

TEMEL TIP BİLİMLERİ

Biyofizik

EKG'sde Kalbin Elektriksel Aksının Fiziksel Yöntemlerle Hesaplanması*

YusufCANER**

Giriş ve Teori

Devamlı çalışan bir kalb yaklaşık olarak bir elektrik ikikutup gibi değerlendirmeye tabi tutabilir mi? Bu soruya cevap verebilmek için önce bir (+q)-nokta yükün çevresinde meydana getirebileceği elektrik alanında, bir noktadaki, potansiyelin hesaplanması gerekir.

Bilindiği gibi; Küresel yük dağılımına sahip bir yük kaynağının veya (+q) nokta yükünün çevresindeki elektrik alanı:

$$E = k(+q) \cdot e_r / r^2 \text{ dir(1).} \quad \{\text{denk.1}\}$$

Burada: E elektrik alan şiddeti vektörü, $k = 1/4\pi\epsilon_0$ ve ϵ_0 boşluğun elektrik alan sabiti, değeri ise: $\epsilon_0 = 8,8541878 \times 10^{-12} \text{ As/Vm.}$, r kaynakla gözlem noktası arasındaki mesafe, e_r ise r doğrultusundaki birim vektördür.

Şimdi elimizde eşit miktarda ve zıt işaretli iki nokta yükümüz olsun. (-q), (+q); bu yükler Şekil 1'deki gibi aralarında belirli bir de mesafesi bırakacak şekilde bir sistem oluştursunlar. Meydana gelen bu sisteme "elektrik İKİKUTUP" adını vereceğiz.

Böyle bir elektrik ikikutup'un elektrik etkileşmesi, bir elektrik iki kutup moment vektörü yardımı ile incelenir (1,2,3). Söz konusu bu elektrik iki kutup moment vektörünün yönü daima negatif yükten, pozitif yüke doğrudur. Doğrultusu iki yükün yük merkezlerini birleştiren doğru boyunca ve

değeri ise; iki yük arasındaki mesafe vektörü ile verilir ve:

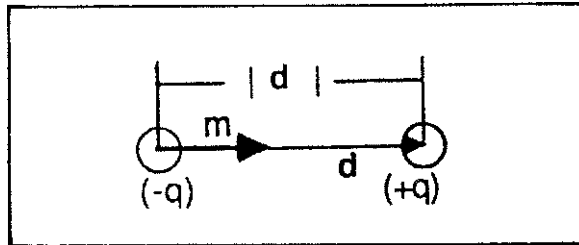
$$m = qd \quad \{\text{denk.2}\}$$

bağıntısıyla tanımlanır. Bu tanımdaki m: elektrik ikikutup moment vektörüdür. Böyle bir elektrik ikikutup civarında kurulan alana: Elektrik ikikutup alanı adı verilir (1,2,3).

Şekil 2'yi dikkate alalım. (+q) yükünün A noktasında meydana getirdiği alan E(+) ve (-q) yükünün ise E(-) olsun. Bir q noktası yükün civarında meydana gelen alan merkezci alandır ve hep yarıçap doğrultusunda yönelir (1,2,3). O halde; negatif yükün alanı merkeze, pozitif yükün alanı ise, merkezden uzaklaşacak yöndedir. Bu sistemi oluşturan elektrik ikikutup alanı, E(A), ise; bu iki alanın vektörel toplamına eşittir.

$$E(A) = E(+) + E(-) \text{ olarak elde edilir.} \quad \{\text{denk.3}\}$$

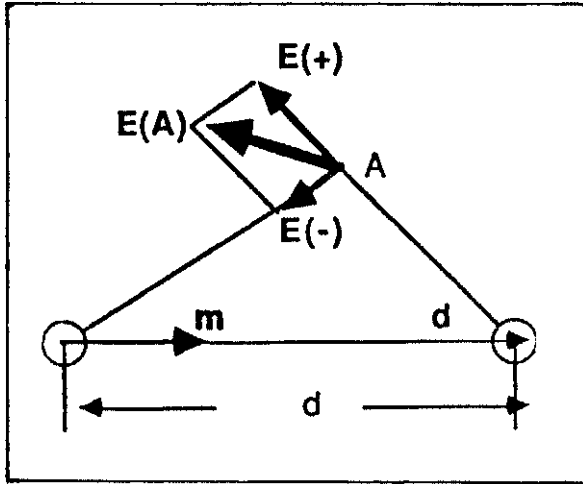
EKG'de kalbin vücut yüzeyindeki çeşitli noktalarda, (ekstremiteler v.b), meydana getirdiği



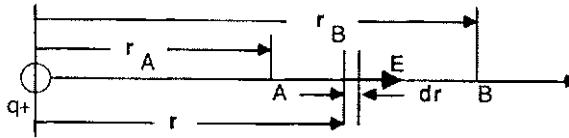
Şekil 1. Elektrik iki kutup.

*Atatürk Üni. Tıp Fakültesi Biyofizik A.B.D. ERZURUM

*** Bu makale orjinal bildiri olarak, I. Ulusal Biyofizik Kongresinde, (21-30 Eylül 1986) özetlenerek tebliğ edilmiştir.**



Şekil 2. A noktasındaki elektrik ikikutup alanı. (EA)



Şekil 3. Yerdeğiştirme boyunca değişen elektrik alanı.

elektrik potansiyel farkları kayıt edildiğinden; yapılması gereken: Bu potansiyel farklarının fiziksel yöntemlerle hesaplanmasıdır.

Bilindiği gibi bir q nokta yüküne bir E elektrik alanında:

$$F = q \cdot E \text{ elektrik kuvveti etkir.} \quad \{\text{denk.4}\}$$

Şimdi bu F kuvvetinin çok küçük bir Ar yerdeğiştirme vektörü boyunca sabit kaldığını kabul ederek F kuvvetinin yapacağı fiziksel işi bulalım. Ancak yer değıştirme çok küçük olduğundan yapılan işte çok küçük olacaktır, AW. fiziksel iş = AW + F.A.r şeklinde skaler çarpımla tanımlanır. {denk.4}'le beraber:

$$AW = F.A.r = q.E.A.r = q.E.A.r.\cos(E;Ar). \quad \{\text{denk.5}\}$$

olarak elde edilir. Uygulanan kuvvetle yerdeğiştirme vektörü aynı yönde olduğunda E elektrik alanda yapılan iş pozitif çıkar. Potansiyel enerjideki azalma miktarı ise:

$$A E p = -A W = -q.E.A.r.\cos(E;Ar) \text{ olur.} \quad \{\text{denk.6}\}$$

Eğer bu {denk.6} dan biri birim yük başına potansiyel enerjinin değışimi hesaplanmak istenirse; yapılması gereken eşitliğin her iki tarafını q'ye bölmek lazımdır. O halde:

$$A E p / q = -A W / q = -E.A.r.\cos(E;Ar) = A V \quad \{\text{denk.7}\}$$

Bu {denk.7} ile tanımlanan AV ye Ar yer değıştirmesi ile belirlenen noktalar arasındaki potansiyel farkı denir ve MKSA birim sisteminde (SI), birimi J/As. veya kısaca voltur.

Eğer E elektrik alan şiddeti vektörü bir r yerdeğıştirmesi boyunca sabit kalmazsa, (Kalb elektrik ikikutup alanında olduğu gibi), fiziksel işi hesaplayabilmek için: Önce r yerdeğıştirme çok küçük An (i = 1,2,3,...,n) yerdeğıştirmelere ayrılır. Her bir Ai deki işler bulunur. Yani bu şartlar altında toplam iş integral olarak hesaplanır. Şekil 3 yardımı ile böyle bir integral kolayca alınır. {denk.7} ve {denk.1} den:

$dV = -E.dr = -kq(dr/r)$, Şekil 3'e uygun integral işlemi yapılırsa:

$$V_{A B} = kq(1/r_A - 1/r_B) \quad \{\text{denk.8}\}$$

elde edilir.

Eğer B noktasını sonsuzda kabul edersek: $r_{j \rightarrow \infty}$ için: ($1/r_B = 0$) olacağından {denk.8} den:

$$V_{A \infty} = kq.(1/r_A) = V_A = kq.(1/r_A) \quad \{\text{denk.9}\}$$

olarak elde edilir. Bu {denk.9} bağıntısı bir noktanın sonsuza göre potansiyelini verir. O halde genel olarak merkezci bir elektrik alanında bir noktanın, r, potansiyeli:

$$V_A = kq/r \quad \{\text{denk.10}\}$$

bağıntısı ile belirlenir. Bu {denk.10} bağıntısına; merkezci alanın potansiyel fonksiyonu denir (1,2,3). q'nün işaretine bağılı olarak potansiyelin değışimi değışir.

Şimdi bu genel merkezci alanın potansiyel fonksiyonu yardımı ile, $m = qd$ ile tanımladığımız {denk.2, elektrik ikikutupun bilahere tanımlayacağımız F;L;R noktalarındaki potansiyellerinin değışimlerini bulalım. Söz konusu elektrik ikikutupu oluşturan (+q) ve (-q) yüklerinin potansiyelleri sıra ile: $V(+)$ ve $V(-)$ olsun. O halde bir F noktası için:

$\mathbf{VF}(+) = kq/r(+)$ ve $\mathbf{Vr}(-) = -kq/r(-)$ {denk.11}
ve her iki yükün F deki potansiyellerinin toplamı:

$V_r = V_r(+)+V K -) = kq[1/r(+)-1/r(-)]$ {denk.12}
olarak elde edilir.

Elektrik ikikutup alanında potansiyelleri eşit olan noktaların meydana getirdiği geometrik yüzeylere "EŞPOTANSİYEL YÜZEYLERİ" denir. (Bir nokta yükün eşpotansiyel yüzeyleri küre yüzeyleridir.), {denk.12} deki VF potansiyel fonksiyonunu; $d \ll r$ şartını sağlayan elektrik ikikutuptan çok uzak F;L;R noktaları için hesaplanırsa : Şekil 4'ten kolayca görüleceği gibi; r ikikutup merkezini, r(+); (+q) yükünü ve r(-) de (-q) yükünü gözlem noktasına birleştiren mesafelerdir. ($d \ll r$) olduğunda: r(-) paralel r'ye o da paralel r(+)'ya olur. Bu ise:

$a = b = f$ sonucunu doğurur.

Bu şartlar altında Şekil 4'ten

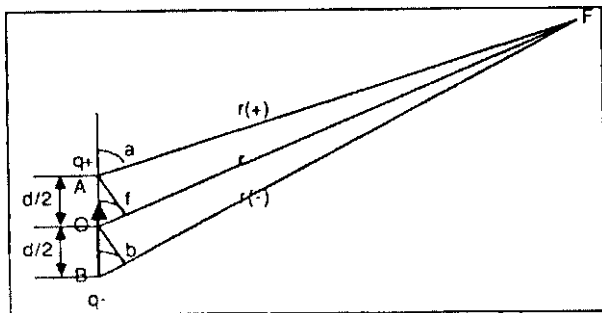
$$\begin{aligned} r(+) &= r - (d/2) \cdot \cos f \\ r(-) &= r + (d/2) \cdot \cos f \end{aligned} \quad \{\text{denk.13}\}$$

olduğu görülür. Bu {denk.13} değeri {denk.12} de yerlerine konulup gerekli işlemler yapıldığında, $[(d/r)^2]$ sifıra yaklaşıcağından: ($r \gg d$):

$$\mathbf{VF} = km \cos f / r^2; (m = q') \quad \{\text{denk.14}\}$$

elde edilir. Bu {denk.14} bağıntısındaki $m \cdot \cos f$; f doğrultusundaki elektrik ikikutup moment vektörünün izdüşümüdür. O halde bu bağıntı, gözlem noktasının potansiyelinin elektrik ikikutup moment vektörünün f doğrultusundaki izdüşümü ile orantılı olacağını gösterir ve kalbin elektrik aksının hesaplanmasında büyük önemi vardır.

EKG'nin değerlendirilmesinde kalbi elektrik ikikutup olarak işleme tabi tutmak ve kalb elektrik



Şekil 4. $d < r$ şartını sağlayan ikikutup alanı.

ikikutup moment vektörünün hesaplanabilen alan dağılımını kullanabilmek için; yapılması gerekenler:

— Homogen iletkenliğe sahip büyük bir göğüs kafesi içinde, çok küçük bir kalb olduğu kabul edilir, ($r \ll d$).

— EKG kaydı anında kişinin sakin ve düzgün yattığı ve böylece kalbin elektrik ekseninin vücut yüzeyinde olduğu düşünülür.

— Kayıt elektrodları ekstremitelemlerin kılsız bilek bölgelerine bağlanır. Kol ve bacaklar iletken teller gibi kabul edilir.

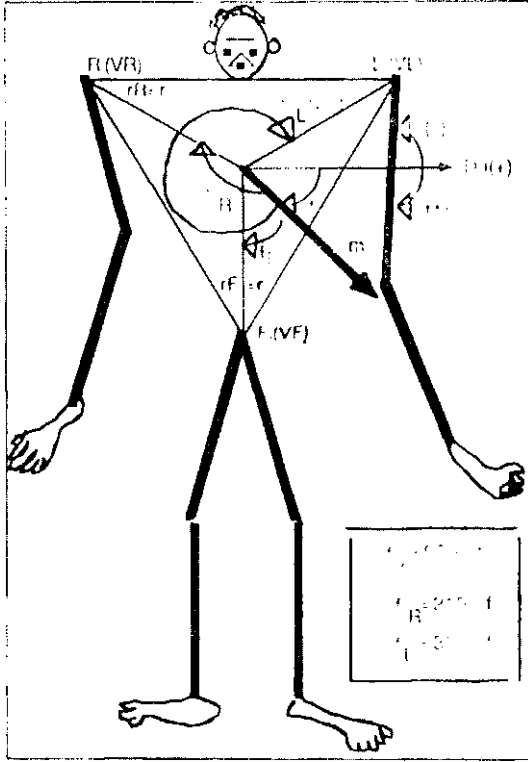
— Yukarıdaki yaklaşımlarla beraber, normal insanda omuz eklemleri ile, (L=sol; R=sağ), bacak-karın eklemleri, (F=sol bacak), eşkenar üçgen meydana getirdiği dikkate alınır.

— Kalbin fizyolojik konumu göğüs kafesinin biraz solundadır. İşlemleri kolaylaştırmak için: FLR eşkenar üçgeninin merkezindeymiş gibi işleme tabi tutulur.

Bütün bu yaklaşımlardan sonra, (DİKKAT: Bu kolaylaştırıcı kabullerin sonucu fazla etkilemediği görülecektir.), bir insanda geriye kalan Şekil 5'teki FLR üçgeninin oluşturduğu "DÜZLEM ÇÖPADAM"dır (3).

Buradan: bir kalb için bu FLR eşkenar üçgeninin ikişer ikişer karşılıklı köşeleri arasındaki potansiyel farkları kolayca hesaplanabilir. Bu potansiyel farkları m kalb elektrik ikikutup moment vektörünün FLR üçgeninin kenarları üzerindeki iz düşümleri ile orantılıdır ve EKG'nin değerlendirilmesinde anlamlıdır.

Şimdi; {denk.14}'le verilen bağıntıda, bu üçgen ÇÖP ADAM'ın, F (solbacak), L(sol kol) ve R (sağ kol), noktalarındaki potansiyeller, sıra ile: \mathbf{VF} ; \mathbf{VL} ; \mathbf{VR} ile ifade edilsin, (Dikkat: $r \gg d$ buna göre; $\mathbf{rF} = \mathbf{rL} = \mathbf{rR} = r$ dir). O halde bu ifadeler sadece bir uzaklığın, r, fonksiyonu olacaklardır. Söz konusu potansiyeller; sisteme uygun türetilen bir eksen sistemine göre hesaplanacaktır. Şöyleki: Şekil 5'teki eşkenar üçgenin O merkezinden, (kenar orta dikmelerin kesim noktası), RL kenarına, (R'den L ye doğru olan yön pozitif olmak üzere), bir paralel yarı doğru çizilmiştir. Bu yarı doğru özel olarak "Di" ile adlandırıldı. Yine bu Di doğrultusu ile kalbin m elektrik ikikutup moment vektörü arasındaki açı t olarak seçildi. Aynı şekilde kalbi köşelere birleştiren doğrultularla,



Şekil 5. EKG de üçgen ÇOPADAM modeli.

(OF;OL;OR), m arasındaki açılar sıra ile: fp; fi.; fR ile tanımlandı (Şekil 5). DI den hareketle saat ibrelerinin hareket yönündeki açılar pozitif, tersi negatif olarak seçildi. Bunlara göre Şekil 5'ten:

$$fF = 90^\circ - f; (f + fF = 90^\circ)$$

n. 330°-r

$$fR = 210^\circ \quad \{\text{denk. 15}\}$$

olduğu üçgenin özelliklerinden kolayca görülür. Diğer taraftan:

$$\sin 210^\circ = -1/2; \cos 210^\circ = -(\sqrt{3})/2 \\ \sin 330^\circ = -1/2; \cos 330^\circ = +(\sqrt{3})/2 \text{ dir.} \quad \{\text{denk. 16}\}$$

Bağıntı {denk.14}deki; (km/r²ü) Vo olarak tanımlayalım. Bu şartlar altında:

$$V_f = V_o \cos f + V_o \cos(90^\circ - f) = V_o \sin f \quad \{\text{denk.17}\}$$

$$V_L = V_o \cos f_L = V_o \cos(330^\circ - f) \\ = V_o \{[(\sqrt{3})/2] \cos f - (1/2) \sin f\} \quad \{\text{denk. 18}\}$$

$$\text{ÇR} = V_o \cos f_R = V_o \cos(210^\circ - f) \\ = V_o \{[-(\sqrt{3})/2] \cos f - (1/2) \sin f\} \quad \{\text{denk.19}\}$$

olarak elde edilirler. Bulunan bu {denk.17;18;19} potansiyelleri ifadesinden: F;L ve R köşeleri

arasındaki potansiyel farkları kolayca hesaplanır. Bunun için önce aşağıdaki tanımlar yapılmaktadır.

- 1) DI = (VL-VR)
- 2) DII = (VF-VR)
- 3) DIII = (VF-VL) ifade etsinler. { denk.20}

Tanımladığımız bu {denk.20} ifadesinde; {denk.17;18;19} değerleri yerlerine konulup gereken tüm işlemler yapıldığında:

$$DI = V_o \{(\sqrt{3}) \cos f\} \\ D_{II} = V_o \{(3/2) \sin f + f(\sqrt{3})/2\} \cos f \\ D_{III} = V_o \{(3/2) \sin f - [(\sqrt{3})/2] \cos f\} \quad \{\text{denk.21}\}$$

ifadeleri elde edilir. Bu {denk.21}'le tanımlanan DI, DII ve DIII büyüklüklerine "STANDART EKTREMİTE DERİVASYONLARI" adı verilmektedir, (4,5,6,7).

SONUÇLAR

1) {Denk. 21} bağıntılarından çıkarılacak İLK SONUÇ:

$$D_{II} = (DI + D_{III}) \quad \{\text{denk.22}\}$$

Bağıntısının her türlü şartlar altında geçerli olduğudur. (Bu gerçek {denk.21}den; DI, DII ve DIII değerleri alınıp {denk.22} de yerlerine konulursa hiç bir sınırlamaya gerek kalmadan ispatlanmış olur).

Görüldüğü gibi standart ekstremite derivasyonlarından sadece "DII" diğer, iki; DI ve DIII'nün cebrik toplamlarına eşittir. Bu hususa çok dikkat etmek gerekir. Zira bazı kitaplarda yanlış yorumlanmaktadır, (Belkide tercüme hatası), (8). Bu kitabın ilgili bölümünde aynen şöyle denilmektedir: "Eğer üç standart elektrokardiograf derivasyonlarından herhangi ikisinin elektrik potansiyelleri bilinirse, üçüncüsü bu iki potansiyeli basitçe toplamak suretiyle matematik olarak bulunabilir."

Böyle bir ifade tam değildir. Çünkü eksiktir. Biz bunun böyle olmadığını yukarıda göstermiş bulunuyoruz, {denk.22}. Bu hal tektir. Diğer durumlar yanlıştır. Mesela; DIII: DI ve DII'nin toplamına hiç bir zaman eşit olamaz. Bulunulan bu sonuç pek tabiki hasta veya sıhhatli bir kalb için de geçerlidir.

2) İkinci Sonuç ise çok daha önemlidir ve ilk defa bu çalışma ile tesbit edilmiştir.

Yine {denk.21} den; bu seferde:

{[DII-t-DIII]/DI} oranını teşkil edelim:

$$[DII + DIII] = V_o.3\sin f \quad \{\text{denk.23}\}$$

$$DI = V_o.(V3)\cos f \quad \{\text{denk.24}\}$$

Şimdi {denk. 23} ü {denk. 24} e bölelim:

$$\tan f = (DII + DIII) / [(V3). DI] \text{ veya}$$

$$f = \tan^{-1}$$

$$[(DII + DIII)/(V3).DI] \quad \{\text{Eq.25}\}$$

bağıntısını elde ederiz. Bu {denk.25}; [Y.CANER] bağıntısındaki "f" açısı baştan beri kullanılan ve özel olarak tariflenen DI eksenini ile kalbin m ELEKTRİK İKİKUTUP moment vektörü arasındaki açıdır ve bu açının değeri "KALBİN ELEKTRİK AKSINI" verir.

Böylece ilk defa bu çalışma ile klinikte kalbin elektrik aksının fiziksel yöntemlerle kolayca hesaplanmasını sağlayan trigonometrik bir denklem bulunmuş oldu, {denk.25}.

Eğer bu açısının değeri:

+0° < f < +90° ise: "NORMAL AKS DEVIATION'undan"

+90° < f < +180° ise: "SAĞ AKS DEVIATION'undan"

-180° < f < -0° ise: "SOL AKS DEVIATION'undan"

bahsedilir (4,5,6),

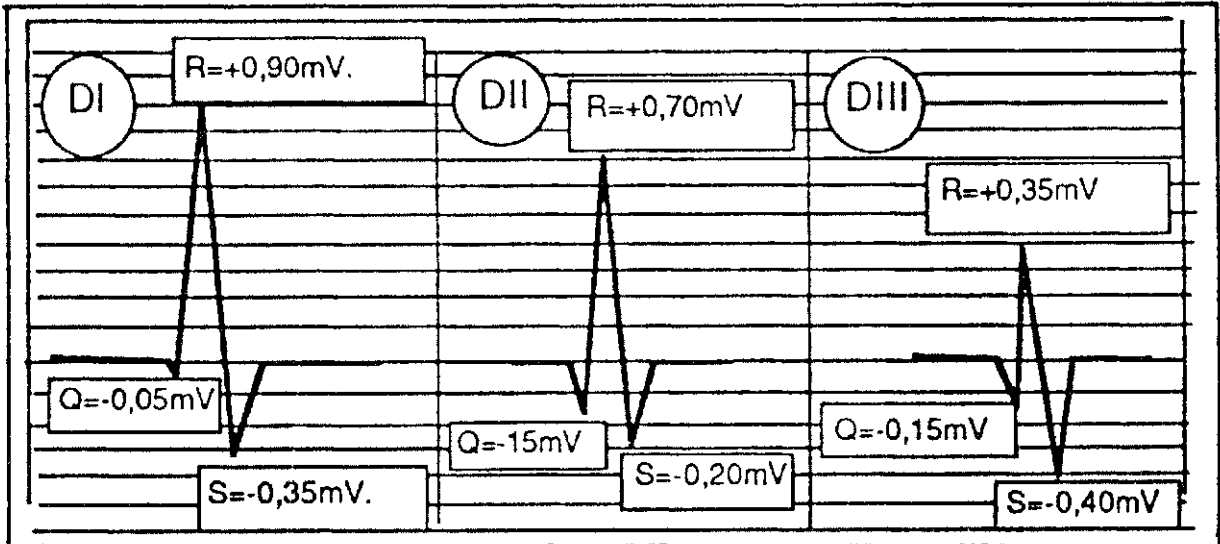
Genel Sonuç Olarak:

Standart ekstremite derivasyonları yardımı ile bir kişinin kalbinin elektrik aksının nasıl kolayca hesaplanabileceği, fiziksel yöntemleri kullanarak kullanılan trigonometrik bir formülle; {denk.25}, gösterildi, {denk.22} bağıntısı bize her üç derivasyonda P dalgasının pozitif olması halinde en büyük P'li derivasyonun DI olacağını da ifade eder.

Bir hususu belirtmek gerekmektedir: Farkları ($\pm 180^\circ$) olan açıların tanjantları birbirlerine eşit olduklarından bir yanlışlığa meydan vermemek için seçilen eksen sistemine göre sonucu çizimle kontrol etmek gerekebilir.

Çizim için: eksen sistemimiz Şekil 7 ki gibidir: DI ile saat ibrelerinin hareket yönünde 60°'lik açı yapan eksen DI eksenini, yine aynı yönde DI ile 120° lik açı yapan eksen de DIII eksenini olarak seçilmelidir. (Pek tabii negatif değerler zıt yönlerde olacaktır). Kayıt edilen EKG şeritlerinden DI, DI ve DIII değerleri şu şekilde tesbit edilmelidir.

Derivasyonlarda çıkan QRS kompleksinin pozitif maksimum değeri ile negatif minimum değeri işaretleri ile beraber cebrik olarak toplanır. Elde edilen pozitif veya negatif değerler Şekil 7'deki eksenler üzerinde işaretlenir. Her bir ek



Şekil 6. Derivasyonların şematik olarak gösterilmesi.

DI: Q = -0,05mV.
R = +0,90mV.
S = -0,35mV.

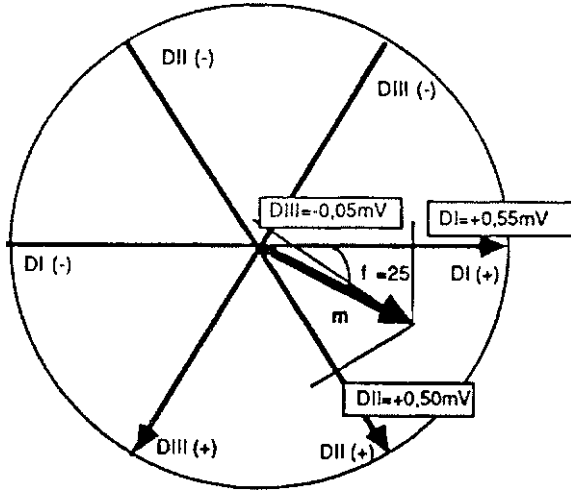
DII: Q = 0,15mV.
R = +0,70mV.
S = -0,20mV.

DIII: Q = -0,15mV.
R = +0,35mV.
S = 0,40mV.

DI = (+0,90-0,35)mV.

DII = (+0,70-0,20)mV.

DIII = (+0,35-0,40)mV.



Şekil 7. DI, DH ve DIII eksen sistemi ve Şekil 6'daki değerleri veren örnek kalbin elektrik AKSININ çizimle doğrulanması.

ne bu değerlerden birer dikme çıkarılır. EĞER DOĞRU OKUNMUŞ VE DOĞRU İŞLEM YAPILMIŞSA bu üç dikme bir noktada birbirlerini keserler. (Aksi taktirde işlemler kontrol edilmelidir.). Yapılacak hata en küçük ölçü biriminin yarısından daha büyük olamaz.

İşte seçilen eksen sisteminin başlangıç noktasını bu üç dikmenin kesim noktasına birleştiren vektör "KALB ELEKTRİK İKİKUTUP MOMENT VEKTÖRÜDÜR" Bu vektörün DI eksenine yaptığı açının değeri "KALBİN ELEKTRİK AKSININ" değerini verir. Bu açı f ile tanımlandı. {Y.C; denk.25},

BİR ÖRNEK

Şekil 6'da misal olarak bir hastadan kayıt edilen derivasyonların şematik gösterilimi ve yine Şekil 7'de Şekil 6'dan elde edilen değerlerden hesaplanan ve çizimle de doğrulanan kalbin elektrik AKSI gösterilmiştir.

DİKKAT:

$$DII = DII \text{ midir? } [10\text{mm} = 1\text{mV.}]$$

$$= (+0,55 - 0,05)\text{mV} = +0,50\text{mV. (Evet)}$$

o halde hesaplama işlemlerine geçilebilir. (Değilse kontrol!!!!). {denk.25} ten:

$$f = \tan^{-1} \left\{ \frac{(DII + DIII)}{(\sqrt{3}) \cdot DI} \right\} \quad \{\text{denk.25, Y.C}\}$$

$$= \tan^{-1} \left\{ \frac{(+0,50 - 0,05)\text{mV.}}{(\sqrt{3}) \cdot 0,55\text{mV.}} \right\}$$

$$= \tan^{-1} \{0,4724\} = 25,3^\circ = 25,0^\circ$$

olarak bulunur. O halde normal aks deviationu söz konusudur.

KAYNAKLAR

1. Finkelburg W: Einführung in die Atomphysik, Springer-Verlag, Berlin. Heidelberg. New York, 1967.
2. Gobrecht H: Bergmann-Schaefer Lehrbuch der Experimentalphysik, Band IV, Walter De Gruyter, Berlin. New York 1975.
3. Harten HU: Physik für Mediziner, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. New York 1980.
4. Henry JL, Marriott MD, (Çev.Prof.Dr.Özer, A.M.). Elektrokardiogram, İzmir Ege Üniv. Tıp Fak. Yayınları, İzmir 1977.
5. Lohmann W, Hoppe W: Biphysik, Springer-Verlag, Berlin. Heidelberg. New York, 1982
6. Ruch TC, Patton D: Physiology and Biophysics II, Saunder Company, Philadelphia. London. Toronto 1974.
7. Torunoğlu M, integré Fizioloji ve Fiziopatoloji, Ders Kitabı, A.Ü.Basımevi. Erzurum, 1972.
8. Guyton AC (Çev.Prof.Dr.Büyüköztürk, K.).'Fizioloji Cilt 1 Güven Kitabevi Yayınlan Ankara, 1977.