

MEDİKAL FİZİK

Prof. Dr. M. Bahri EMRE

BİYOELEKTRİK POTANSİYELLER

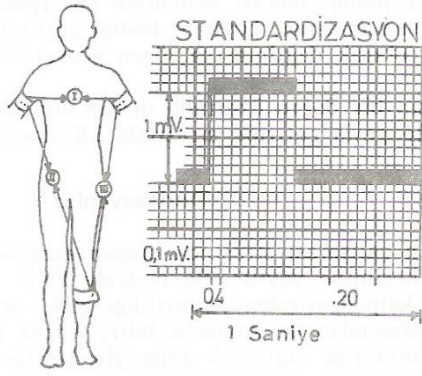
Polarizasyon. Elektrokardiyografinin dayanağı olan aksiyon akımları, klasik zar kuramıyla açıklanmaktadır. Dinlenti halindeki hücre zarının iki değişik yerine mikro elektrotlar konulur ve galvanometreye bağlanırsa göstergede hiçbir sapma oluşmamaktadır. Eğer elektrotun biri hücre içine konulursa, bu kez göstergede bir sapma şekillendiği görülür. Bu verilere göre hücre zarı dış yüzeyi ile iç yüzeyi elektriksel yük bakımından farklıdır yani, zarın iç ve dış yüzeyleri arasında -20 ile -100 mV. arasında değişen ve çoğunlukla ortalama -90 mV. olarak kabul edilen dinginlik ya da zar potansiyeli dediğimiz elektriksel bir potansiyel farklılık bulunmaktadır.

Polarize durum (polarizasyon) ya da dinlenti durumu, inaktif durum gibi adlar da verilen bu durumdaki bir hücre zarının dışında pozitif, iç kesiminde ise negatif iyonlar bulunur. Böyle bir hücre de elektriksel denge olduğundan denge potansiyeli de denir.

Dinlenti halindeki bir hücrede genellikle potasyum iyonları ve protein anyonları hücre içerisinde, sodyum ve klor iyonları ise çoğunlukla hücre dışında yer alır. Hücre zarının iç tarafında bulunan çeşitli anyon molekülleri büyük olması nedeniyle, zarı geçemezler ve iç kesimde negatif yükün oluşmasında önemli rol oynarlar. Klor iyonları zarı kolaylıkla geçebilir. Ancak, dinlenti durumundaki hücre zarının iki tarafı arasındaki potansiyel farklılık, klor iyonlarının çoğunu zar dışında tutabilme yeteneğindedir. Hücre dışında sodyum iyonları içe göre on kez, potasyum iyonları ise içeride dışa göre 30 kez kadar fazladır. Fiziksel yasalara göre bir tarafta fazla olan iyonların derişim farklılığına göre diğer yöne geçmek istemeleri doğaldır. Ancak, zarın bazı özellikleri (Na - K pompası) ve elektriksel yük etkileriyle sodyum ve potasyum iyonlarının içeri ve dışarı hareketleri sınırlanmıştır.

Depolarizasyon Hücre bir ucundan uyarıldığında, uyarı noktasında zarın seçici geçirgenliği kaybolur ve hücre zarının sodyum iyonlarına karşı geçirgenliği artar. Hücre içine giren sodyum o noktada zarın içini pozitif, dışını ise negatif kılar ve -90 mV. kadar olan bu potansiyel fark, sodyum iyonunun hızla içeri girmesiyle kaybolur, pozitif yöne bile kayar. Başka bir deyişle, o noktada zarın dış yüzeyi negatif, içi ise pozitif bir değer kazanır. Polarize durumun bozulması anlamına gelen ve depolarizasyon denilen bu olay, hücre zarının uyarılan bu noktasından başlayarak her yeri bu duruma gelinceye kadar sürer.

Repolarizasyon. Depolarizasyondan hemen sonra, hücre zarı porları sodyuma karşı yeniden geçirimsiz duruma döner ve hücre zarı tekrar seçici geçirgenliğini kazanır. Bu kez zarda potasyum iyonlarına karşı geçirgenlik arttığından, içeride yüksek derişimde bulunan bu iyonlar dışarıya çıkarak, depolarizasyon noktasında, -90 mV. kadar potansiyel farklılık yeniden oluşur. Repolarizasyon denilen bu dönemde, elektriksel potansiyel farklılığın sağlanabilmesine karşın, özellikle sodyum iyonu ve potasyum iyonu yönünden normal iyon dengesi bozulmuştur. Yani sodyum iyonunun dışa verilmesi, potasyum iyonunun içe alınması gerekir ki bu da, etkin Na - K pompası ile yerine getirilir ve sonunda tam anlamıyla polarize durum sağlanarak hücre, yeni bir uyarıya yanıt verecek duruma gelmiş olur.



KALP DÖNEMİ İÇRESİNDE OLUŞAN ELEKTRİKSEL VE MEKANİKSEL OLAYLAR

Kalp diyastol durumunda, atrioventriküler kapaklar açık, sigmoid kapaklar kapalı, uyarı dalgası henüz sinüs düğümü içinde, 2. Uyarı dalgasının kulakcık içerisine yayılmaya başlaması, 3. Uyarı dalgasının kulakcık içine yayılması, 4. Kulakcıkların kasılmaya başlaması ve atrio-ventriküler kapakların kapanmaya başlamaları, 5. Kulakcıklarda uyarının tamamlanması, 6. Repolarizasyonun kulakcıklar içinde tekrar gözükmesi, 7. Uyarı dalgasının karıncıklar içinde yayılmaya başlaması, 8. Karıncıkların kasılmaya başlamasında atrio-ventriküler kapakların kapalı olması, 9. Sigmoid kapakların açılmasıyla karıncıkların fırlatma evresinin başlaması, 10. Kulakcıklar içinde re-polarizasyonun tamamlanması, 11. Karıncıklar içinde re-polarizasyonun başlaması, 12. Karıncıklar içinde repolarizasyonun tamamlanması, karıncıkların gevşemeye başlaması ve sigmoid kapakların kapanması, 13. Atrio-ventriküler kapakların tekrar açılması ve karıncıkların dolmaya başlaması, 14. bir kalp döneminin tamamlanması.

KALBİN AKTİVASYONU

İnsan ve memeli hayvanlarda kalbin otomatik çalışması için gerekli uyarımlar sinir teli ve ganglion hücrelerinden zengin iki düğüm (merkez) tarafından yaratılarak özel bir iletim sistemiyle karıncıklara yayılır. Birinci düğümde (sinüs düğümü) oluşan uyarı dalgaları, hiç bir aracı olmadan, ışınal (radyal) bir biçimde kulakcık kasları içinde aşağı ve sola doğru ilerler. Bu sırada sol karıncığın epikard yüzeyine bir elektrot konduğunda, kulakcıkların depolarizasyon dalgası elektrota doğru geldiğinden pozitif bir defleksiyon oluşur ve elektrokardiyogramın (P) dalgası kaydedilir.

Uyarı dalgası kulakcık kaslarından ikinci düğüme (sino oriküler) ulaşır ve His demeti ile saniyede 20 cm. bir hızla yoluna devam eder. Sol His demeti, kökündendirsek yapmadan ayrıldığından uyarı önce bu dal üzerinde ilerlerken karıncıklar arasında bulunan zar soldan sağa doğru depolarize olur. Bu sırada sol karıncığın epikardiyal yüzüne konmuş bir elektrottan uyarı dalgası uzaklaştığı için aşağıya doğru küçük bir negatif (q) dalgası çizilir.

Daha sonra zarın sağ kesimi depolarize olur. Uyarı dalgası His dalları ve Pürkinje iplikleri ile saniyede 4-5 m. hızla yoluna devam ederken, aynı anda başlayarak her iki karıncık endokardiyumdan epikardiyuma doğru aktive olur ve elektrota doğru gelirler. Buna ilişkin olarak pozitif bir defleksiyon meydana gelir ve elektrokardiyogramda (R) dalgası çizilir. Sol karıncık kası sağa göre üç kat kalın olduğundan, sol

karıncık kasının de-polarizasyonu daha geç sona erer. Bu sırada elektrot sol karıncığın ortalarında bir yerdeyse, uyarı dalgası elektrottan uzaklaştığı için ufak negatif (s) dalgası çizilir. Bundan hemen sonra karıncıklar kontraksiyon yapar. Karıncıkların depolarizasyonunda bunların sistolünü gösteren ve başlangıç kompleksi adı verilen qRS dalgası çizilmiş olur. Depolarizasyonu izleyen iki yüzey de negatif duruma geldiğinden iki taraf arasında potansiyel fark kalmaz ve eğri izoelektrik çizgiye dönerek S-T parçasını çizer. Bunu karıncıların repolarizasyonu izler. Repolarizasyon dalgası aktivasyonun en son bittiği epikardiyumdan başlar ve endokardiyuma doğru ilerler. Karıncıların repolarizasyonunda bi-tim kompleksi olan pozitif (T) dalgası çizilir.

Bir kalp kası, çok sayıda kas tellerinden yapılmış olduğundan, uyarılması sırasında içinde her an değişen çeşitli aktivasyon bölgeleri oluşur. Elektrotların uygulandığı noktalara ve derivasyonun çeşidine göre depolarizasyon ve repolarizasyon olayları sırasında pozitif ya da negatif defleksiyonlar kaydedilir. Şu halde, uyarılmış kas tellerinden kaydedilen defleksiyon, depolarizasyon dalgasının yönüne, elektrotun kasa uzaklığına, elektrotun dipolün'ün negatif ya da pozitif yüzüne bakmasına göre değişir.

NORMAL ELEKTROKARDİYOGRAM VE BÖLÜMLERİ

Kalpde elektriksel gerilim farkı bulunmadığı ya da kalbin her kesiminde aynı olduğu zaman EKG'da düz bir doğru çizilir ki buna izoelektrik çizgi ya da sıfır çizgi denir. Normal bir EKG de bu izoelektrik çizgiye göre pozitif ve negatif bir takım girinti ve çıkıntılar vardır.

Bunlar P,Q,R,S,T ve U dalgaları ile P-Q aralığı ve parçası, Q R S kompleksi, S-T aralığı ve parçası, J noktası ve Q-T aralığıdır. EKG iki büyük bölümden oluşur. 1. si kulakcıkların depolarizasyonunu gösteren atrium kompleksi (P dalgası), 2. si ventrikül kompleksidir. Bu da karıncıkların depolarizasyonunu içeren başlangıç kompleksi (QRS) ile karıncıkların repolarizasyonunu içeren bitim komplekslerini (T dalgası) kapsar (Şekil 138). EKG'da görülen dalgalar, kalbin elektrotlara karşı gelen iki noktası arasında bulunan elektriksel gerilim farkından ileri gelir.

P Dalgası

Kulakcıkların sistolünü gösterir ve uyarı dalgasının kulakcıklardan geçişi sırasında çizilir. Çok kısa bir aralıkla mekanik sistolden önce gelir. Bu dalganın ilk yarısı sağ kulakcığın, ikinci yarısı sol kulakcığın depolarizasyonunu gösterir.

P-Q Aralık

P dalgasının başlangıcından Q dalgasının başladığı yere kadar olan aralıktır (Şekil 139). Ventrikül kompleksi R dalgası ile başlıyorsa o zaman R dalgasının başlangıcına kadar olmak üzere P-R aralığı olarak adlandırılır. P-Q aralığının süresi, sinooriküler düğümünden çıkan uyarı dalgasının kulakcık kası, orikülo-ventriküler düğümü geçerek His demetinde duraklama ve karıncık kasına kadar gelmesi için geçen süredir.

QRS Kompleksi

Karıncıkların sistolünde çizilir ve depolarizasyonu gösterir. Uyarı dalgasının karıncıkların kası içinde yayılışında kaydedilir. QRS kompleksini oluşturan dalgalardan biri (R) pozitif, diğer ikisi (Q ve S dalgaları) negatiftir. QRS kompleksinde Q dalgası bulunmazsa Rs örneği, S bulunmazsa Qr örneği denir. Tek yönlü ve negatif olduğunda QS diye adlandırılır.

Q-T Aralık

QRS kompleksinin başlangıcından T dalgasının sonuna kadar olan uzaklığa denir. Karıncıkların elektriksel sistolü için geçen sürenin saniye olarak belirlenmesidir. Elektriksel ve mekanik sistol

birbirinin aynı değildir. Ancak Q-T aralığı normal olduğunda elektriksel sistolün süresi pratik olarak mekanik sistolünkine eşittir. Q dalgasının bulunmadığı ve ventrikül kompleksinin R dalgası ile başladığı durumlarda R-T aralığı olarak adlandırılır.

S-T Aralık

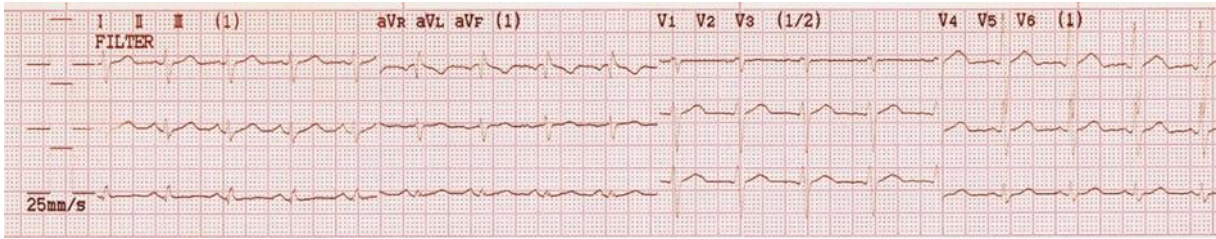
QRS kompleksinin bitiminden T dalgasının sonuna kadar olan aralıktır. Eğride S dalgası yoksa RS-T aralığı olarak belirlenir. Karıncıklarda depolarizasyonun tamamlanmasından repolarizasyonun bitimine kadar geçen süredir.

S-T Parçası

QRS kortipleksinin sonu ile T dalgasının başlangıcı arasında kalan parçadır. S dalgasının sonundan Tdalgasının başladığı noktaya kadar sürer. Elektrokardiyogramda S dalgası bulunmazsa RS-T olarak adlandırılır. Karıncıklarda depolarizasyonun bitimi ile repolarizasyonun başlangıcı arasında geçen süreyi gösterir. S-T parçasının çizilmesi döneminde kalpte elektriksel potansiyel farkı bulunmadığından normal olarak izoelektrik çizgi üzerindedir.

T Dalgası

Karıncıkların diyastolü sırasında çizilir ve repolarizasyonu gösterir. Ventriküllerin bitim komp1ksi de denir.



ELEKTROKARDİYOGRAFİK ÖLÇÜLER

Elektrokardiyogramı oluşturan çeşitli dalga ve aralıkların normal olup olmadıklarını anlamak için, biçim ve yönlerinin saptanmasından ayrı olarak, süre ve amplitüdlerinin (yükseklik ya da derinlik) ölçülmesi gereklidir. Bu iş için büyüteç ile üzerinde ince bölüntü bulunan saydam cetveller kullanılır. Dalga ve aralıkların süreleri saniye olarak belirlenir. Amplitüdlerin birimi milivolttur. Ölçme ve elektrokardiyogramları değerlendirme işini kolaylaştırmak için bazı değişmez ölçüler kabul edilmiştir. Buna ilişkin olarak kâğıtlar belirli bir hızla döner. Aygıtların çoğunda hız saniyede 25 milimetredir. İstendiğinde 50 mm. yapılabilir. Bir elektrokardiyogram kâğıdı 1 mm.lik aralıklarla birbirini kesen dikey ve yatay çizgilerle küçük karelere bölünmüştür. Dikey çizgiler arası dalga ve aralıkların sürelerini, yatay çizgiler arası dalgaların amplitüd'lerinin saptanmasında kullanılır. İki ince dikey çizgi arası 0.04 sn.yi, iki yatay ince çizgi arası 0.1 milivoltu gösterir.

Ayrıca defleksiyon duyarlığı da değişmez yapılmıştır ki bu aygıtta verilen 1 mV.luk bir voltajla yazıcı ucun 10 mm.yüksekliğinde bir çizgi çizmesidir .Bunun için aygıt, önceden duyarlık düğmesi yardımı ile ayar edilir. Her eğrinin başına bir kontrol (standardizasyon) defleksiyonu çizdirilir.

DALGA VE AMPLİTÜDLERİN ÖLÇÜLMESİ

Dalga amplitüdlерinin ölçülmesi. Pozitif dalgaların yükseklikleri, izoelektrik çizgisinin üstünden dalganın tepesine kadar olan yatay çizgiler sayılarak ölçülür. Bulunan sayı (0.1) ile çarpılıp milivolt olarak gösterilir. Negatif dalgaların derinliği izoelektrik çizgisinin altından, dalganın alt kesimine kadar olan

yatay çizgiler sayılarak bulunur. QRS kompleksinin amplitüdü, en yüksek pozitif defleksiyon ile en derin negatif defleksiyonun boyları toplanarak elde edilir.

Dalga ve aralıkların sürelerinin tespiti. Dalga ve aralığın başlangıcından, bittiği noktaya kadar dikey çizgiler sayılır ve iki çizgi arası 0.04 ile çarpılıp saniye olarak belirlenir.

S-T parçasının yükselmesi, sıfır çizgisinin üstünden, S-T, alçalması da sıfır çizgisinin altından S-T parçasının altına kadar olan aralık ölçülerek bulunur.

KALP HIZININ BELİRLENMESİ

EKG kâğıtları düzenli olarak dönmektedir. Üzerlerinde bulunan ince dikey çizgilerin arası 0.04 sn.yi, kalın çizgiler arası 0.20 sn.yi gösterir. Bir dakikalık süre içinde EKG kâğıtları üzerinde 0.04 sn.yi gösteren ince dikey çizgilerden 1500 adet vardır. Bunlardan yararlanarak kalbin atım sayısı hesaplanabilir.

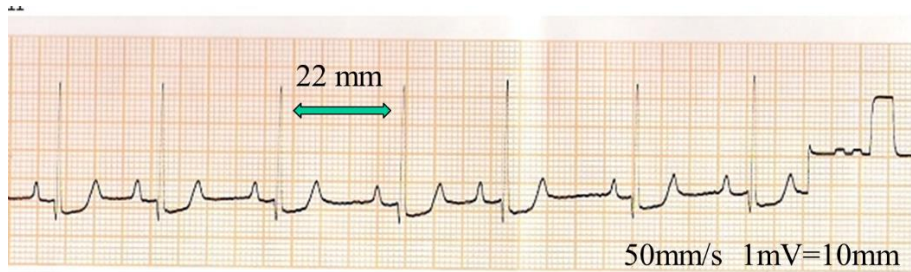
Ritmi düzenli olan kalplerde birbirini izleyen iki R dalgası arasında 0.04 sn. lik bölümlerden kaç adet olduğu sayılır. 1500 sayısı bulunan sayıya bölünerek kalp hızı belirlenir. Düzensiz ritimli kalplerde, sadece iki R çıkıntısı arasını araştırmakla yetinmeyip birden fazla R-R aralıkları sayılarak ortalamaları alınır.

Saniye de 25mm İse 60 Saniye de $25 \times 60 = 1500$

1500/ İki R Arası Kutucuk Sayısı

Saniye de 50mm İse 60 Saniye de $50 \times 60 = 3000$

3000/ İki R Arası Kutucuk Sayısı



R-R arası 22 mm (iki QRS kompleksi)

KALP ATIM HIZI = $3000/22 = 136,3$ atım/dakika

ORTALAMA ELEKTRİKSEL EKSEN

Enstantane elektriksel eksen. Vektör ile gösterilen elektromotor kuvvetlerin her biri kalbin o andaki elektriksel eksenini gösterir ve kalbin enstantane elektriksel eksenini olarak tanımlanır. Belirli bir anda elektromotor kuvvetlerin tümünün cebirsel toplamına kalbin o andaki (enstantane) elektriksel eksenini denir.

Ortalama elektriksel eksen. Bir kalp dönemi boyunca elektrokardiyogramda bulunan dalgaların çizilmesi sırasında enstantane eksenlerin tümünün ortalamasıdır. QRS dalgalarının çizilmesinde meydana gelen ortalama elektriksel eksene, QRS kompleksinin ya da depolarizasyonun ortalama elektriksel eksenini denir. Genel olarak kalbin elektriksel eksenini deyimini ile QRS'in ortalama elektriksel eksenini ifade edilir. R dalgası kaydedildiği zaman oluşan enstantane elektriksel eksene, QRS kompleksinin büyük eksenini ya da R eksenini denir. Normal olarak kalbin ortalama elektriksel eksenini göğüs boşluğu içindeki anatomik eksene uygun olup insanlarda kalbin tabanından tepesine doğru, yukarıdan aşağıya ve sağdan sola eğimlidir.