

# Kalpte Biyoelektrik Olaylar



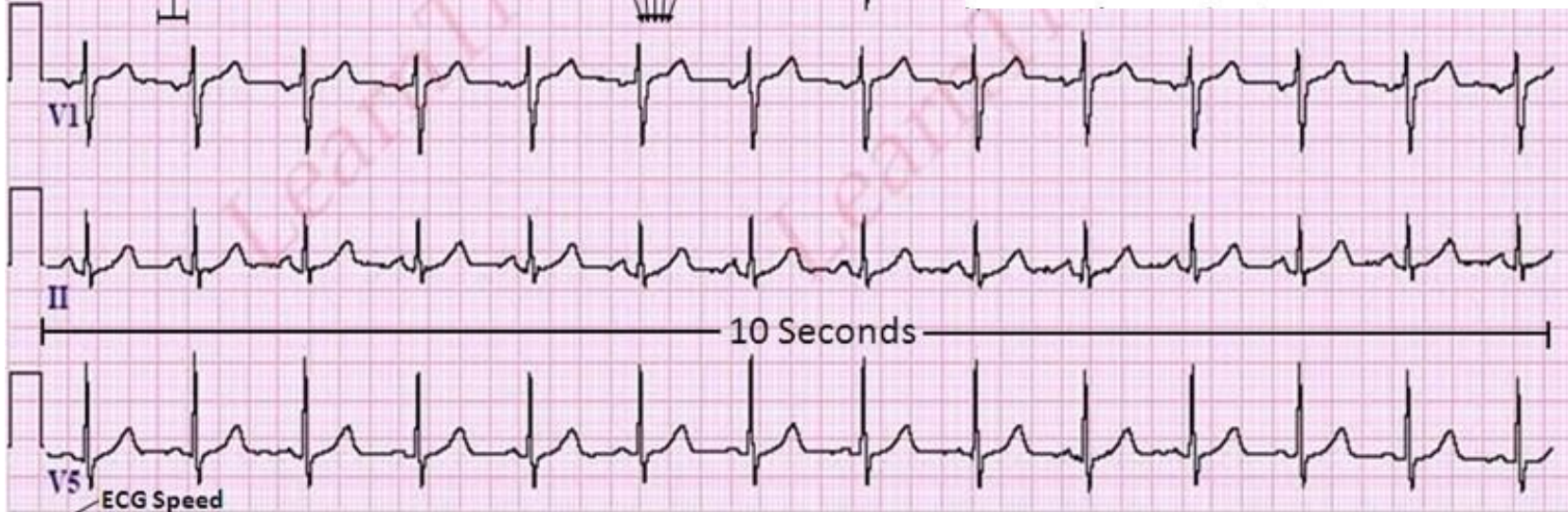
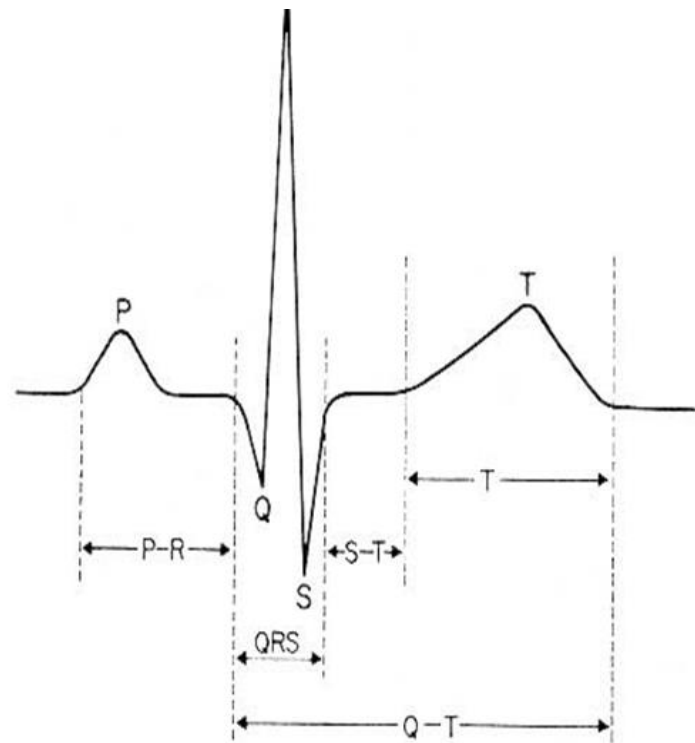
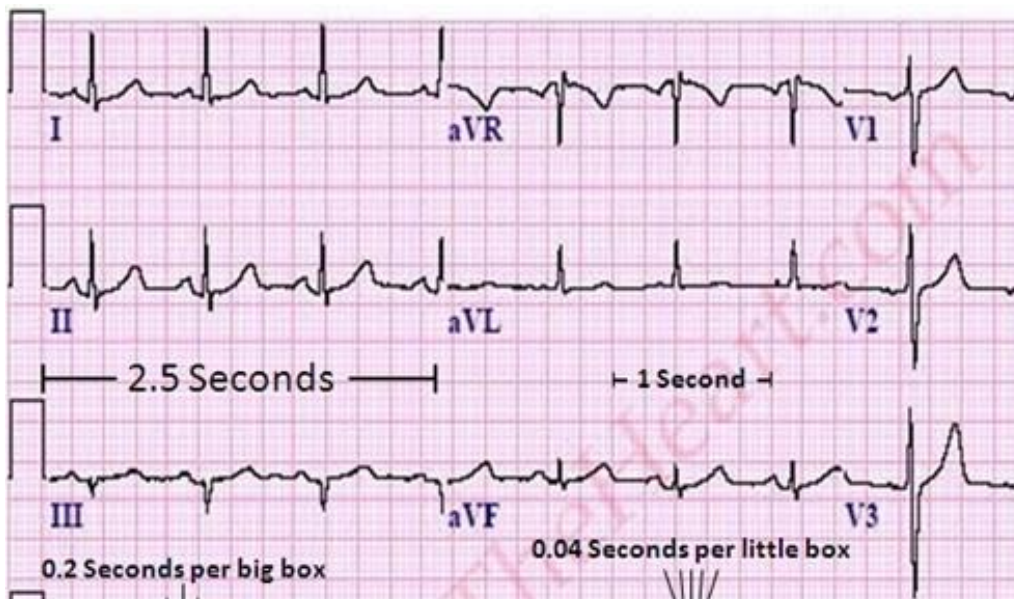
**Ondokuz Mayıs Üniversitesi**  
**Tıp fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı**  
**Samsun**

**Doç. Dr. Ayşegül AKAR**

# SUNUM İÇERİKLERİ

- Kalpteki elektriksel aktivite üretimi ve iletimi
- **Kardiyak Dipol**
- **Einthoven Üçgeni**
- **Kardiyak Eksen**
- EKG nin fiziksel prensipleri

# EKG



# Kalbin uyarı ve iletim sistemi

- Kalp, göğüs kafesinin oluşturduğu kapalı bir hacim iletkeni içinde elektriksel sinyal üreten bir organdır
- Hacim iletkeni özelliğine sahiptir



# Kalbin özel uyarı ve iletim sistemi

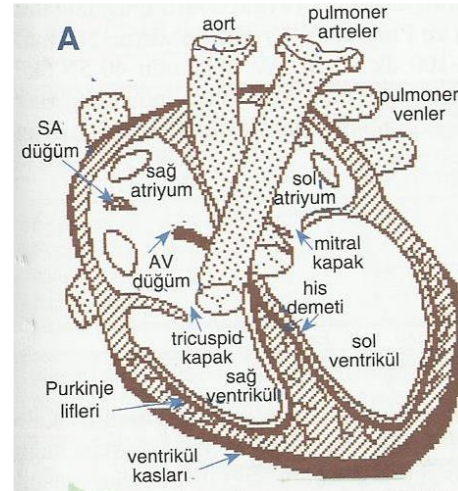
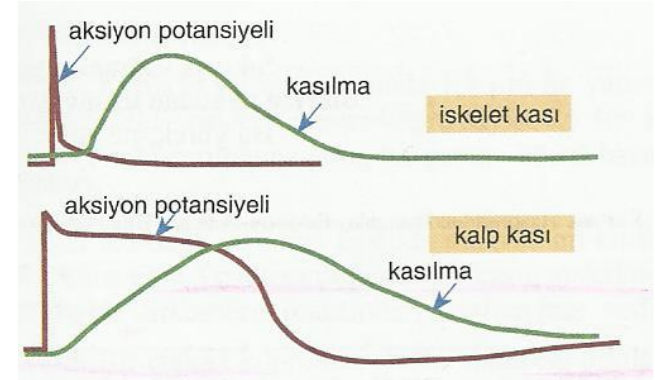
□ Kalp kası sinirsel kontrol olmadan kendiliğinden kasılabilir.

□ Kalp kası işlevleri farklı çeşitli hücrelerden oluşur

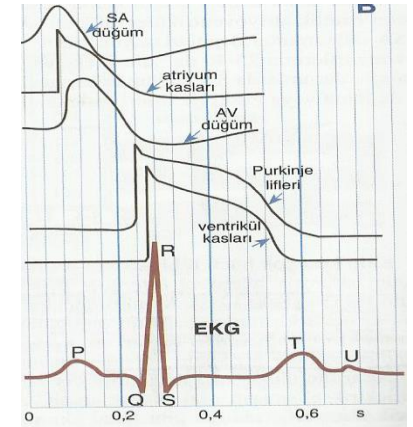
□ Otomatik ritmi,

□ Uyarı iletimi,

□ Kasılma işlevi



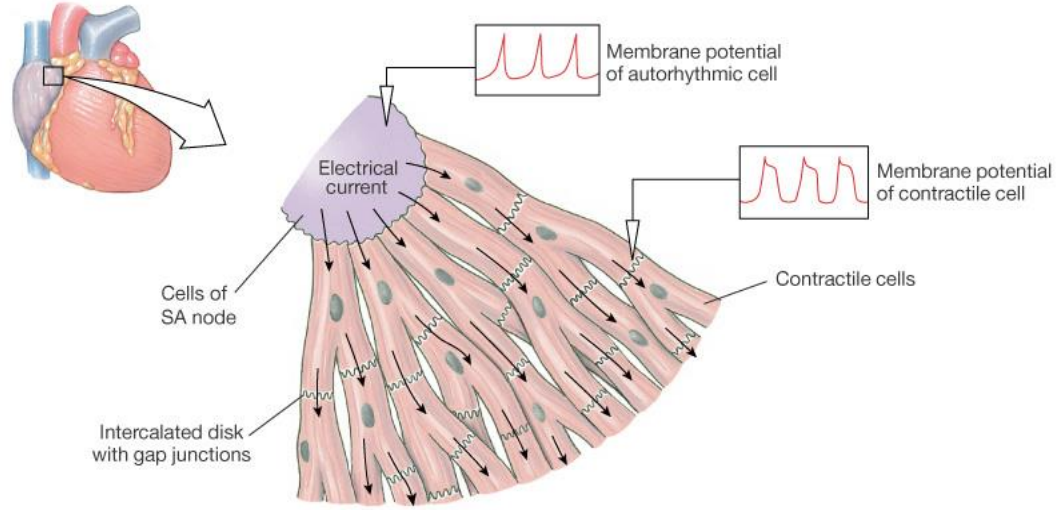
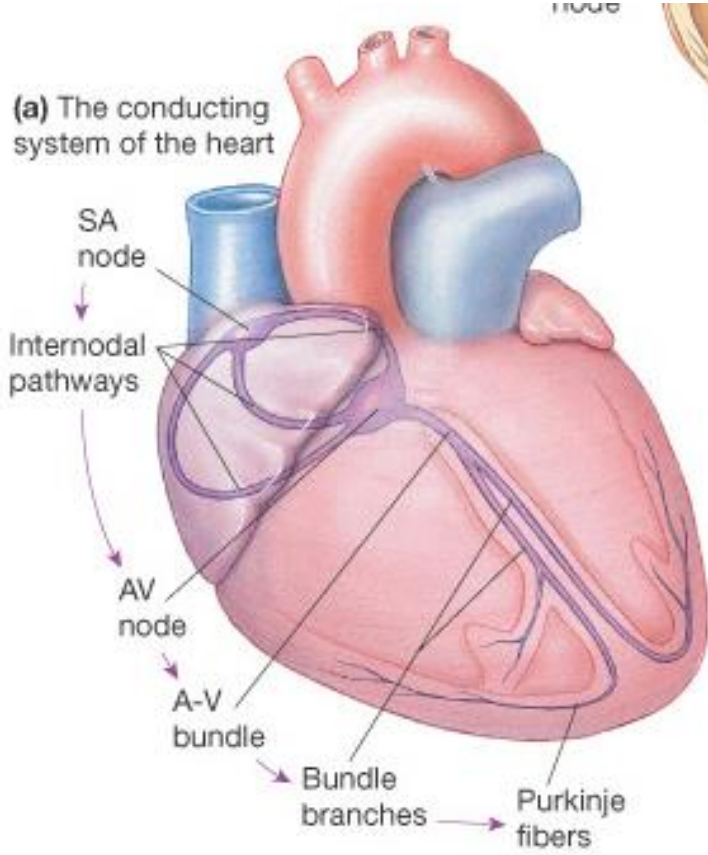
Kalbin şematik yapısı ve iletimde rol alan kesimleri



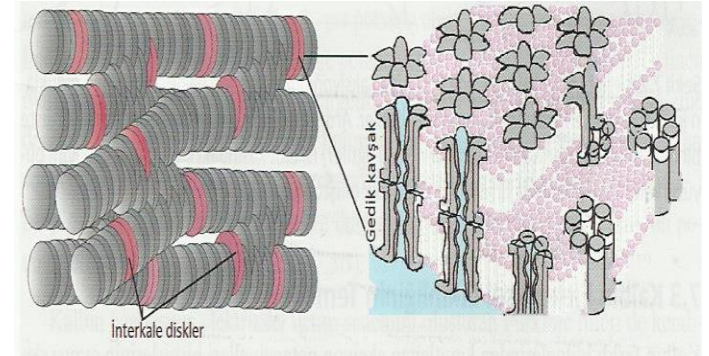
-Değişik hücelere ait aksiyon potansiyeli.

-Hacim iletkeninde bir noktadan gözlenen potansiyel

# □ Kalp kasının bağımsız hücreleri interkale disk zar yapıları ile birbirine bağlıdır



Depolarizations of autorhythmic cells rapidly spread to adjacent contractile cells through gap junctions.



## İnterkale disk zar yapıları

**Kalp kendi elektriğini kendisi üretir ve kullanır. Kaslar bu elektrik ile kasılmaya sevk edilir**

**Uyartı SA düğümünde başlar**



**Atriyum kaslarına yayılır**



**AV düğümüne ulaşır**



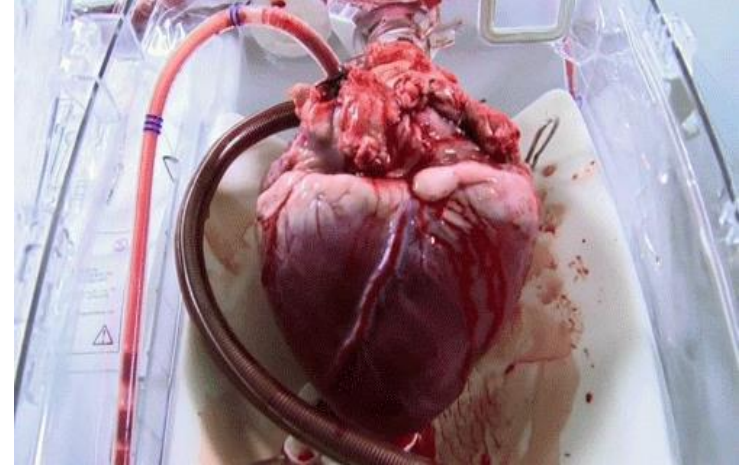
**His demetine ulaşır**



**Purkinje lifleri yoluyla ventrikül  
kaslarına yayılır**



**Ventrikül kasları kasılır**



□ SA Düğüm (~55mV ve değişik iyon akımları)

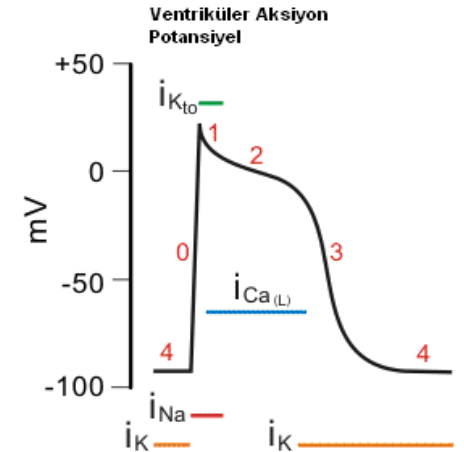
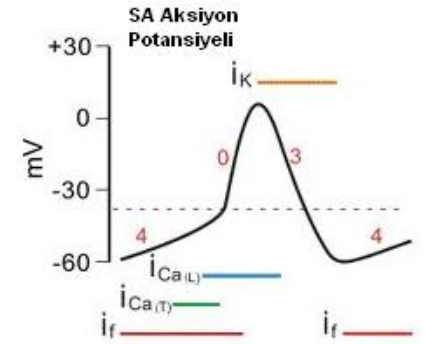
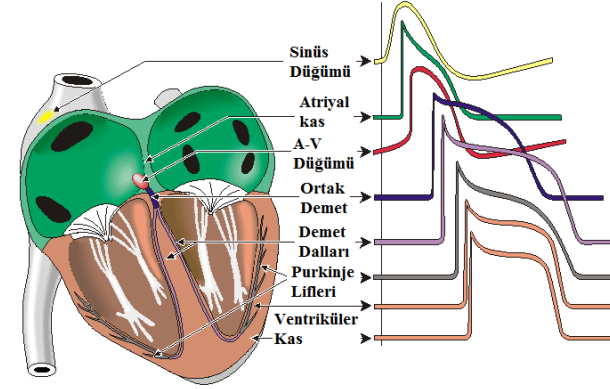
□ SA düğüm depolarizasyon ritmi

60-100 dak<sup>-1</sup>

□ AV düğüm 40-55 dak<sup>-1</sup>

□ Purkinje lifleri 25-40 dak<sup>-1</sup>

□ Frekansı yüksek olan kontrolü elinde tutar

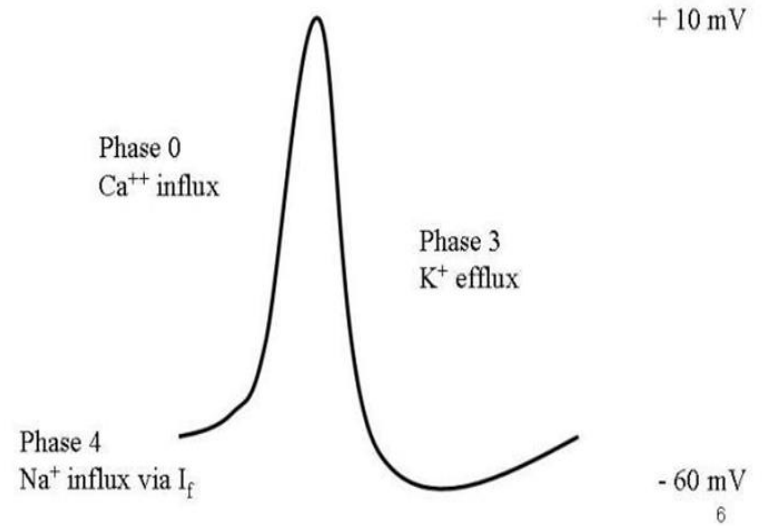




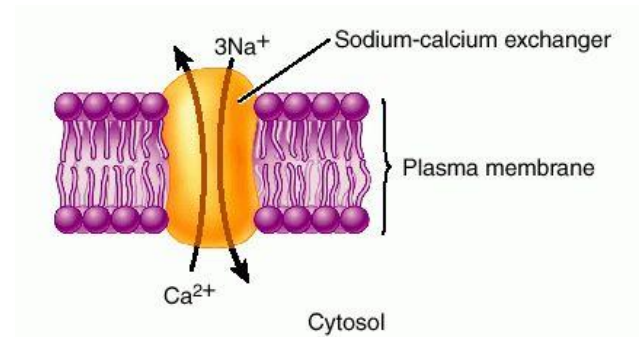
# Pacemaker Potansiyeli

- Hızlı ve yavaş  $\text{Ca}^{2+}$  kanalları nedeniyle, hızlı depolarizasyon fazı
- $\text{K}^+$  kanallarının açılması repolarizasyona neden olur
- $\text{K}^+$  kanallarının kapanması, içe doğru  $I_f$  akımı ve Na-Ca antiport mekanizması spontan depolarizasyon meydana getirir-pacemaker akımı

## Monophasic Action Potential (Cardiac Pacemaker Cell)

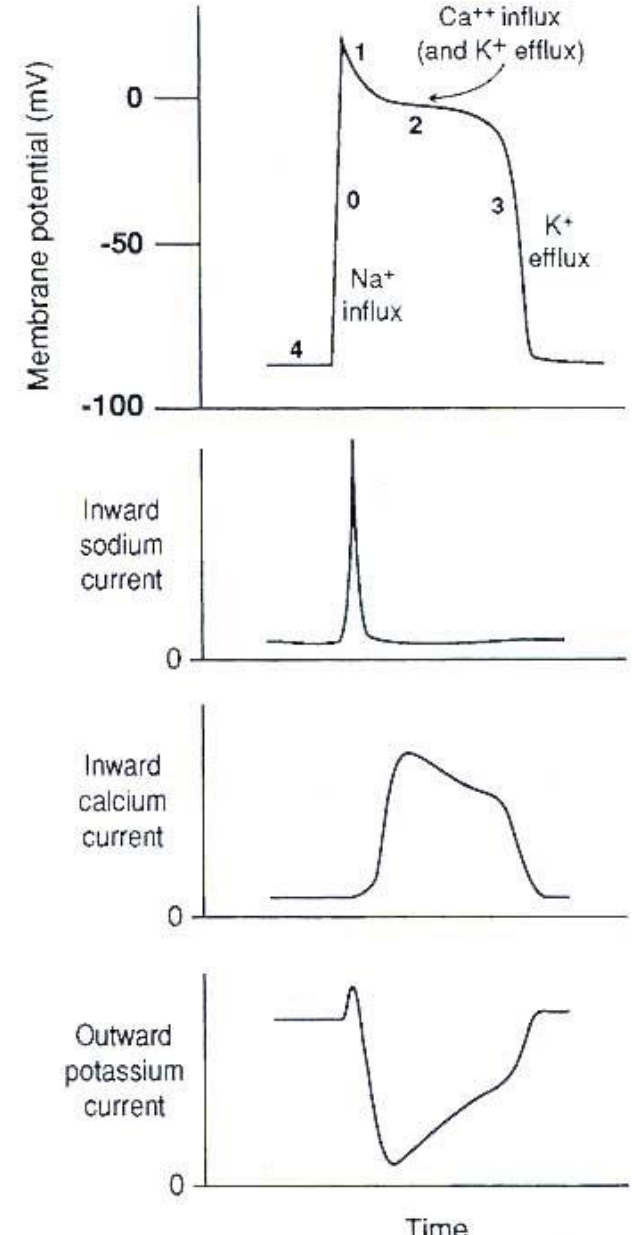


(c) 2007, Munther K. Homoud, MD



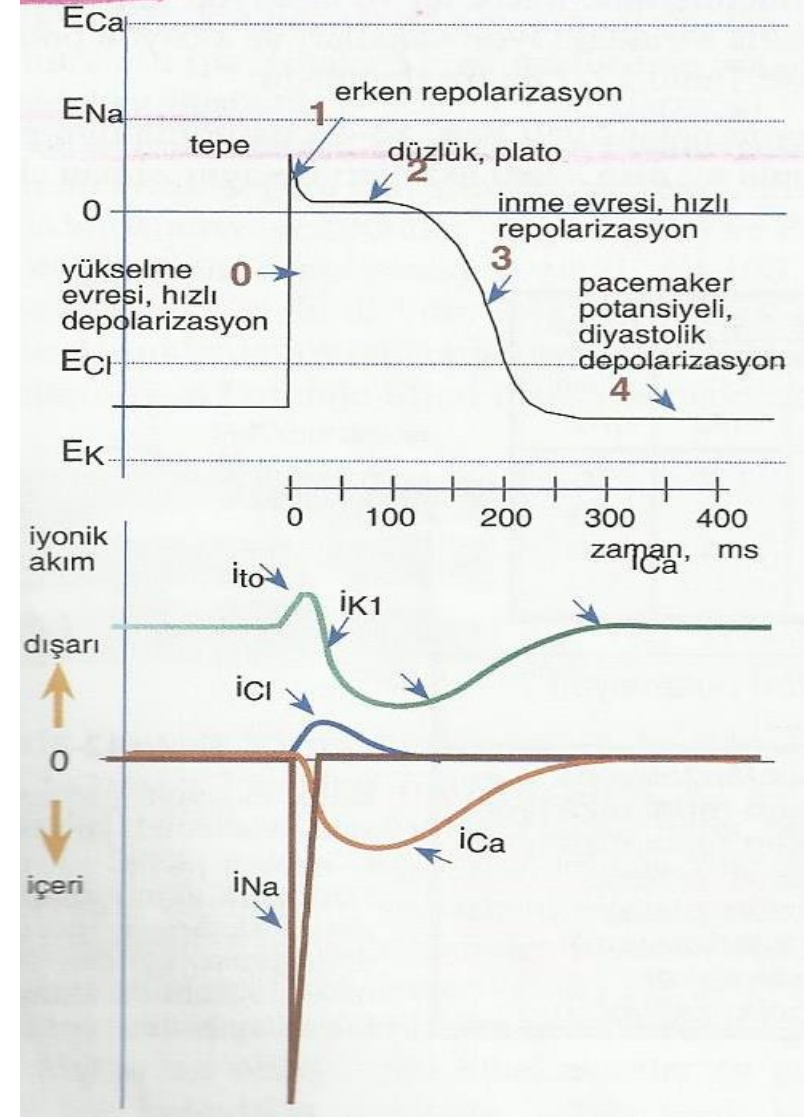
# Ventrikül Aksiyon Potansiyeli

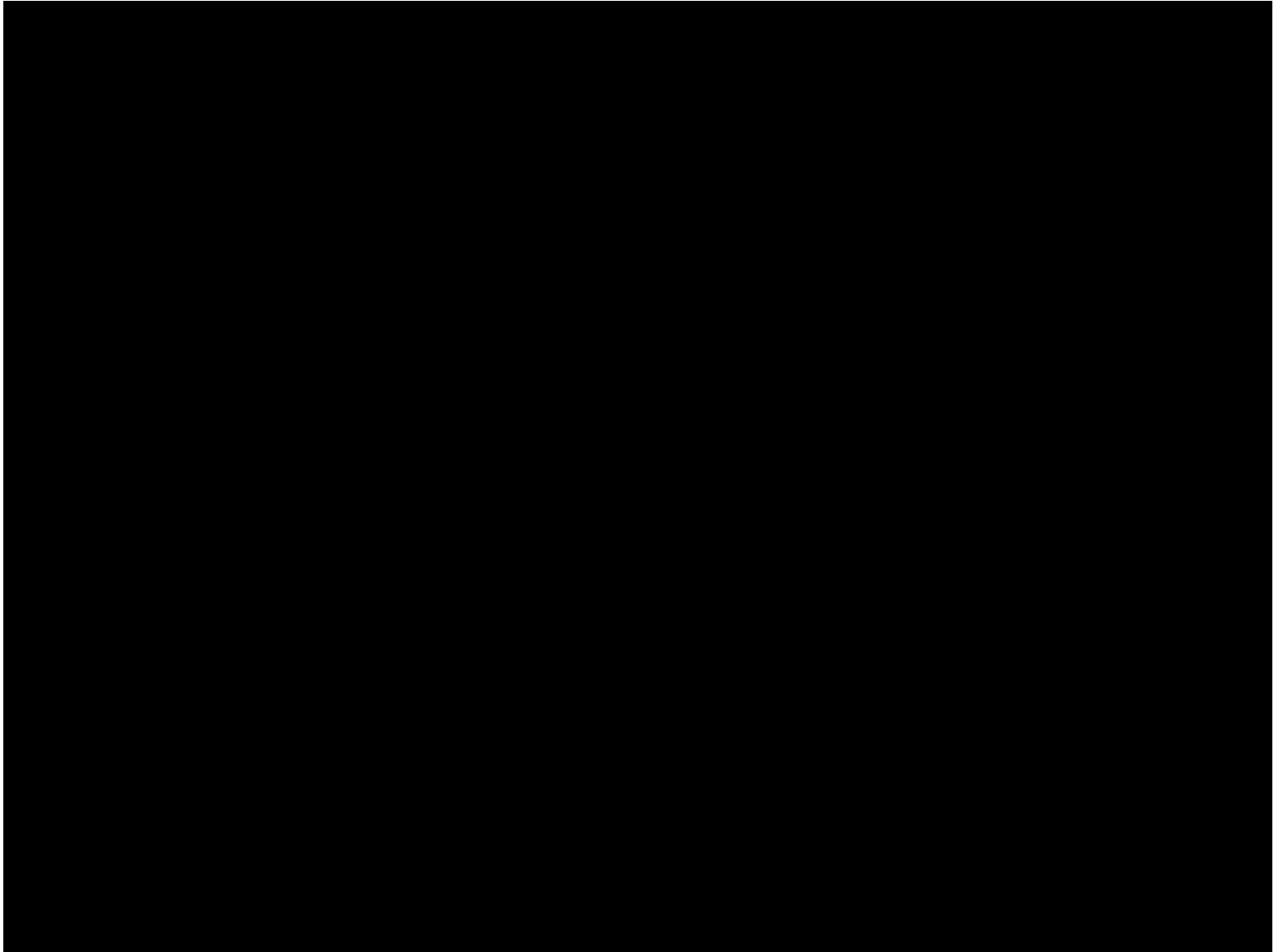
- Hızlı depolarizasyon Voltaj Kapılı  $\text{Na}^+$  kanalları nedeniyledir
- $\text{Na}^+$  kanallarının inaktivasyonu ve yavaş  $\text{Ca}^{2+}$  kanallarının açılması platoyu meydana getirir
- AP sırasında  $\text{K}^+$  iletkenliği ilk olarak azalır, sonra artar
- $\text{Ca}^{2+}$  kanallarının kapanması ve  $\text{K}^+$  kanallarının açılması repolarizasyona neden olur



# Kalp hücrelerinde Aksiyon potansiyeli

- Evre sıfır
  - Hızlı yükselme Evresi
- Evre 1
  - Erken Repolarizasyon Evresi
- Evre 2
  - Düzlük(Plato)
- Evre 3
  - Repolarizasyon Evresi
- Evre 4
  - Dinlenim (Pacemaker) Evresi





**Kalp hücrelerinde Aksiyon potansiyeli**

**Elektriksel Dipol Nedir?**

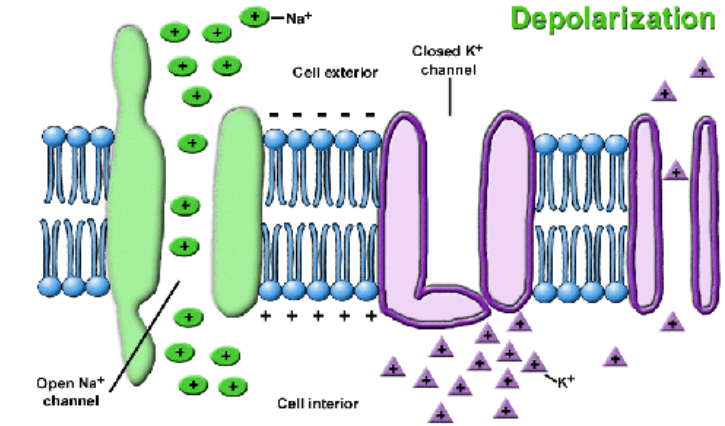
**Elektriksel bir Dipol Alanında**

**Potansiyeller Nasıldır?**

# HATIRLATMA !

## OHM KANUNU

g iletkene ve I akımına sahip bir akım hattı tarafından bağlanan iki nokta arasındaki potansiyel farkı:



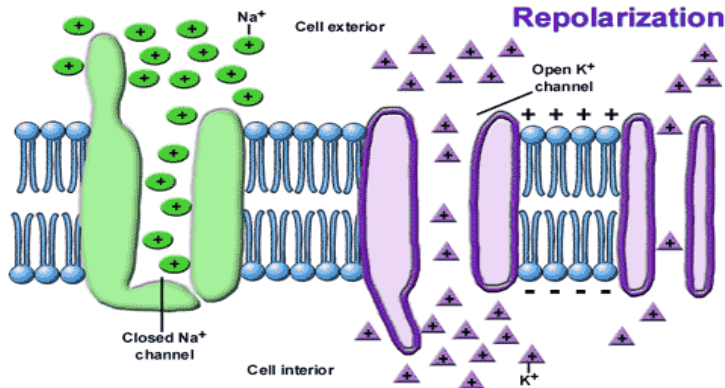
$$V = IR$$

$$I = V/R$$

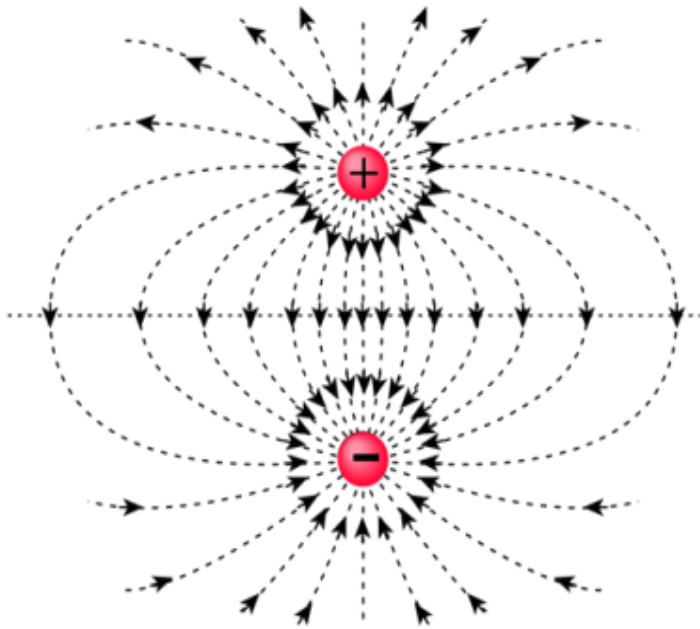
$$I = gV$$

$$g = 1/R$$

iletkenlik



# Elektriksel Dipol ve Dipol alanındaki Potansiyeller Nedir?



Akım ve Eş potansiyel eğrileri

$$V = kq \left[ \frac{1}{r_+} - \frac{1}{r_-} \right] = kq \left[ \frac{r_- - r_+}{r_+ r_-} \right]$$

For cases where  $r \gg d$ , this can be approximated by

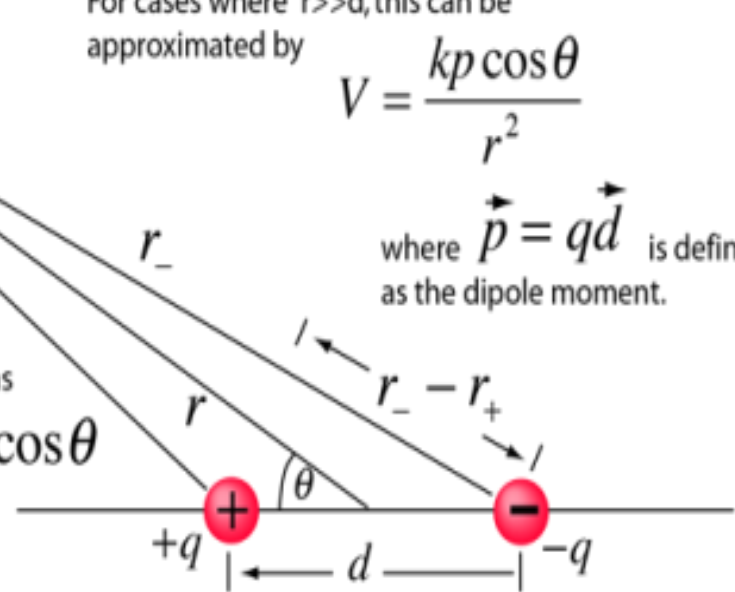
$$V = \frac{kp \cos \theta}{r^2}$$

where  $\vec{p} = q\vec{d}$  is defined as the dipole moment.

The potential of a dipole is of most interest where  $r \gg d$ . The standard approximations are

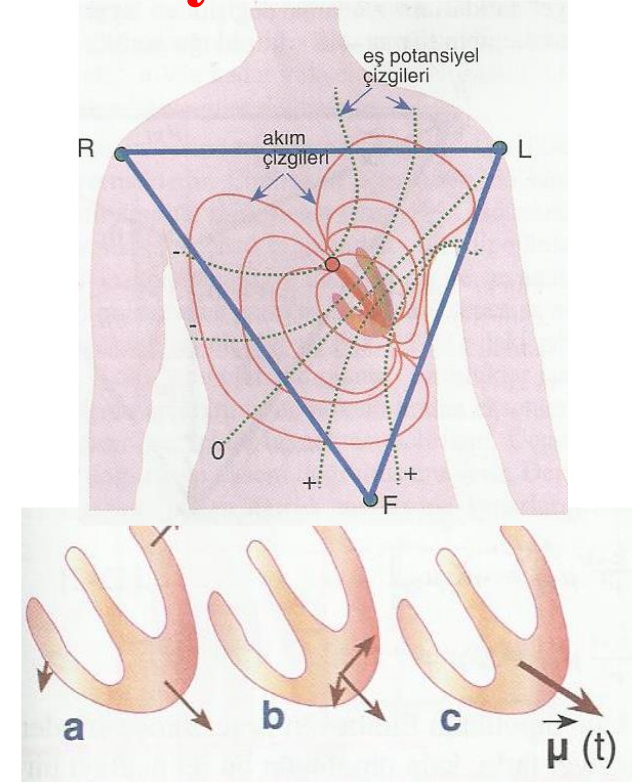
$$r_- - r_+ \approx d \cos \theta$$

$$r_+ r_- \approx r^2$$



# Elektriksel Dipol Alanında Potansiyeller

- ❑ Kalp bir hacim iletkenidir
- ❑ Kalpteki hücre veya hücre gruplarındaki uyarı yayılırken aktif ve inaktif bölgeler arasında bir potansiyel farkı oluşur
- ❑ Potansiyel farkı elektromotor kuvvet kaynağı gibi davranır
- ❑ Potansiyeller elektrik dipol alanını oluşturur

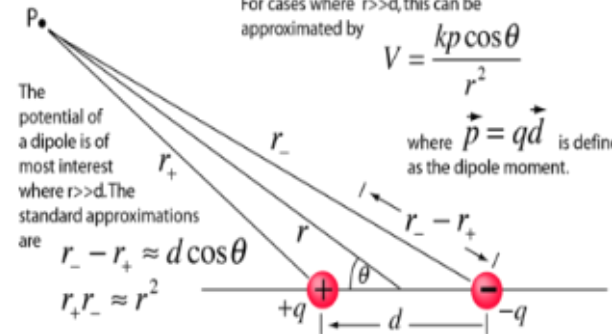


$$V = kq \left[ \frac{1}{r_+} - \frac{1}{r_-} \right] = kq \left[ \frac{r_- - r_+}{r_+ r_-} \right]$$

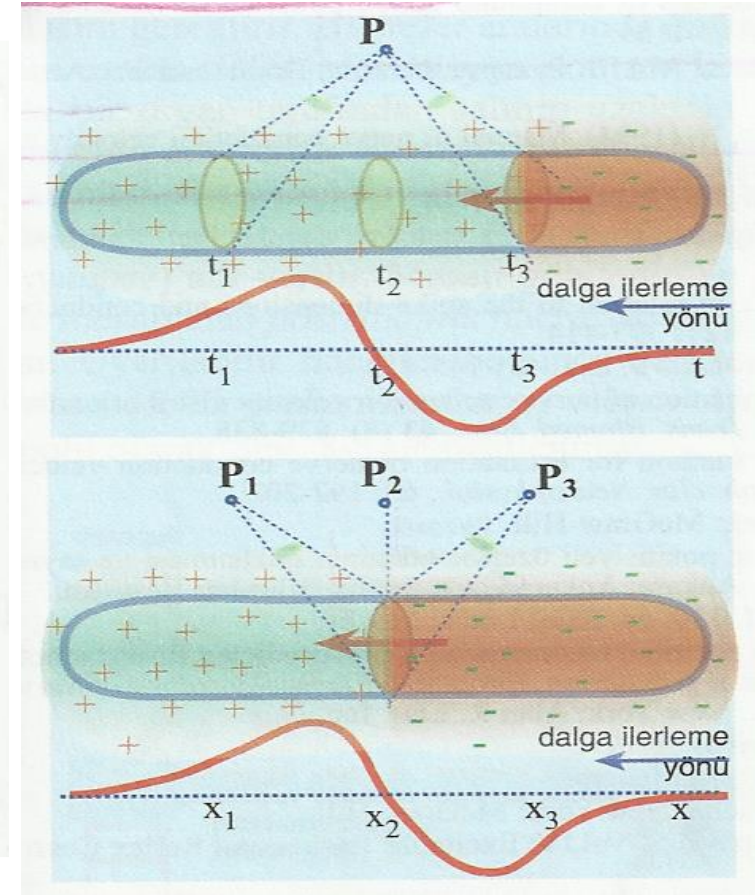
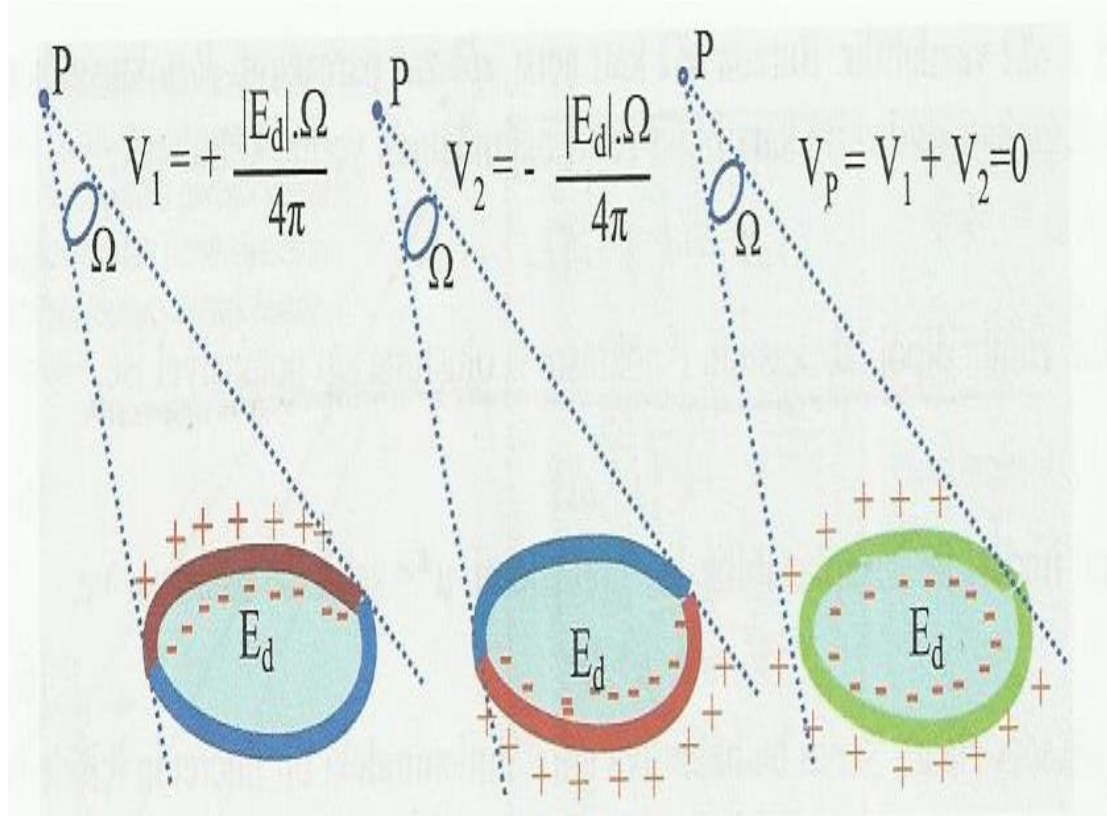
For cases where  $r \gg d$ , this can be approximated by

$$V = \frac{kp \cos \theta}{r^2}$$

where  $\vec{p} = q\vec{d}$  is defined as the dipole moment.







**A: İn aktif durumda)**

**bölge (hücre dinlenim**

**B: Aktif Bölge (hücre depolarize)**

# Hacim İletkeni Nedir?

## Bir Hacim iletkeninde potansiyeller Nasıldır?

**Hacim iletkeni :**

İletken bir ortam içerisinde, potansiyel kaynağının olması durumudur

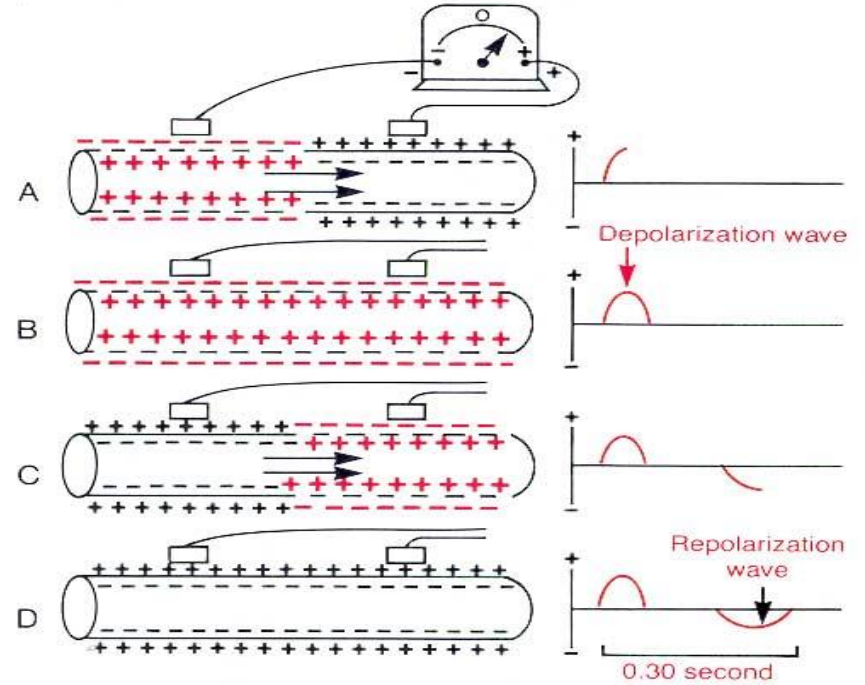
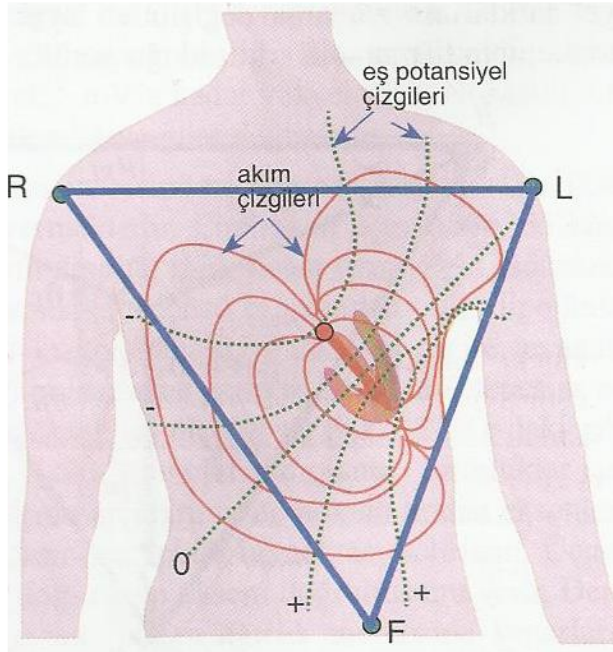
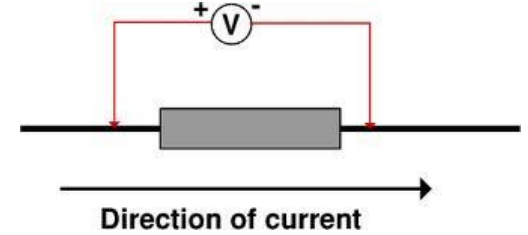
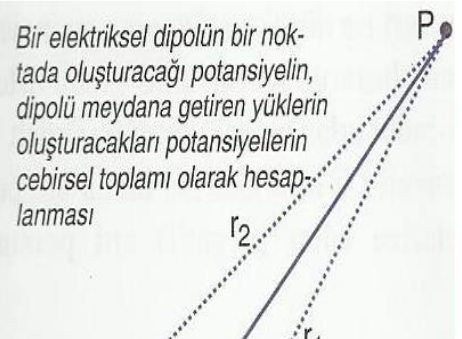


Figure 11-2. Recording the *depolarization wave* and the *repolarization wave* from a cardiac muscle fiber.

□ Hücre zarlarını ve aktivitelerini birer elektriksel dipolle temsil etmek, hacim iletkeninde oluşturacakları potansiyelleri bu dipole bağlı olarak açıklamak olanaklıdır.



$$V_P = k \left( \frac{q}{r_2} - \frac{q}{r_1} \right)$$

$$V_P = kq \left( \frac{1}{r-\Delta r} - \frac{1}{r+\Delta r} \right)$$

$$V_P = kq \left( \frac{2 \Delta r}{r^2} \right)$$

$$V_P = kq \frac{d \cos \theta}{r^2}$$

$$V_P = k \frac{\mu \cos \theta}{r^2}$$

$$V_P = k \frac{\vec{\mu} \cdot \vec{r}}{r^3}$$

$$k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

$$r_2 = r - \Delta r; r_1 = r + \Delta r$$

Dipol moment:

$$\vec{\mu} = q \cdot \vec{d}$$

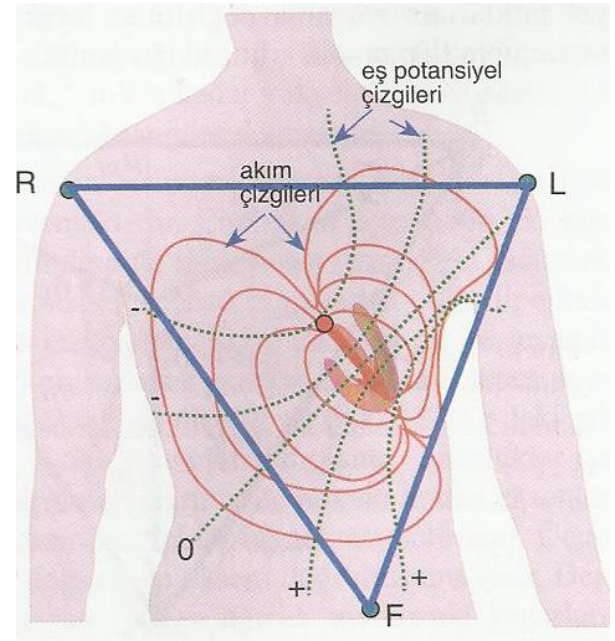
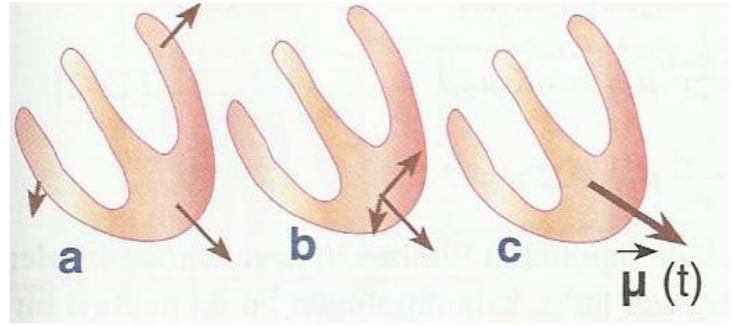
$r \gg d$  koşulu altında

$$\theta_1 \approx \theta$$

$$\Delta r \approx (d/2) \cos \theta$$

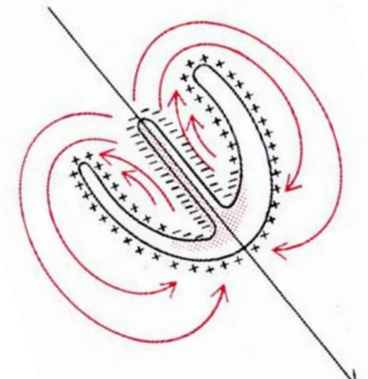
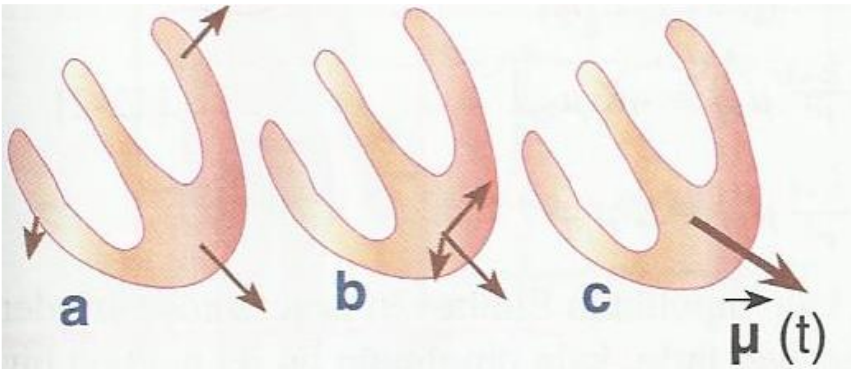
Skaler çarpım tanımı:

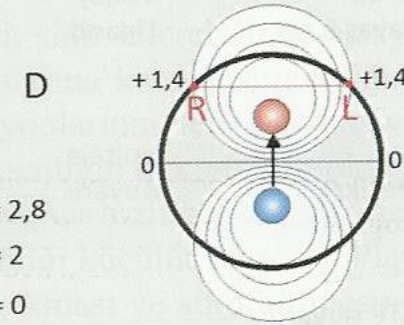
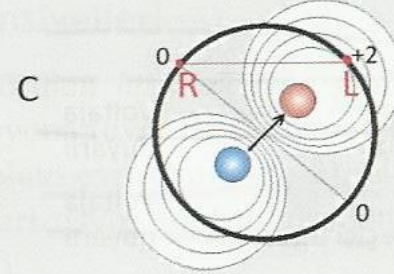
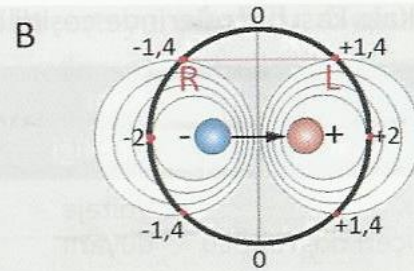
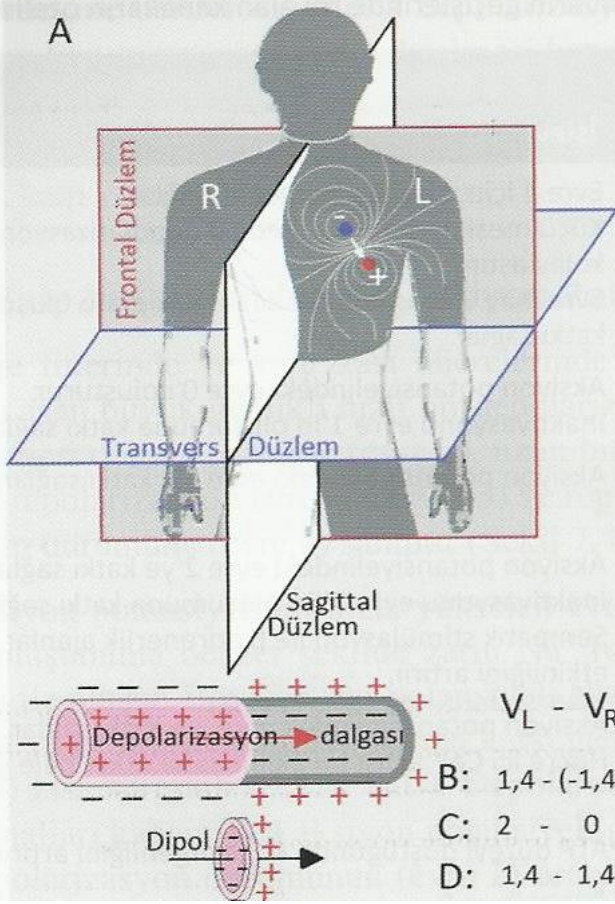
$$\vec{\mu} \cdot \vec{r} = \mu \cdot r \cos \theta$$



# Kalp Dipolü veya Kardiak vektör

- Kalp yoluyla depolarizasyon yayılması bir **DİPOL** oluşturur (+) ve (-) yüklerin ayrışımı. Dipolün yönü ve genliği **bir VEKTÖR** ile ifade edilir.
- Dipol vektörünün genliği ve yönü kalp atımı esnasında değişir
- Elde edilen bileşke vektöre **kalbin elektriksel dipol momentini veya kalp dipolü**,
- doğrultusuna ise kalbin elektriksel eksenin



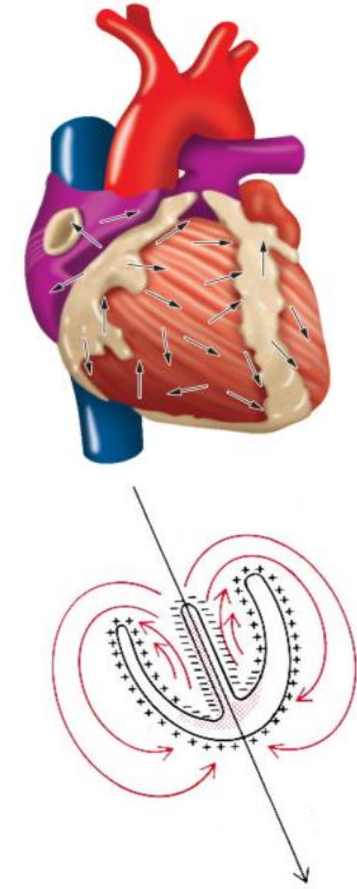


$$V_L - V_R$$

B:  $1,4 - (-1,4) = 2,8$

C:  $2 - 0 = 2$

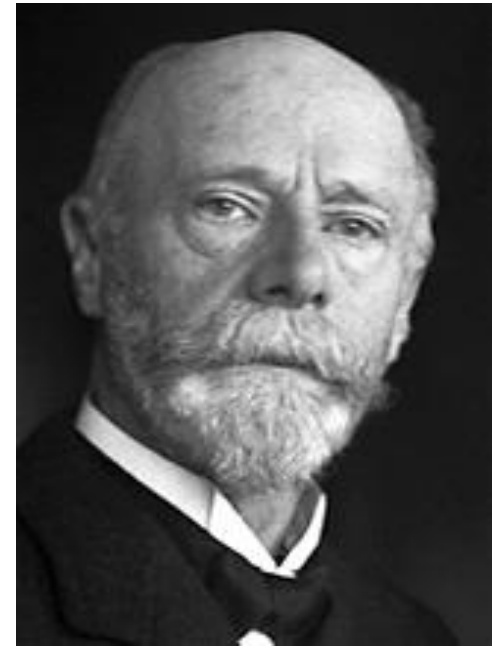
D:  $1,4 - 1,4 = 0$



## Kardiyak vektörü

- ❑ Uyarılan her bir kas lifi yönü ve büyüklüğü bir dipol moment vektörü ile temsil edilebilen biyoelektrik bir etkinlik sergiler.
- ❑ **Uyarılma sürecinin her anı için çok sayıda kalp kası hücrelerinin bireysel dipol moment vektörleri toplamı, kalbin elektriksel etkinliğine karşılık gelen kardiyak vektörü oluşturur.**

# Elektrokardiyografi (EKG) TEMEL İLKELERİ

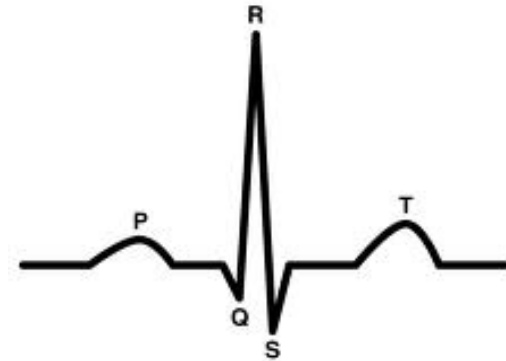


Willem Einthoven  
(1860-1927)

**EKG**, Kalp kası hücrelerinin elektriksel etkinlikleri sonucunda vücut yüzeyinde oluşan potansiyellerin kayıtlandırılması yöntemidir

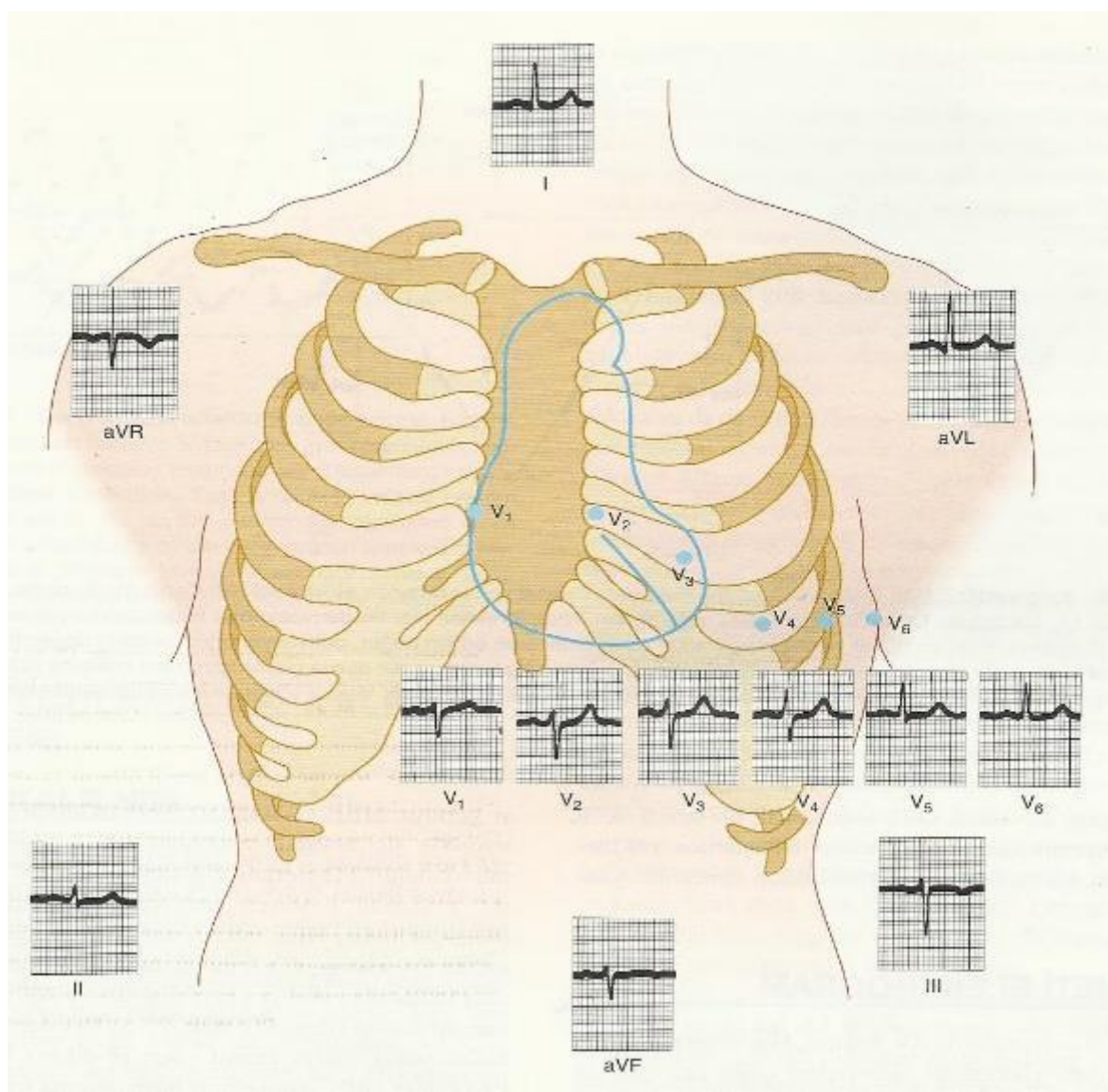
□ Vücutta standart seçilen noktalara elektrotlar yerleştirilir ve elektrotlar arasındaki potansiyel farklılıkları kayıtlanır

□ Kalp aksiyon potansiyellerinin cebirsel toplamını temsil eden potansiyel dalgalanmaları hücre dışından kaydedilir



## EKG

1. Kalbin dakika atım sayısı,
2. Kalp atımlarının ritmik olup olmadığı,
3. P-R aralığının,
4. QRS kompleksinin,
5. QT aralığının,
6. S-T aralığının,
7. T dalgasının şekli, süresi ve amplitüdü değerlendirilir.
- 8. Bu değerlendirmeler yapılırken değişik derivasyonlardan (Bipolar yada unipolar kayıtlama ile) alınan kayıtların karşılaştırmalı incelemesi kalbin normal ya da patolojik elektrik aktivitesi hakkında bilgi verir.**
- 9. EKG'nin yorumlanmasında vektörel analiz önemli bir yöntemdir.**



Potansiyel farklarının kayıtlaması, 12 değişik vücut yüzeyi üzerine elektrot yerleştirilerek gerçekleştirilir



# FRONTAL DÜZLEM VE TRANSVERS DÜZLEM EKG KAYITLARI VE FİZİKSEL TEMELLERİ

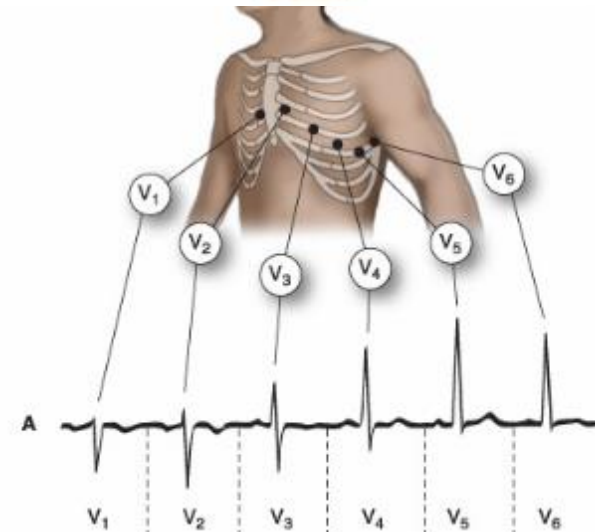
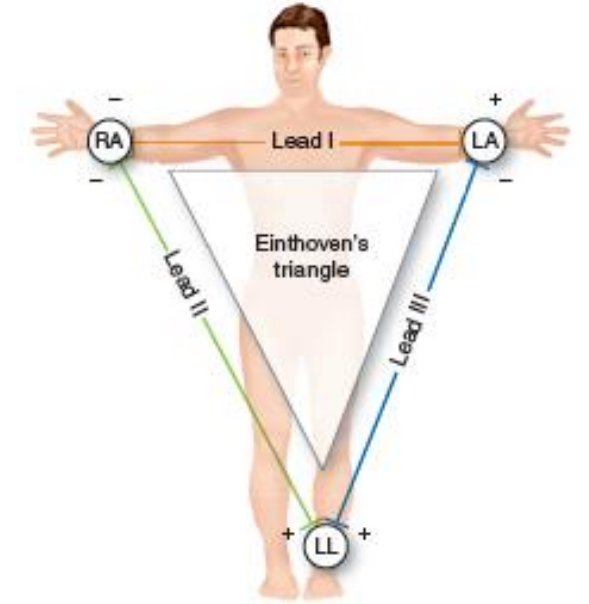
- Bipolar Ekstremitte Derivasyonları
- Büyütülmüş (Güçlendirilmiş) Unipolar Ekstremitte Derivasyonları ( $aV_R$ ,  $aV_L$ ,  $aV_F$ ) ve
- Göğüs Derivasyonları ( $V_1$ - $V_6$ ) (Transvers düzlem kayıtları)

# EKG Kayıtlarının alınması

- 12-Derivasyon kaydı
- Bipolar Derivasyon veya Unipolar Derivasyon kullanılır
- **Bipolar Derivasyon**
  - 1 pozitif ve 1 negatif elektrot
  - **Derivasyon I, II, III**
- **Unipolar Derivasyonlar**
  - 1 pozitif elektrot
  - 1 negatif "referans nokta"
  - 2 negatif derivasyonun toplamı kullanılarak hesaplanır -**aVR**, **aVL**, **aVF**, **V1-V6**
- Herbir derivasyon kalbin farklı bir görünüşünü sağlar

Frontal view

Cross sectional view



Electrodes positioned to the right of the left ventricle have waveforms with a downward

Electrodes positioned over the left ventricle have waveforms with an upright deflection.

# Elektriksel Sinyallerin Yayılması ve Kayıtlandırılması

Kas lifi veya ardışık depolarize olan bir lif yayılması (veya hareket eden repolarizasyonlar) kayıttta yukarı doğru bir sapma olarak görülür.

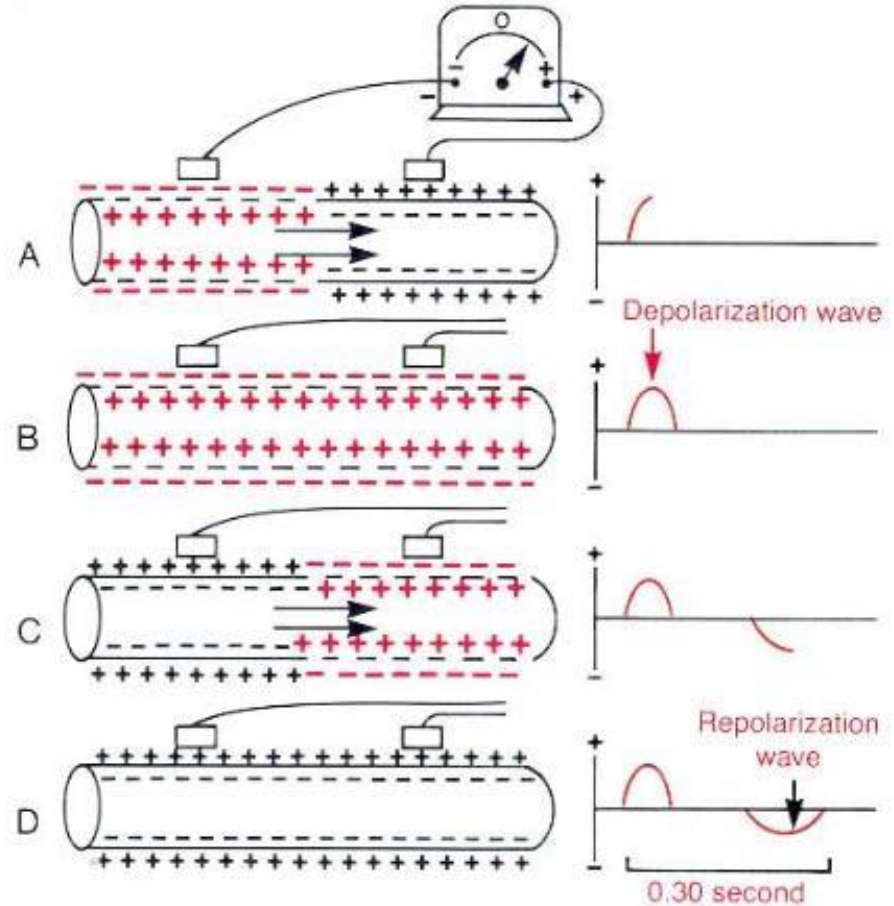
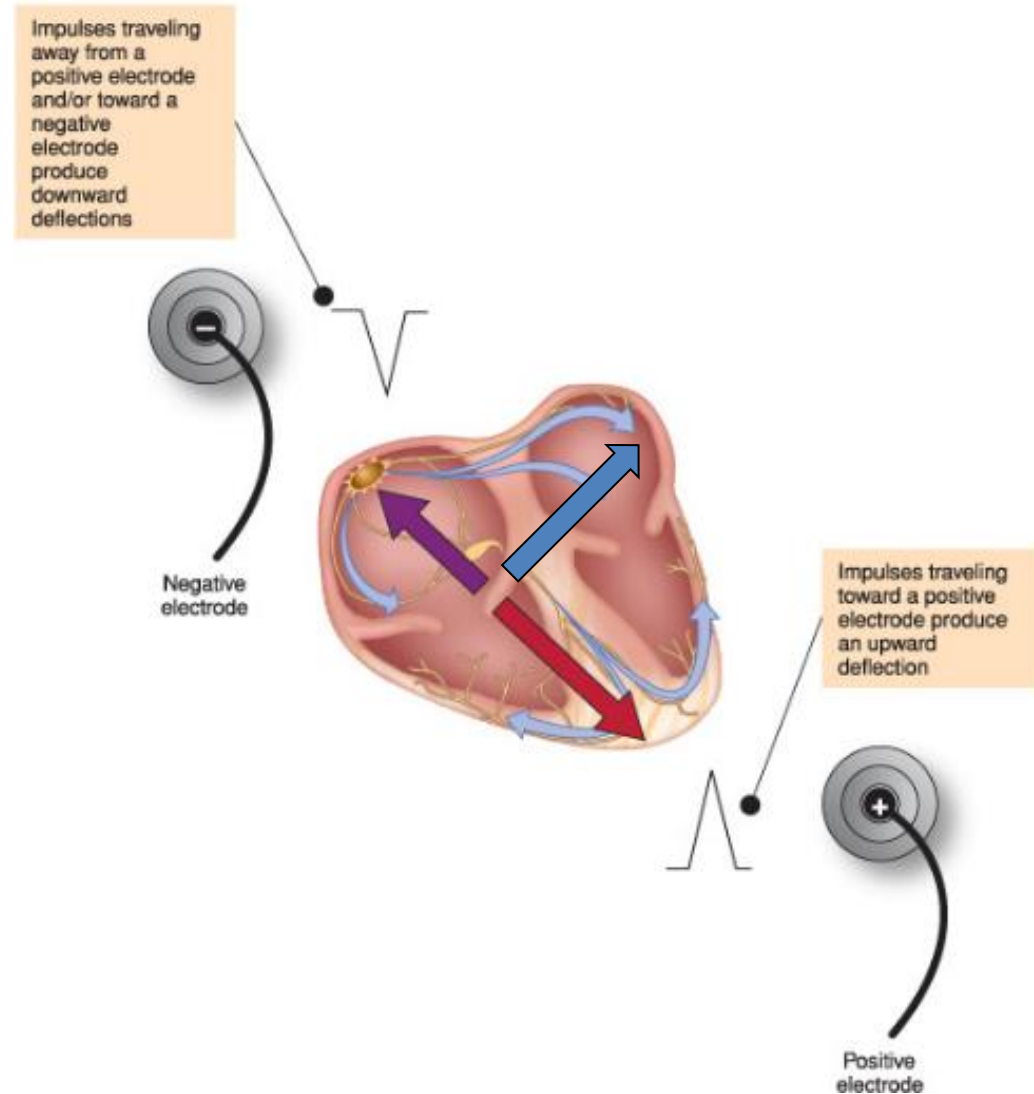
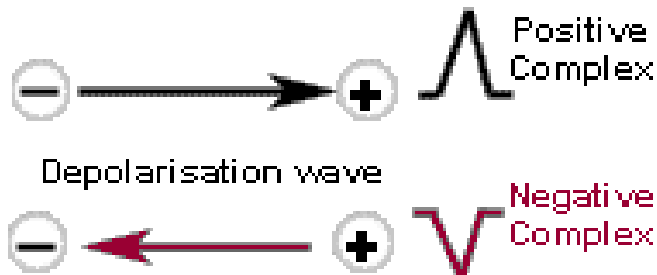
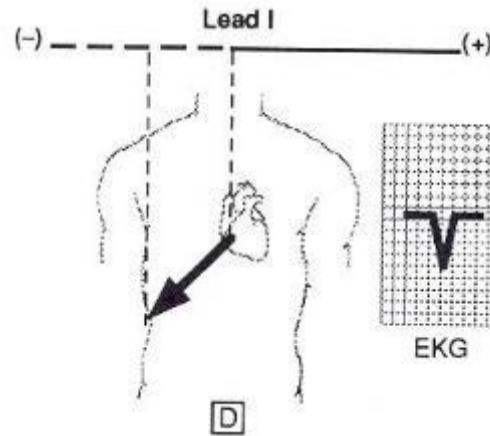
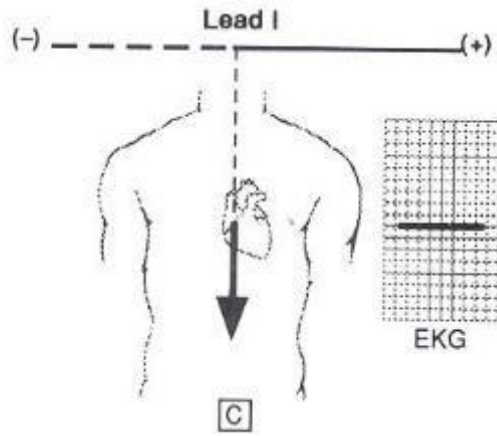
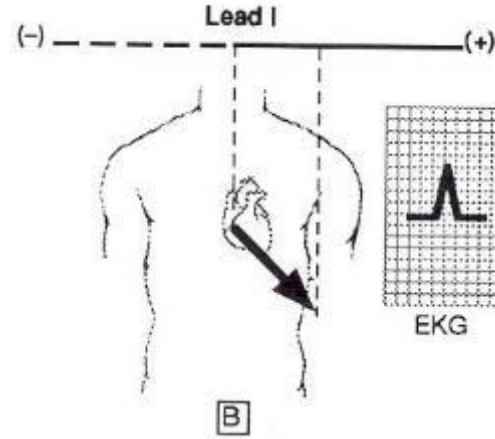
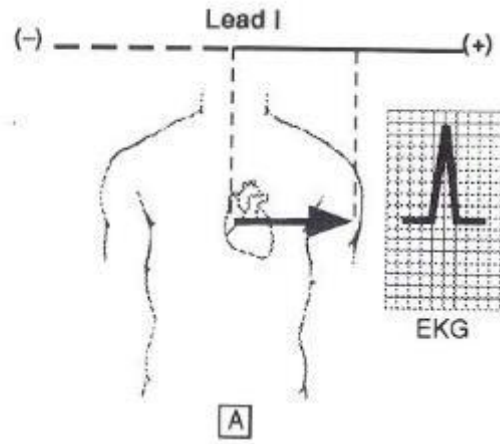


Figure 11-2. Recording the *depolarization wave* and the *repolarization wave* from a cardiac muscle fiber.

# Elektriksel Sinyallerin Yayılması ve Kayıtlandırılması

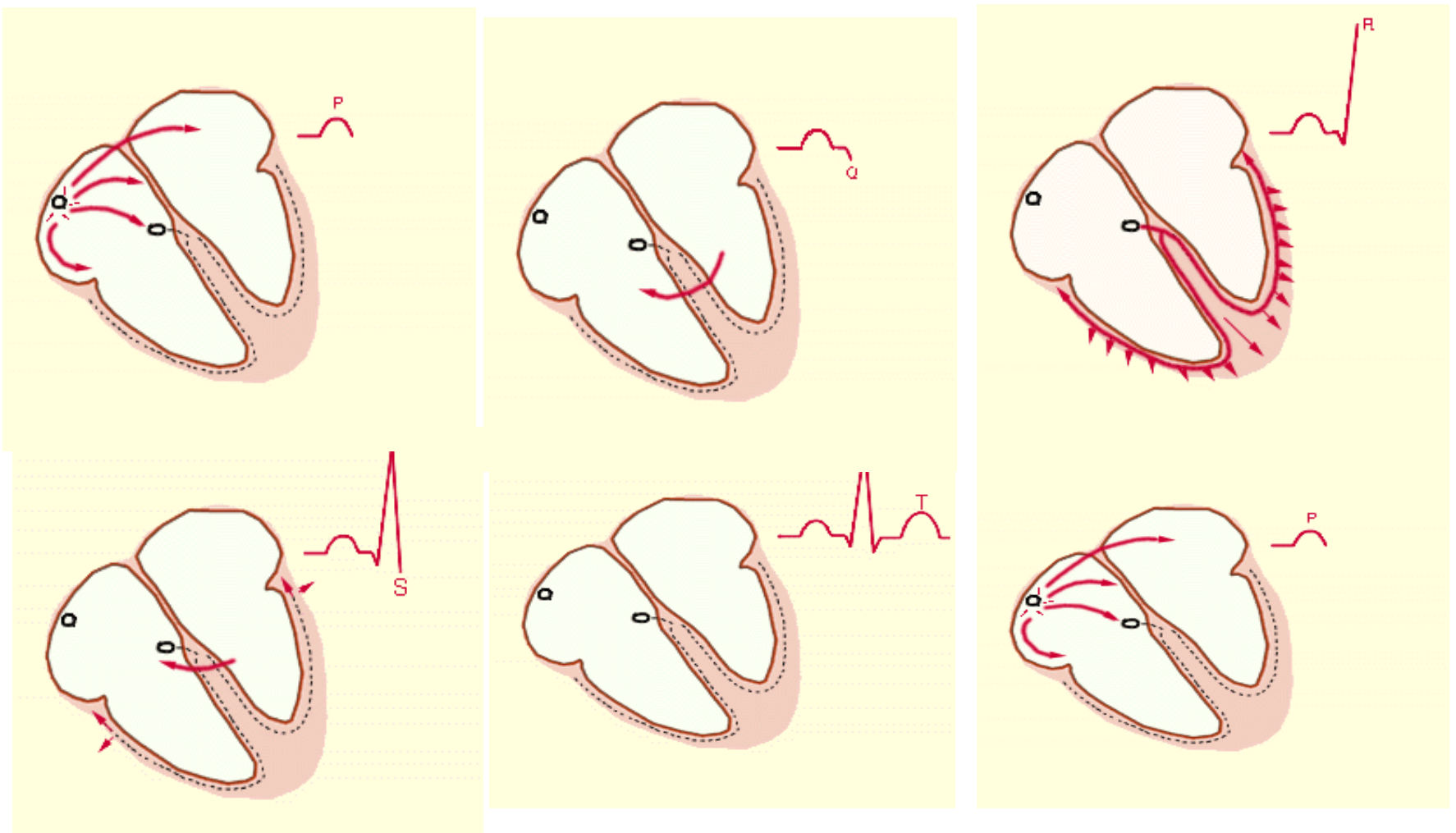
- Depolarizasyon (-) elektrottan (+) elektroda doğru yayılıyorsa, dalga yukarıya doğru
- Ters yönde yayılıyorsa aşağı doğru
- Depolarizasyon iki elektrodu birleştiren hatta dik olarak yayılıyorsa, potansiyel bir değişiklik kaydedilmez - sıfır





depolarize  
kalp  
bölgelerinden  
repolarize  
bölgelere  
doğru kalp  
vektörü

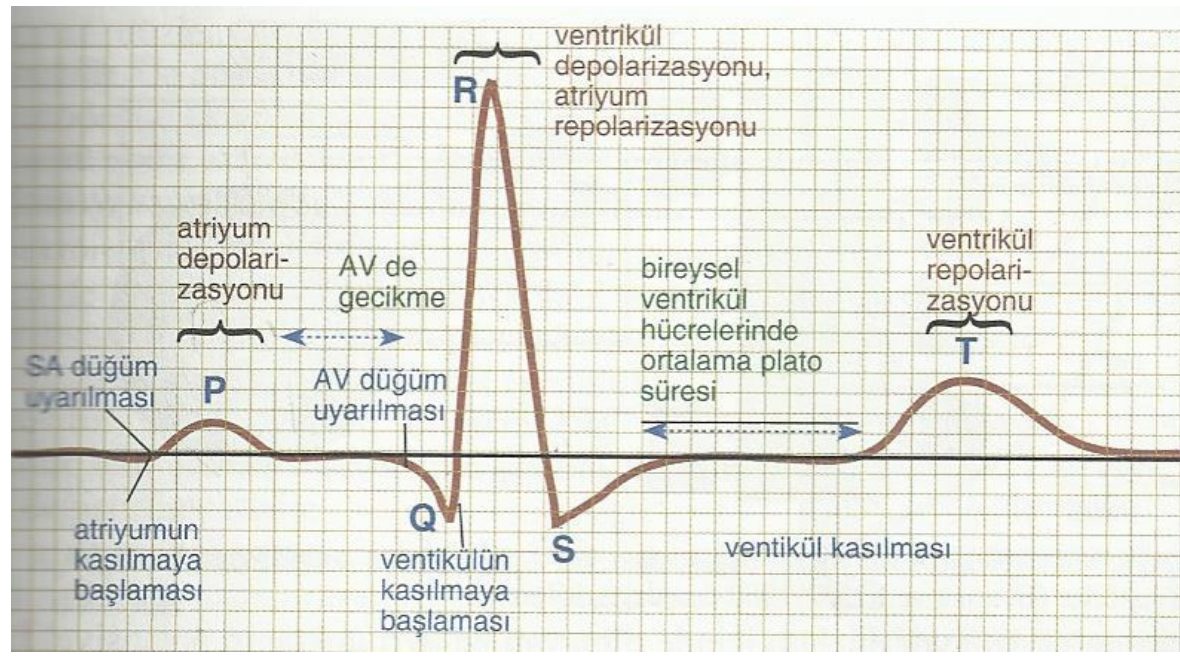
□ Akım yayılımının yönü, dalganın genliğini etkiler



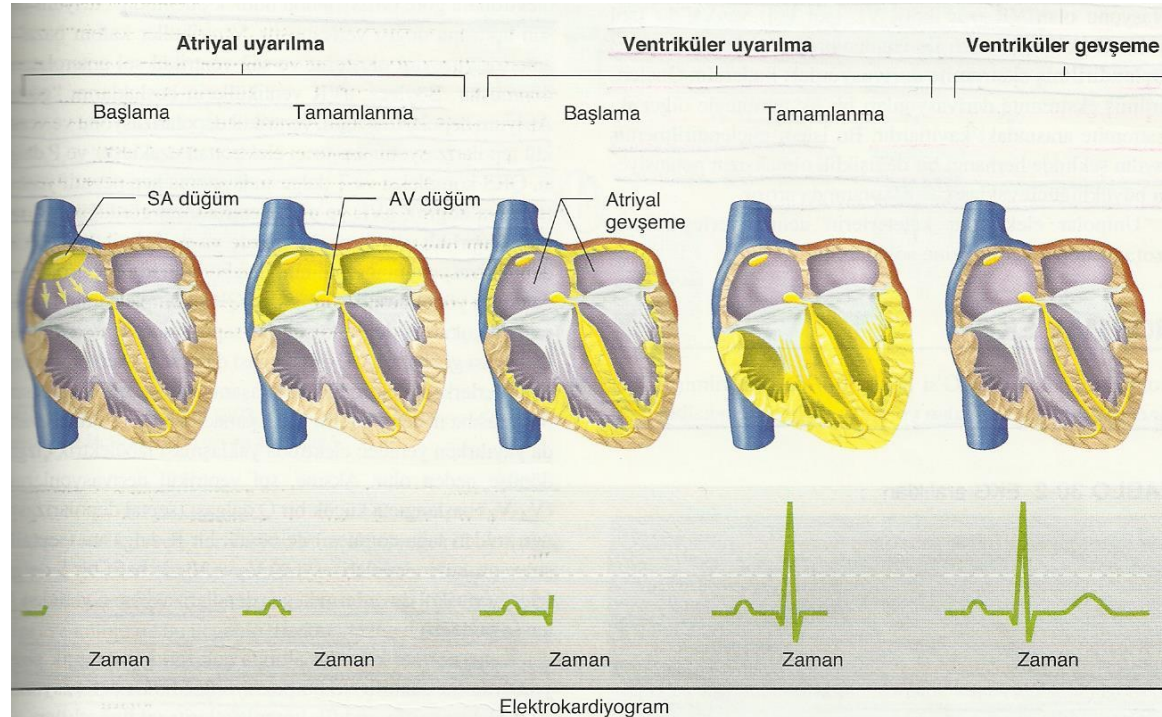
- ❑ Akım yayılım yönü, interventriküler septumda sağa doğrudur negatif Q dalgası
- ❑ Ventriküllerde depolarizasyon endokardiyumdan epi kardiya, sola doğru, aşağı doğru, geriye doğru yayılır-R dalgası
- ❑ Ventriküllerin bazı kısmı geç depolarize olur sola doğru-S dalgası

# **EKG' KAYITLARI BIYOFİZİKSEL TEMELLERİ**

# EKG eğrileri evreleri, Kalbin özel ileti sistemi ve kasılma evreleri cinsinden karşılıkları



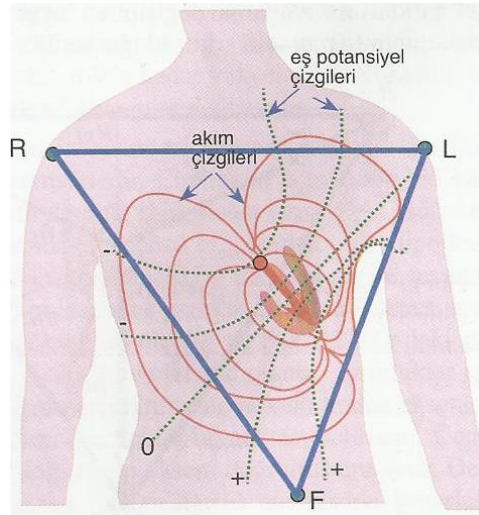
# Kalbin ileti sistemi ve Kalbin uyarı sırası





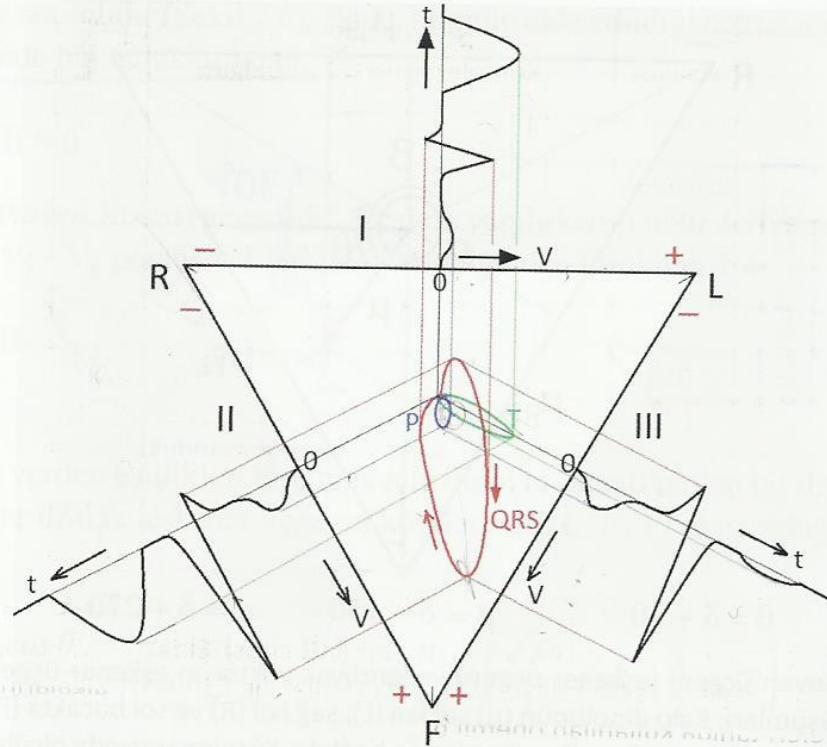
# Kalp dipolü ve EINTHOVEN Üçgeni

- Ventriküllerin değişik kesimlerinde yayılan depolarizasyon dalgaları “elektriksel dipol vektörleri” ile temsil edilir.
- Tüm depolarizasyon dalgalarının bileşkesine yani bileşke vektöre *kalbin elektriksel dipol momenti* veya **kalp dipolü** adı verilir.
- KALP DİPOLÜ, Einthoven Üçgeni nin ağırlık merkezinde düşünülür.



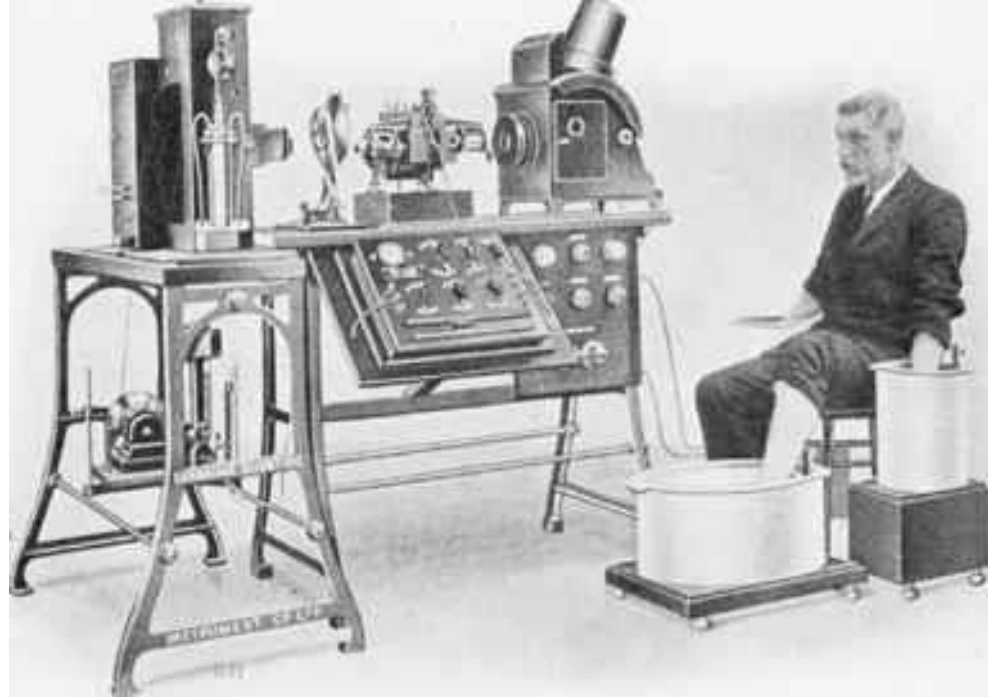
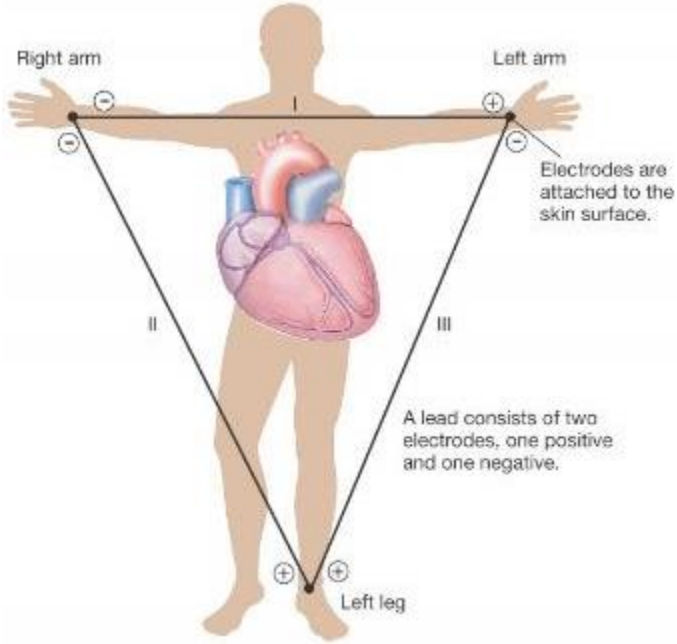
**$W=0$  Korunumlu kuvvetin yaptığı iş sifıra eşittir.**

- Bir hacim iletkeninde depolarizasyonun aktif elektrot yönünde hareket etmesi pozitif sapma oluşturur.
- Örn: Derivasyon I



**Şekil 7.8** Einthoven üçgeni ve kardiyak vektörün yönü ile büyüklüğünün değişmesi sırasında, bu vektörün uç noktasının frontal düzlemde çizdiği kapalı eğriler. Kardiyak vektörün eşkenar üçgenin kenarları üzerindeki izdüşümleri ile orantılı potansiyel farklarının (I, II ve III nolu derivasyonlar) zamanla değişimi. Eğrilerdeki eksenleri gösteren oklar pozitif değerlere yönelmiştir ve şekiller kardiyak vektörün değişimine uygun bir biçimde çizilmiştir. Şekiller, potansiyel (V) düşey ekseninde, zaman (t) ise yatay ekseninde olacak şekilde dödürülerek kolayca incelenebilir.

# Einthoven Üçgen modeli

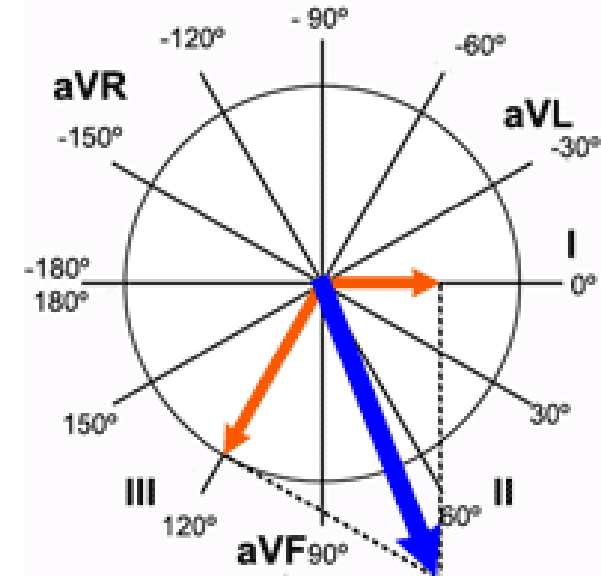
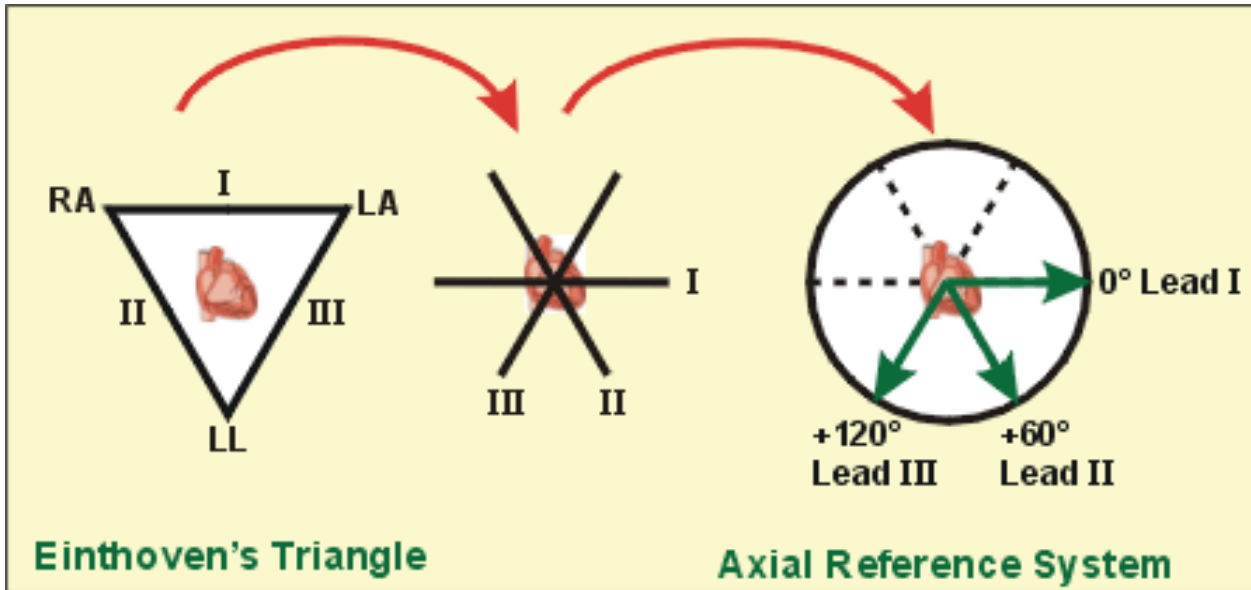


- Üç bipolar ekstremite ekseninin eksenleri tarafından oluşturulan merkezde kalbi olan bir sanal eşkenar üçgen
- Herbir derivasyon kalbi farklı bir perspektiften inceliyor
- Kardiyak dipolün yönü Einthoven üçgen modeli kullanılarak bulunabilir
- Dipol AV düğümü gösteren üçgenin merkezinde başlar

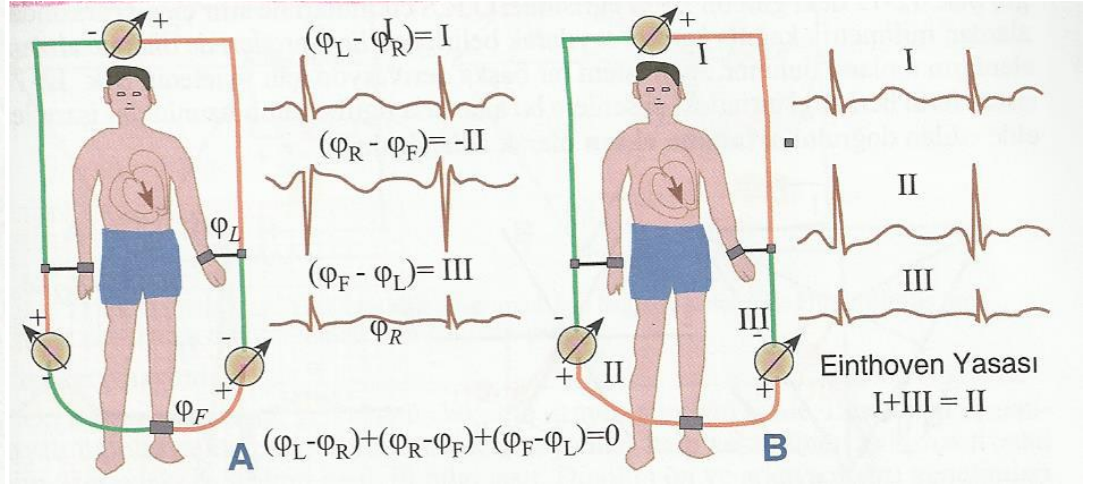
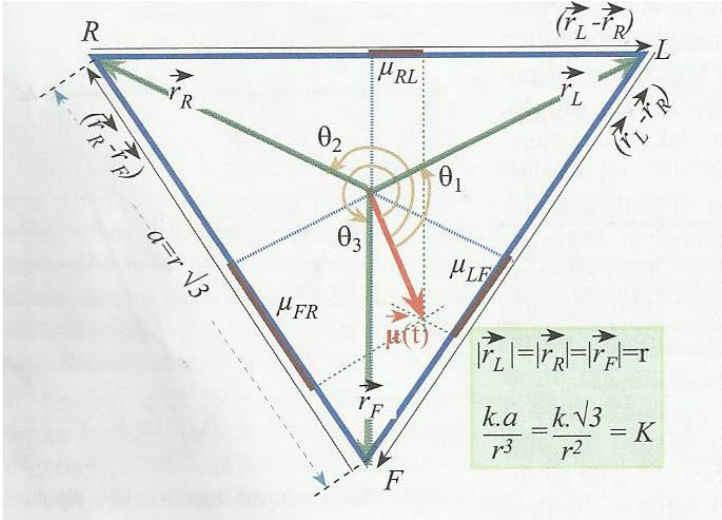
**Einthoven Üçgen Yasası :** Einthoven üçgeni köşeleri arasındaki potansiyel farklarının toplamı sıfırdır.

$$\text{Derivasyon I} + (- \text{Derivasyon II}) + \text{Derivasyon III} = 0$$

$$\text{Derivasyon I} + \text{Derivasyon III} = \text{Derivasyon II}$$



# STANDAR BİPOLAR EKSTREMİTE DERİVASYONLARI



**Einthoven Üçgeni**

$$\begin{aligned} V_L - V_R &= I & V_F - V_R &= II & V_F - V_L &= III \\ (V_L - V_R) + (V_F - V_R) + (V_F - V_L) &= 0 \end{aligned}$$

**W=0 (Korunumlu  
kuvvetin yaptığı iş  
sıfıra eşittir)**



$$\mathbf{I + II + III = 0}$$

**Einthoven Üçgen  
Yasası**

□ Klinik uygulamalarda, kalbin EKG eğrilerinin incelenmesi (atım hızı, genlik..) yanında, **kardiyak vektörün büyüklüğü, yönü ve elektriksel ekseninin** de belirlenmesi önemlidir

# Güçlendirilmiş unipolar derivasyonlar

$aVR: (I+II)/2$

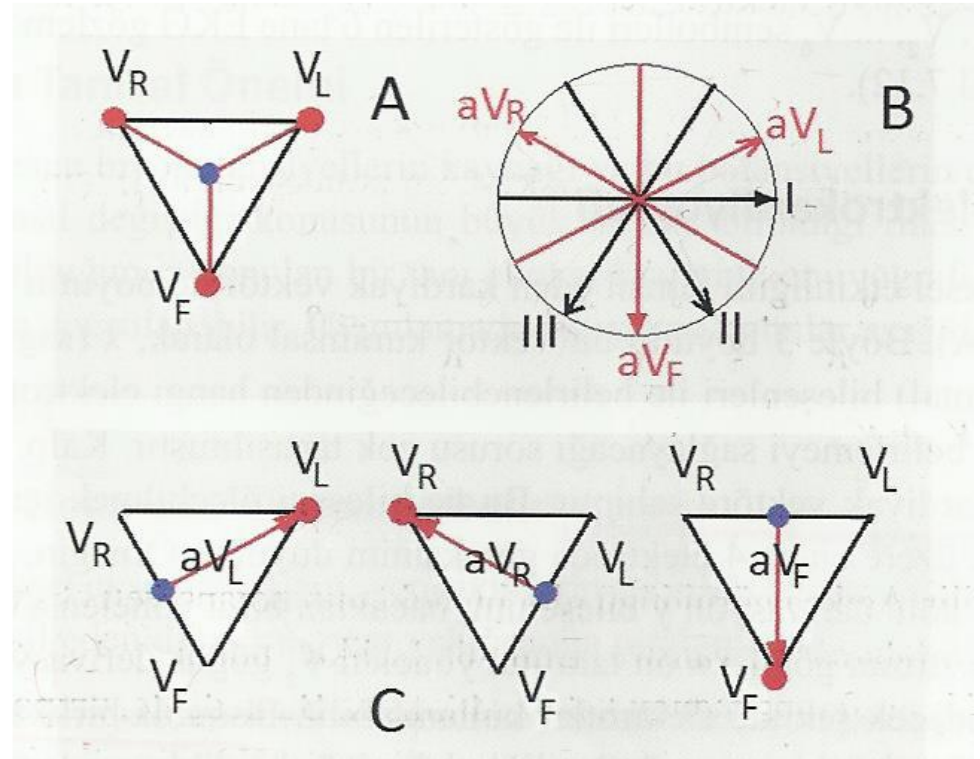
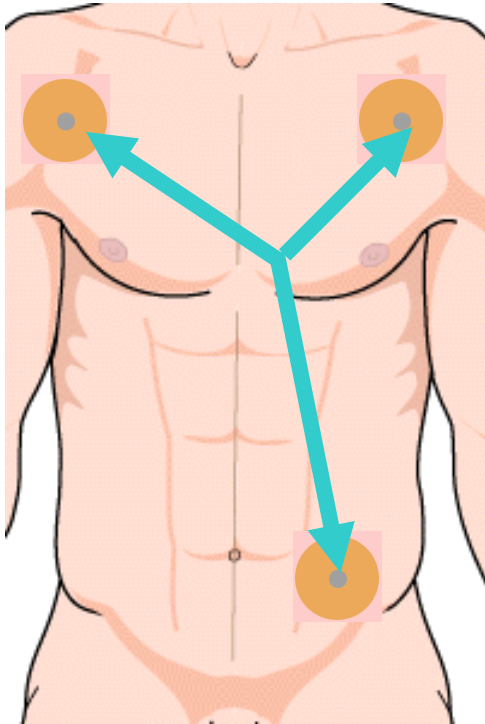
$aVL: (I-III)/2$

$aVF: (II+III)/2$

$aVR$ : Sağ kol +, sol kol ve sol ayak -

$aVL$ : Sol kol +, sağ kol ve sol ayak -

$aVF$ : Sol ayak +, sol kol ve sağ kol -



# Göğüs (Prekordiyal) derivasyonları:

□ Araştırıcı elektrot ile nötr elektrot arasında  
6 derivasyon

**V1:** 4. interkostal aralıkta sternumun sağ kenarına,

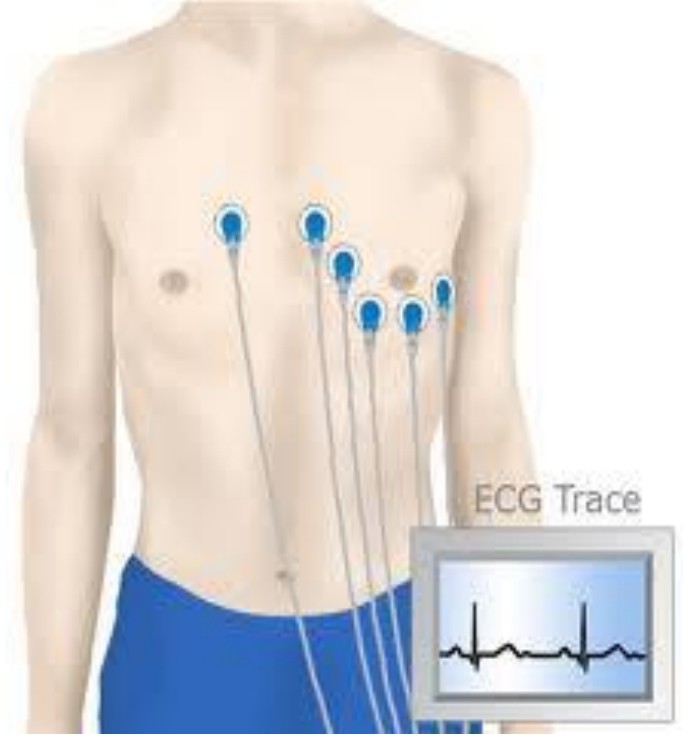
**V2:** 4. interkostal aralıkta sternumun sol kenarına,

**V3:** V2 ile V4 noktalarının orta noktasına,

**V4:** Midklavikular çizginin 5. interkostal bölge ile kesiştiği noktaya,

**V5:** V4 noktasından çizilen yatay çizginin ön koltuk çizgisini kestiği noktaya.

**V6:** Sol orta koltuk çizgisinin V4 çizgisi ile kesiştiği noktaya

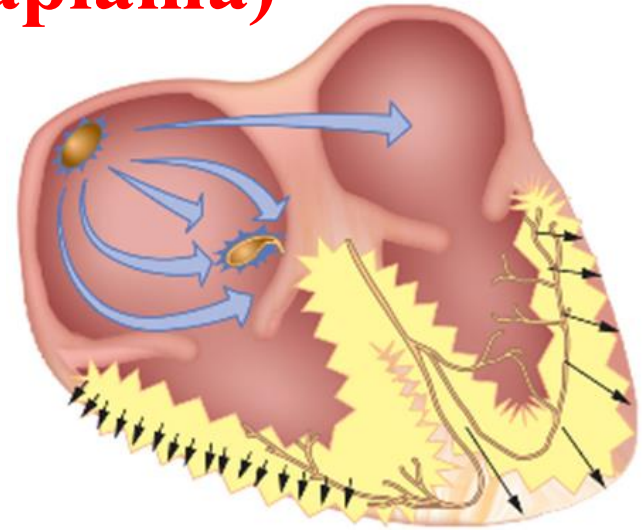
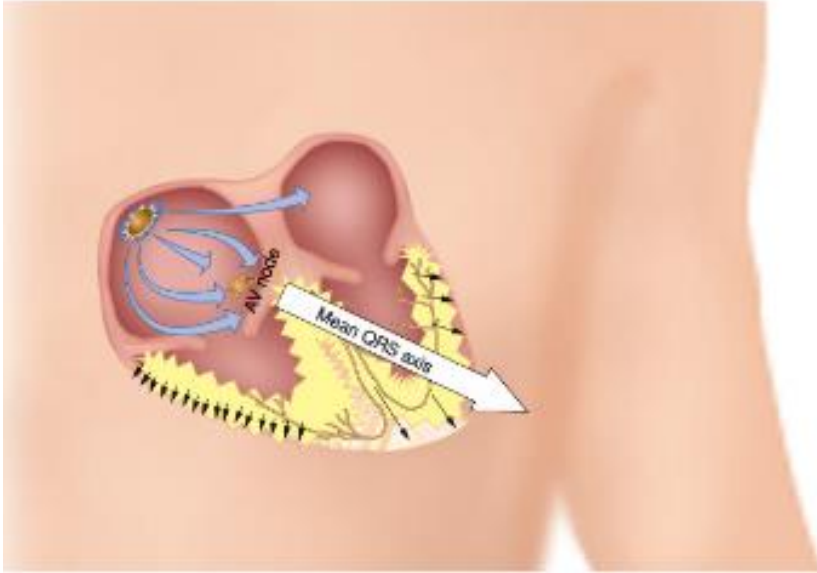




# **KARDİYAK VEKTÖRÜN BÜYÜKLÜĞÜ ve YÖNÜ**

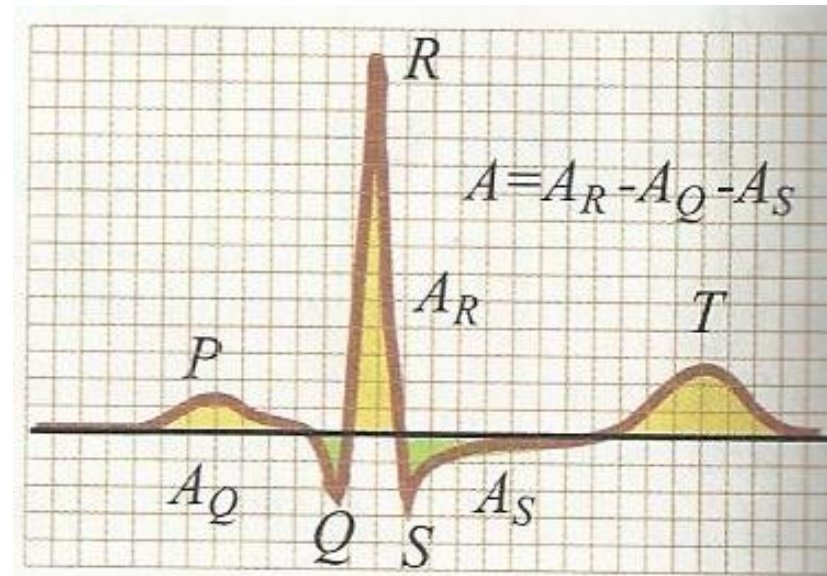
- ORTALAMA QRS komplekslerinin integralinden hesaplanabilir**
- Negatif ve pozitif yöndeki QRS uçları arasındaki net farkın ölçülmesiyle hesaplanabilir**

# KARDİYAK VEKTÖRÜN BÜYÜKLÜĞÜ ve YÖNÜ (İntegral Hesaplama)

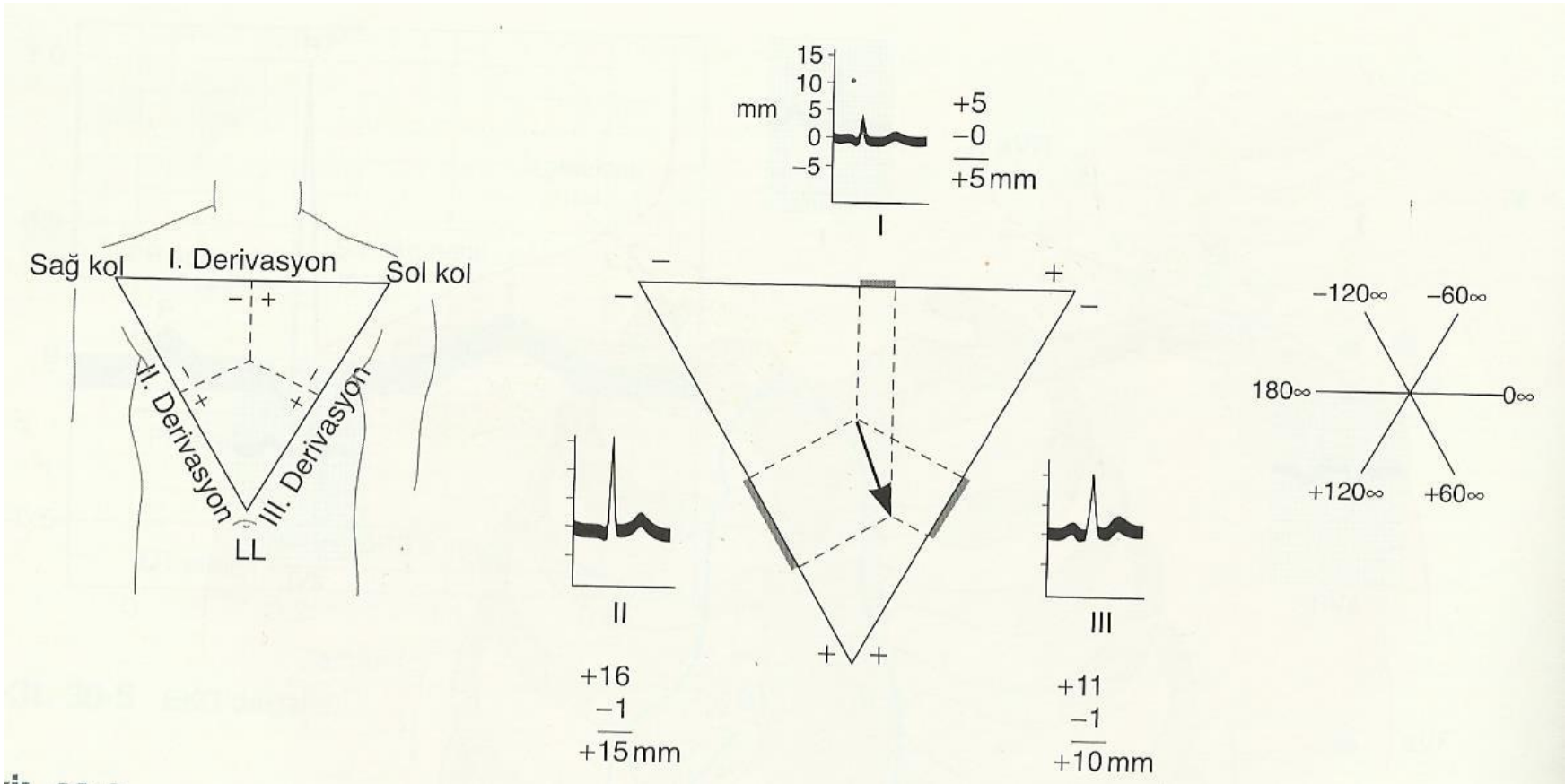


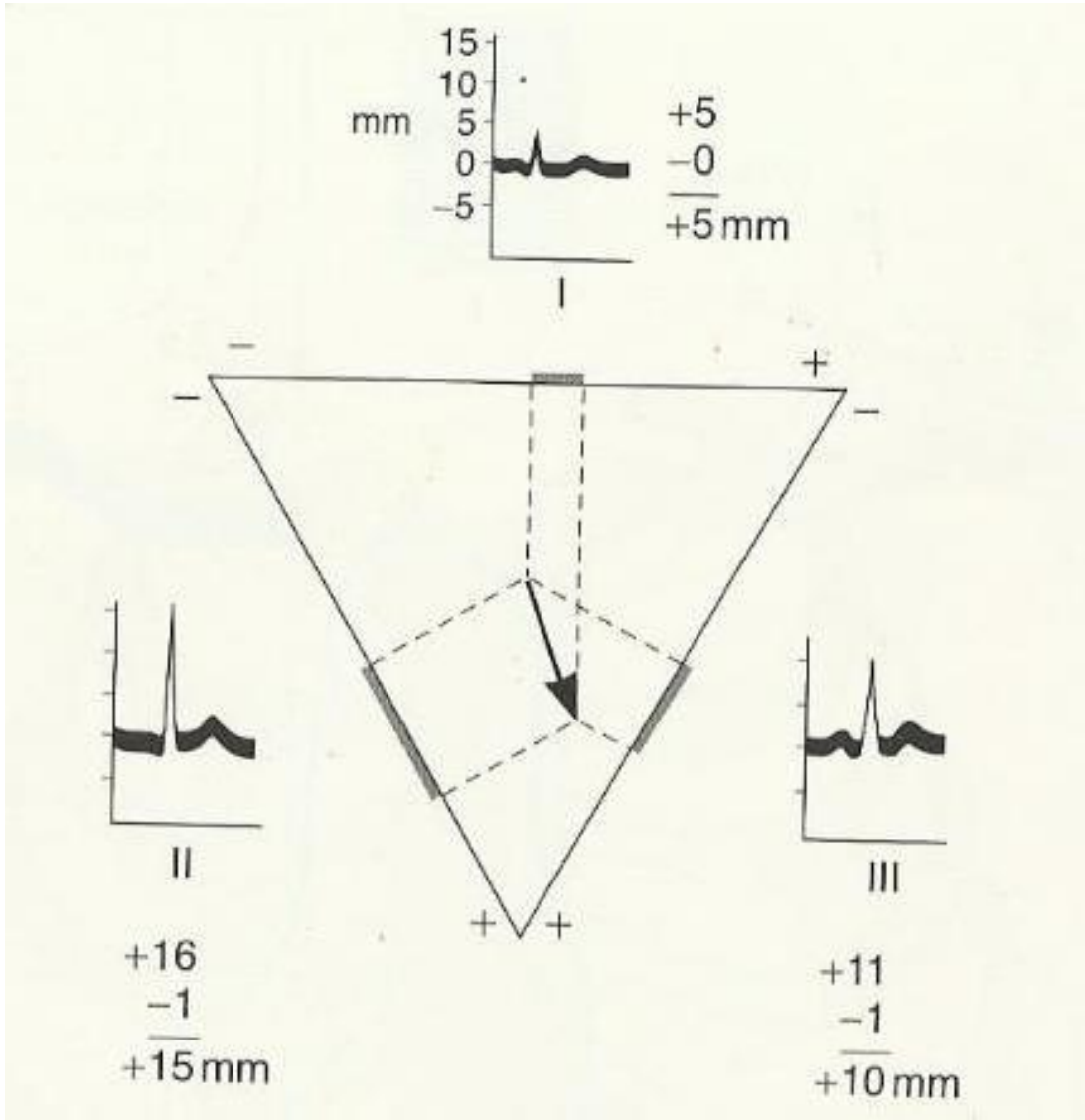
$$\overline{\mu(t)} = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} \mu(t) \cdot dt$$

$$\overline{\mu(t)} = \int_{QRST} \mu(t) \cdot dt$$



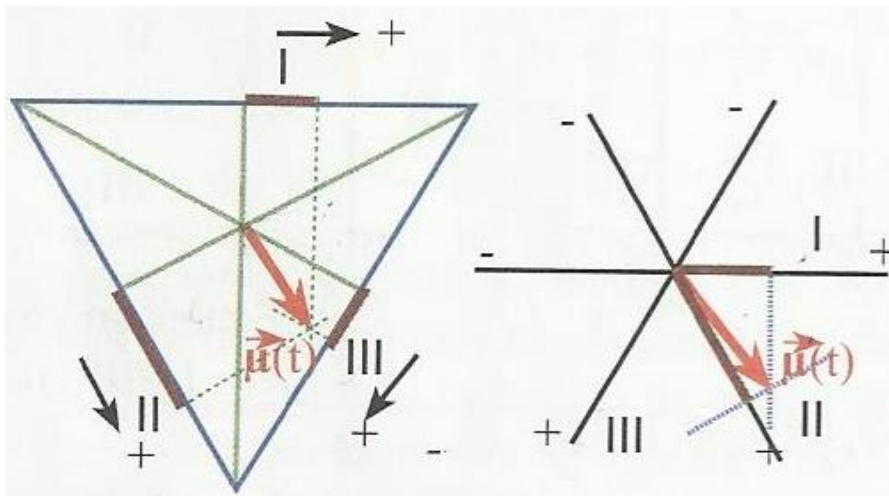
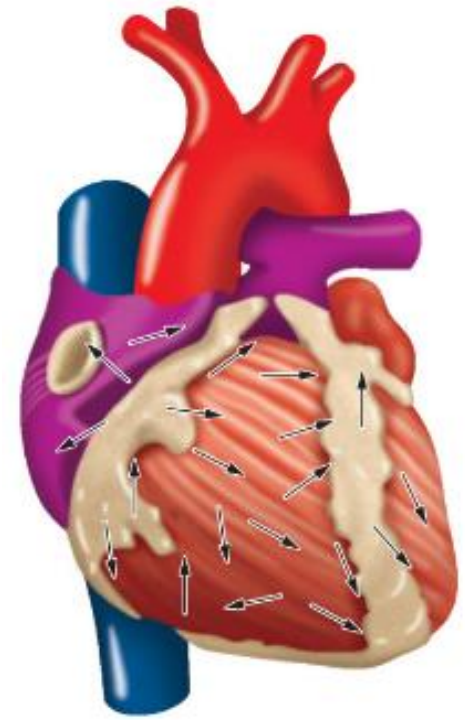
# KARDİYAK VEKTÖRÜN BÜYÜKLÜĞÜ ve YÖNÜ (QRS uçları arasındaki net farktan hesaplama)



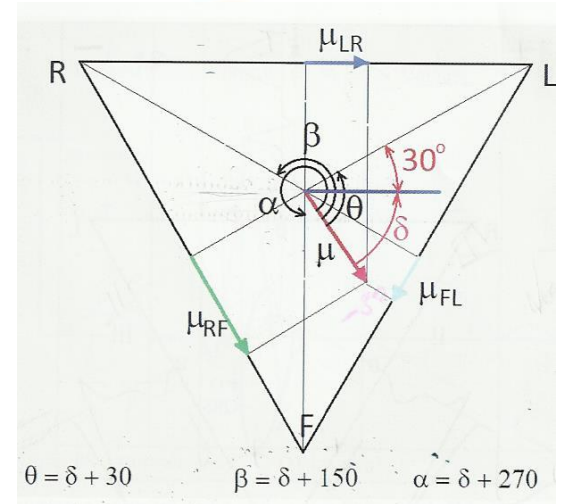


# KARDİYAK EKSEN

- ❑ Elektrik akışının ortalama yönü veya kalpten depolarizasyon
- ❑ **Ortalama elektriksel vektörün yönü**
- ❑ -30 ile +90 derece normal
- ❑ Eksen sadece frontal düzlemde tanımlanır
- ❑ **Ortalama QRS eksenini çok önemlidir**



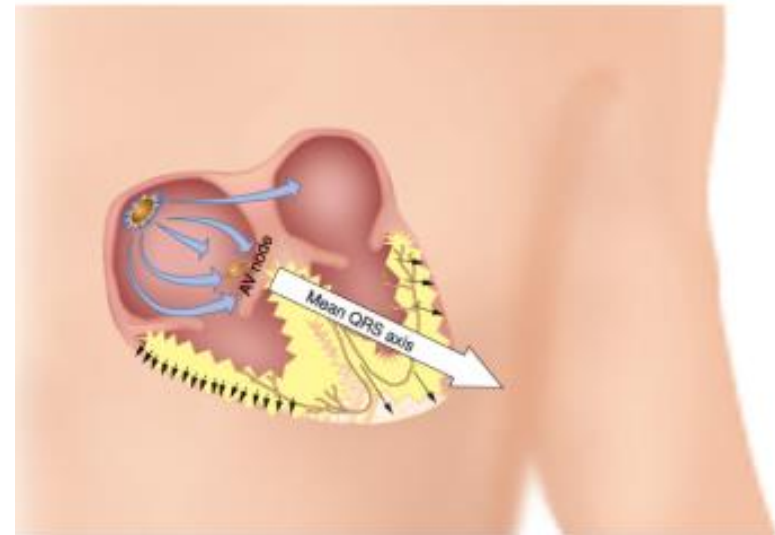
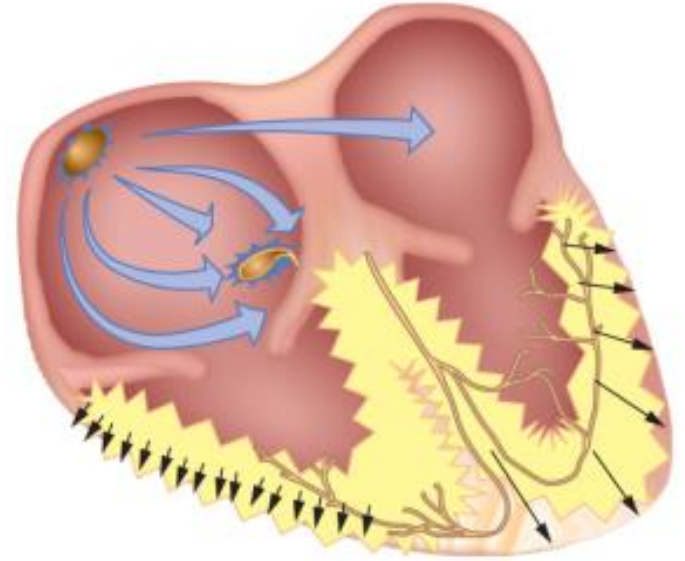
Kalbin elektriksel ekseninin çizimi



Kardiyak vektörün Einthoven üçgeni üzerindeki izdüşümü

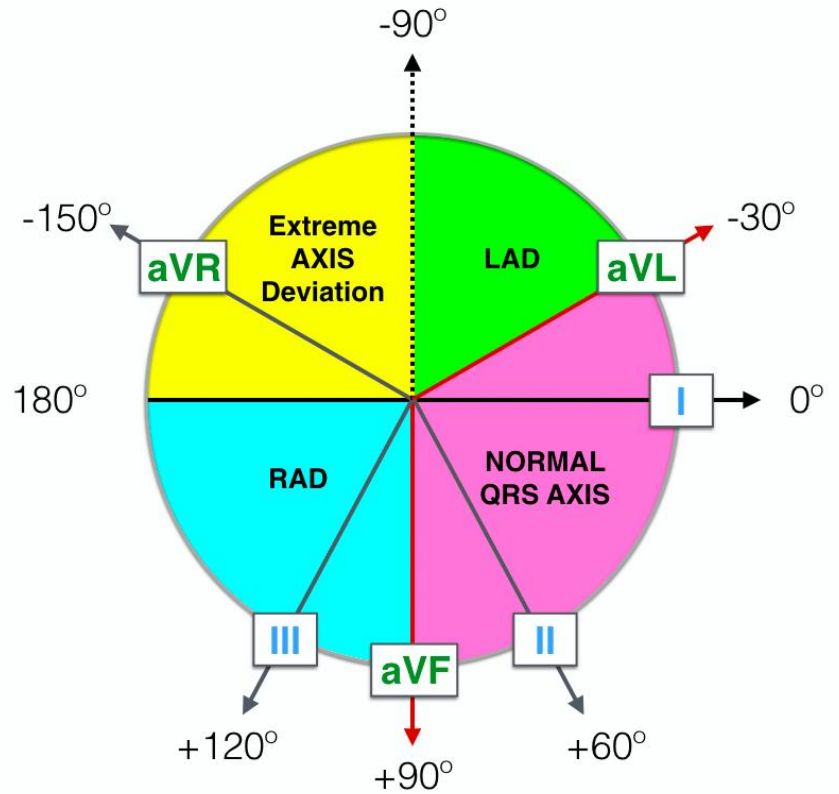
# Ventrikül Depolarizasyonu ve QRS eksenini

- Önce sağ ventrikül aktivasyonunun tamamlanması
- RV'nin daha ince duvarı, LV'nin kalın duvarından daha hızlı impuls iletir
- Daha kalın LV'nin küçük depolarizasyon vektörleri daha büyüktür
- Bu nedenle, **ortalama QRS eksenini sola daha fazla işaret eder**



# Cardiac Axis

- -30 ila +90 derece normal.
- Sol eksen sapması (LAD), -30 ila -90 derece.
- Sağ eksen sapması (RAD), +90 ila +180 derece.
- Aşırı eksen sapması (EAD), -90 ila +180 derece.
- Belirsiz eksen, eksen öne veya arkaya yönlendirilir, enlemesine bir düzlemde, tüm uç uçları bifaziktir.

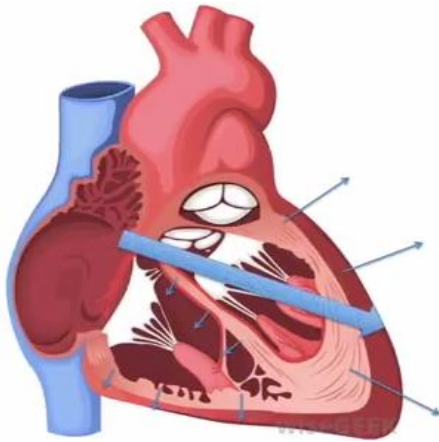


# Cardiac Axis

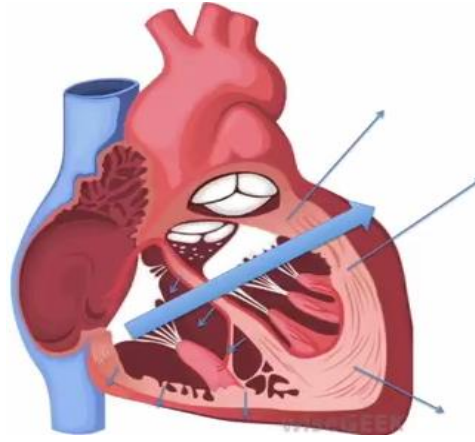
Eksenin konumu

aşağıdakilerden etkilenir:

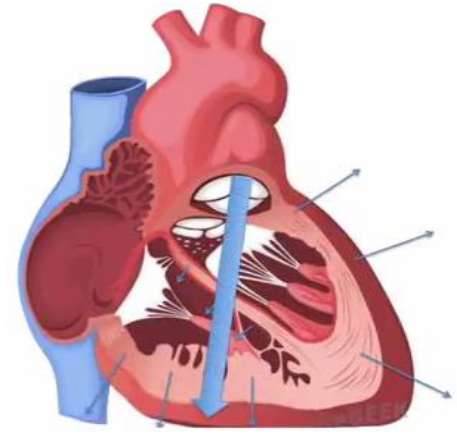
- Kalbin göğsündeki konumu
- Kalp boyutu
- Hastanın vücut büyüklüğü
- İletim yolları
- Miyokardiyal enfarktüs



Normal



LVH



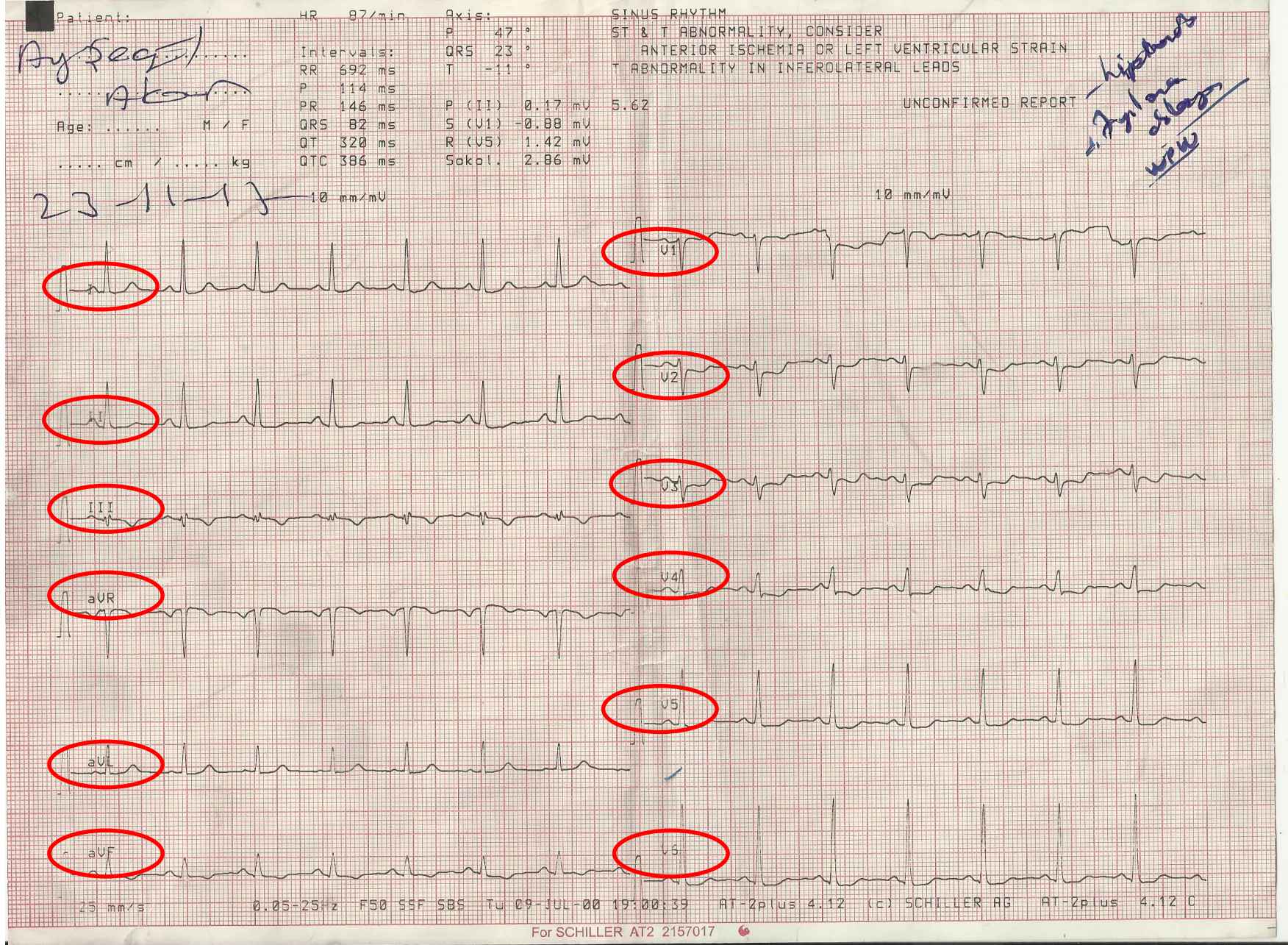
RVH



**CMFT**  
**ugme**

undergraduate medical education

# □ Klinik EKG kayıtlarında 12 Derivasyon kaydı alınır



## KAYNAKLAR

1-BİYOFİZİK (Prof. Dr.Ferit Pehlivan)

2-Biyofizik yöntemler Biyolojik etkiler önlemler  
(Prof. Dr. Hasan Esan-Prof. Dr.Ferhan Esen)

3-Ganong'un Tıbbi Fizyoloji (Kim E. Berrit ve  
ark.)