülasyon transformatörleri veya optik sinyal aktarımı yapan elektronik devre elemanları tarafından yapılmaktadır¹¹. Böylece cihazın amplifikatör ile ilgili kısmı batarya ile beslenirken güç gerektiren diğer kısımları şehir şebekesiyle

beslenebilmektedir. Bu iki kısım arasında aktarım belirtildiği şekilde yalıtılmaktadır.

Modern Cihazlar

Biyopotansiyellerin tıbbi amaçlı kullanımı 100 yıllık geçmişi boyunca teknolojinin sunduğu yeni araçlar ile desteklenmiştir. Günümüzde kullanılan bu tür cihazların artık sadece amplifikasyon kısmı analog bir yapıdadır. Geri kalan kısımları bilgisayar teknolojisi ile yapılmış dijital donanım ve yazılımdan oluşmaktadır. Bu cihazlarda ilk sinyal güçlendirilmesinden sonra analog dijital çeviricilerle sinyal dijital hale çevrilmekte filtreleme, sinyal uygunlaştırma, sinyallerin analizi ve gösterilmesi tümüyle mikroişlemciler ve yazılım ile yürütülmektedir. Eskiden analog filtreler kullanılarak istenmeyen parazit ve diğer karışımların engellenmesine çalışılsa da, günümüzde bilgisayar yazılımları ile çok daha etkin bir şekilde bu karışımlar temizlenebilmekte ve hedef bilgiye daha doğru ulaşmak mümkün olabilmektedir. Böylece analog sistemlerden kaynaklanan hata oranlarını azaltılmış, daha doğru, daha küçük ve taşınabilir, uygulama çeşitliliği daha artmış cihazların sağlık sektöründe kullanılmasını sağlamıştır. Bu gelişmelerin belki de en önemlisi sinyal işleme algoritmalarının sunduğu tanı analizleridir. Biyoelektrik sinyallerin taşıdığı bilgi, hedef doku dışındaki başka dokulardan gelen sinyallerin karışması nedeniyle her zaman karışıktır ve istenmeyen karışımların temizlenmesi gerekir. Bu işlemi sinyal işleme algoritmaları yazılımsal olarak mükemmel şekilde yapmakta sinyalin taşıdığı bilgi ortaya çıkarılarak sağlık çalışanına muhtemel tanı konusunda uyarıda bulunmaktadır. 2010 yılında piyasaya sürülmüş olan ve tek silikon yonga içerisine yerleştirilmiş 8 kanal biyopotansiyel amplifikatör ve analog dijital çevirici modülün içyapısı şematik olarak Şekil 4A da gösterilmektedir. Bu tür elektronik tümleştirilmiş devreler verileri depolayabilen, bilgisayara bağlanabilen, verileri internet ortamına aktarabilen, LCD ekranda gösterebilen, cep telefonu büyüklüğünde komple sistemlerin yapılabilmesine olanak tanımıştır¹².

Sonuç

İnsan vücudundaki tüm hücreler buldukları dokuya özgü faaliyetleri sırasında biyoelektrik olarak tanımlayabileceğimiz iyonik temelli elektrik üretirler. Özellikle uyarılabilir dokulardan tüm vücuda yayılan elektrik alanları cilt üzerine genellikle düşük potansiyelli ve düşük frekanslı sinyaller şeklinde ulaşır. Bu biyoelektrik sinyallerin incelenmesi ile hedef dokunun sağlamlığı hakkında bilgi edinmek mümkündür. EKG, halen kalbin elektriksel özelliklerini belirlemek için tüm hekimler için ve özellikle kardiyologlar için vazgeçilmez bir tanı aracı olarak önemini korumaktadır. Benzer şekilde EEG beynin, EMG de kas ve sinirlerin elektriksel faaliyetlerini belirlemede çok önemli bir yere sahiptir.

Biyopotansiyeller ile ilgili araştırma ve geliştirmeler geçen bir yüzyıla rağmen bitmemiş aksine son yıllarda elektronik ve yazılım alanındaki gelişmelerle hız kazanmıştır. Şekil 4B de görüldüğü gibi cihaz içerisine gömülmüş mikroişlemciler ile hem "akıllı" hem de taşınabilir yeni tür cihazlar artık hastayı takip ederek "monitörize" etmekte, önemli durumlarda iletişim merkezine hasta hakkında bilgi vererek gerekli müdahalenin hızlıca yapılmasını sağlamaktadır. Bu tür mikro "akıllı" cihazlar hastanın günlük yaşamını engellemeden biyopotansiyelleri belleklerine depolayarak daha sonra incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu aşamada bu tür cihazlar için yapılabilecekler ancak hayal gücü ile sınırlı görülmektedir.

Kaynaklar

1. Guyton ve Hall. Tıbbi Fizyoloji. 9. Baskı, İstanbul: Nobel Tıp Kitapevleri Ltd Şti. 1996; 57-72.
2. Geddes LA, Baker LE. Principles of Applied Biomedical Instrumentation, 3rd ed. New York: Wiley. 1989; 80-200.
3. Plonsey R. Bioelectric Phenomena, New York: McGraw-Hill, 1969; 40-80.
4. Pehlivan F. Biyofizik. 2. Baskı, Ankara: A.Ü.Tıp Fakültesi, 1997; 69-120.
5. Hille, B. Ionic Channels of Excitable Membranes, 2nd ed. Sinauer associates, Inc, Massachusetts: Sunderland. 1992; 59-83.

6. Barr RC. "Basic electrophysiology," in The Biomedical Engineering Handbook, Bronzino J. FL: CRC Press, 1995; 101–118.
7. Webster JG. Medical Instrumentation: Application and Design, 3rd ed. New York: Wiley. 1998.
8. Neuman MR. "Biopotential electrodes," in Medical Instrumentation: Application and Design, Webster JG. 3rd ed. New York: Wiley. 1988.
9. Henneberg KA. "Principles of electromyography," in The Biomedical Engineering Handbook, Bronzino JD. FL: CRC Pres. 1995; 191–200.
10. Carim H. "Bioelectrodes," in Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, Webster JG. New York: Wiley. 1988; 195–226.
11. Nagle JH. "Biopotential amplifiers," in The Biomedical Engineering Handbook, Bronzino JD. FL: CRC Press, 1995; 1185–1195.
12. Medical Applications Guide. <http://www.ti.com/lit/sg/slyb108e/slyb108e.pdf>.

Yazışma Adresi:

Doç.Dr. Mustafa Güven
Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
01330 Balcalı/ADANA
Tel : (322) 338 71 01-2663
e-mail : musguven@cu.edu.tr