

# Система кровообращения

**Система кровообращения  
вместе с нервной системой  
объединяет все органы в единый  
организм**

# Основные функции

- Основные ее функции заключаются в:
- *1) транспорте питательных веществ к месту их усвоения,*
- *2) транспорте продуктов обмена от места образования к органам выделения,*
- *3) транспорте газов,*
- *4) транспорте гормонов и других биологически активных соединений,*
- *5) транспорте тепла.*
- **Кроме того, специфическая функция многих органов напрямую связана с циркуляцией крови по ним.**

# Для непрерывности кровотока необходимо несколько обязательных условий

- Первое из них заключается в соответствии емкости полостей сердца и сосудов объему крови, находящейся в них.
- Другим условием является то, что правый и левый отделы сердца должны работать сопряженно: оба желудочка при каждой систоле должны выбрасывать в соответствующие сосуды одинаковое количество крови.
- Удобным показателем оценки функции желудочков является минутный объем выбрасываемой крови (МОК). МОК как в малом, так и большом кругах кровообращения должен быть одинаковым.

# Анатомия сердца

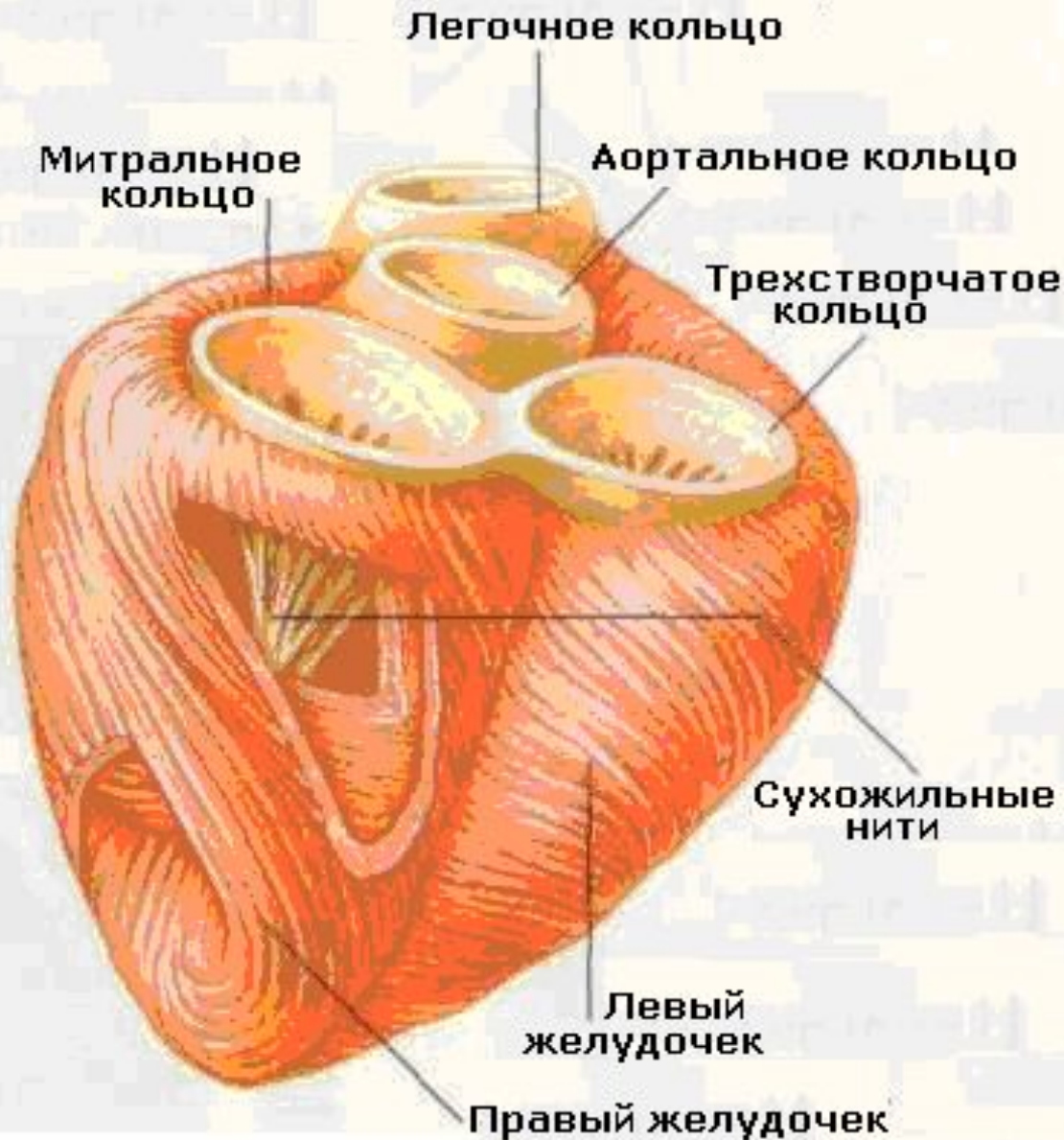


Б - вид сверху  
(удалены предсердия)

Основные отделы — желудочки.

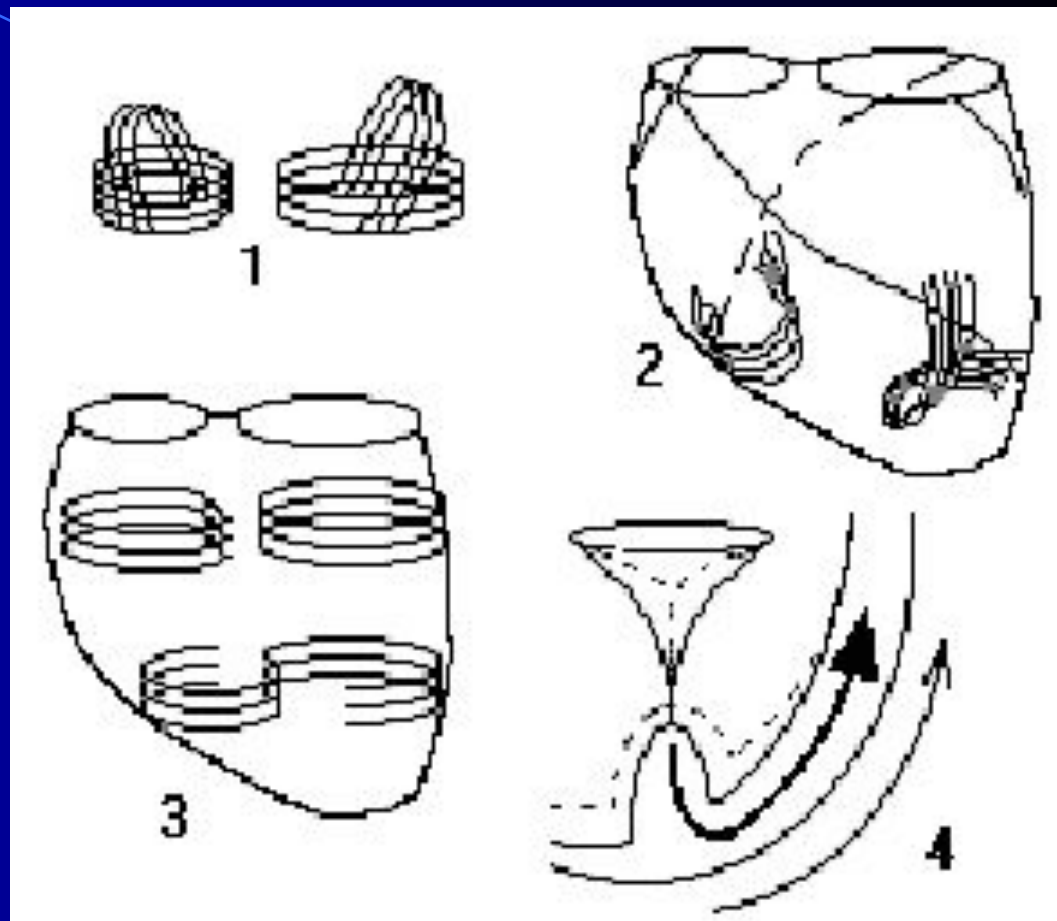
Предсердия играют вспомогательную функцию: в них поступает кровь в то время, когда происходит систола желудочков.

# Направление волокон кардиомиоцитов

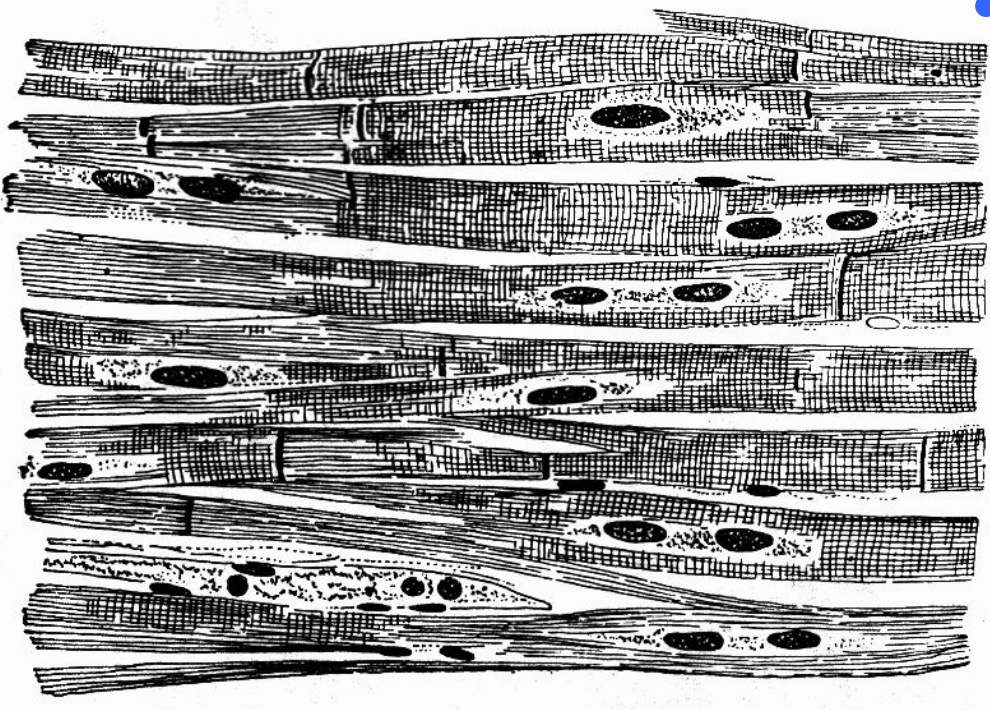


- Стенка левого желудочка взрослого человека значительно толще, чем правого, так как он обеспечивает циркуляцию крови по большому кругу кровообращения.

- **Схема направления мышечных волокон в отделах сердца:**
- **1 – предсердия (два слоя),**
- **2- внутренний и поверхностный слои желудочков,**
- **3 - средний слой желудочков,**
- **4 - предсердно-желудочковый клапан**



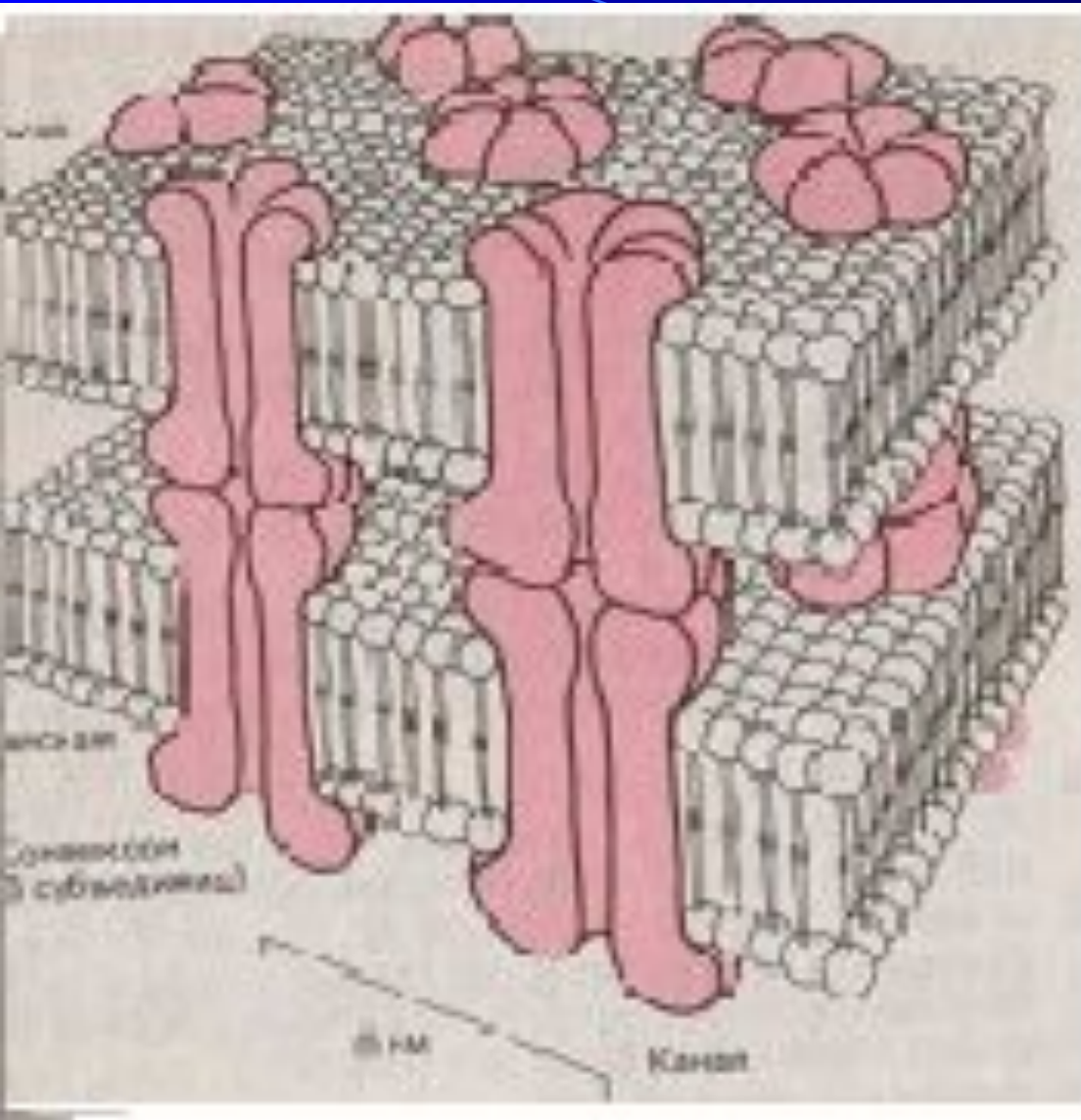
# Кардиомиоциты



• Прямоугольной формы кардиомиоциты имеют длину около 120 мкм и толщину - 17-20 мкм. В них имеются все структуры, характерные для волокон поперечнополосатой скелетной мышцы: ядра, миофибриллы, митохондрии, саркоплазматический ретикулум (СПР).

- Но емкость СПР {а это депо  $Ca^{2+}$  меньше, чем в скелетных мышцах.

# Нексусы



- Сближение соседних волокон и белков-каналов обеспечивает передачу ПД с одного волокна на другое.
- Тем самым образуется **функциональный синцитий**: благодаря чему все кардиомиоциты возбуждаются и сокращаются одновременно.



# Физиологические свойства сердца

- По своим функциональным характеристикам миокард находится между поперечно-полосатыми и гладкими мышцами.

Его свойства:

- Возбудимость
- Рефрактерность
- Автоматизм
- Проводимость
- Сократимость

# Ионные каналы и насосы сократимых кардиомиоцитов

## Каналы

быстрые (Na)

медленные (Ca, Na)

калиевые:

потенциалозависимый  
и  
кальцийзависимый

- Мембрана кардиомиоцитов содержит много белков, выполняющих функции ионных насосов. Так, например, плотность Na,K-насосов более чем в 100 раз превышает плотность каналов для этих ионов.
- Здесь имеется большое количество и Ca-насосов.

# Ионные каналы клеток проводящей системы

**КАНАЛЫ**

```
graph TD; A[КАНАЛЫ] --- B[Медленные (Ca, Na)]; A --- C[Потенциалозависимые (K)]; A --- D[Кальцийзависимые (K)];
```

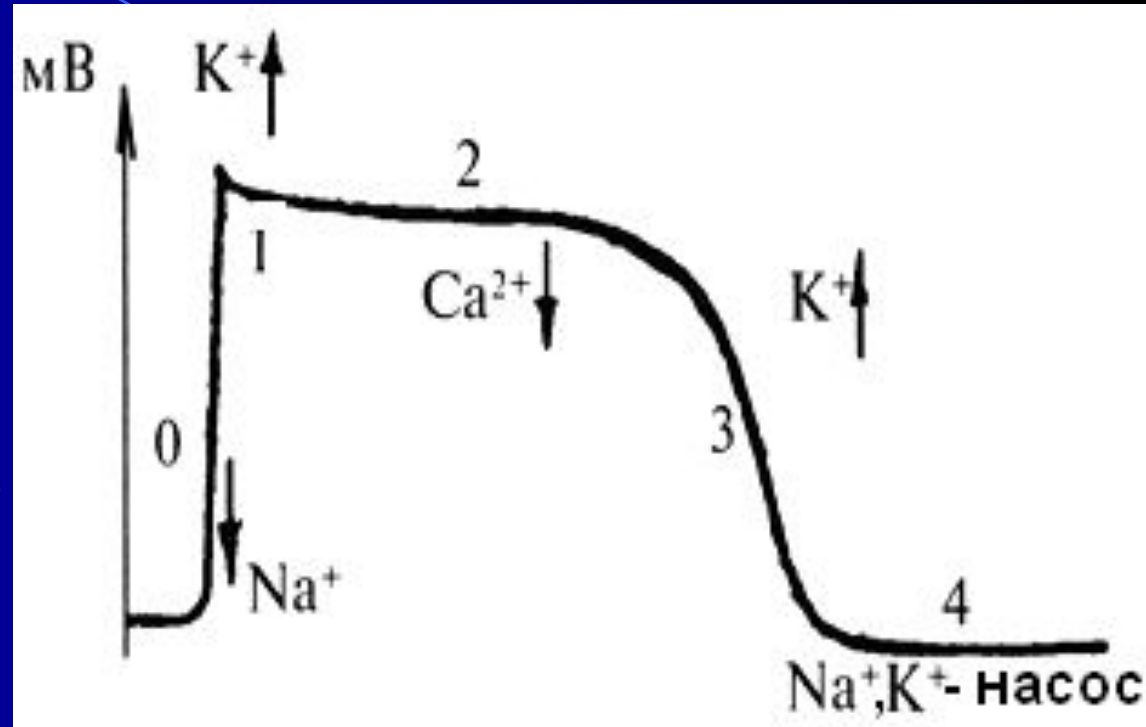
**Медленные  
(Ca, Na)**

**Потенциалозависимые  
(K)**

**Кальцийзависимые  
(K)**

# Фазы развития ПД в сократимых кардиомиоцитах

- ПП равен 90 мВ.
- Критический уровень деполяризации: -50 - -55 мВ
- *0 – фаза деполяризации,*
- *1 – фаза быстрой реполяризации,*
- *2 – плато,*
- *3 – фаза медленной реполяризации,*
- *4 – фаза покоя.*



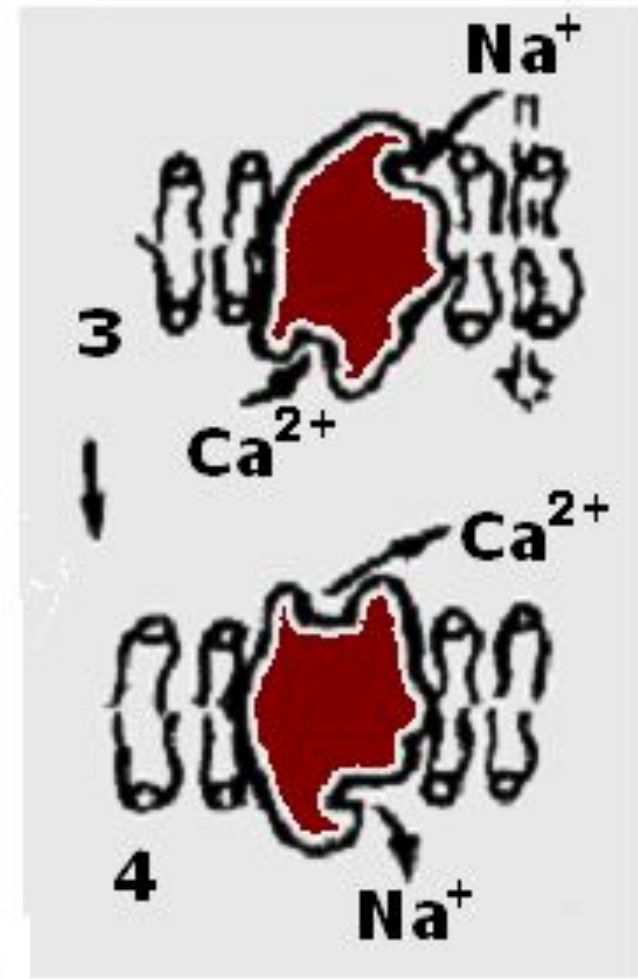
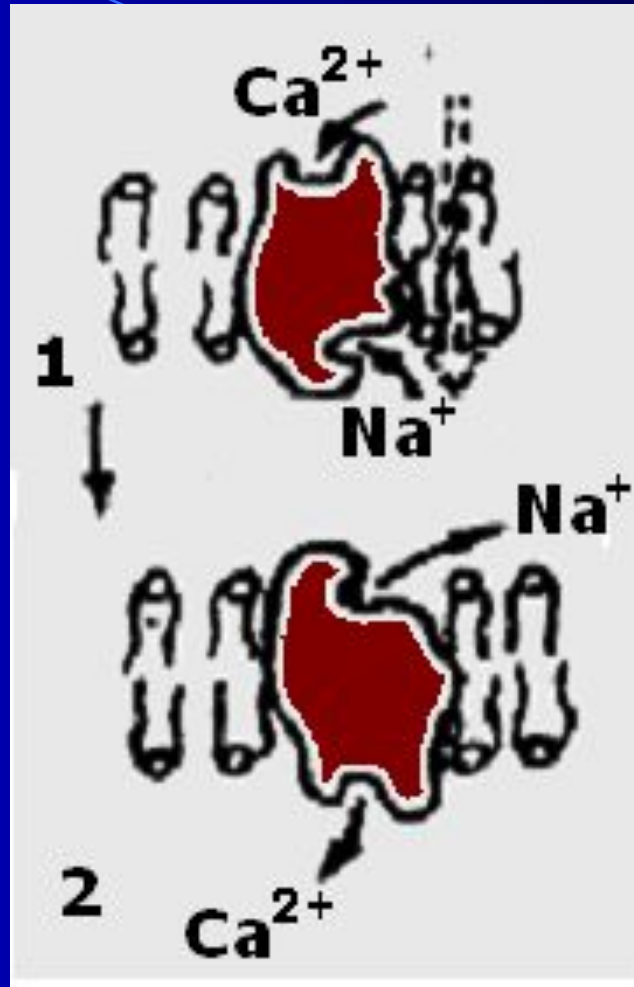
# Натрий-кальциевое сопряжение

- 1-2 – транспорт кальция внутрь, а натрия – наружу;

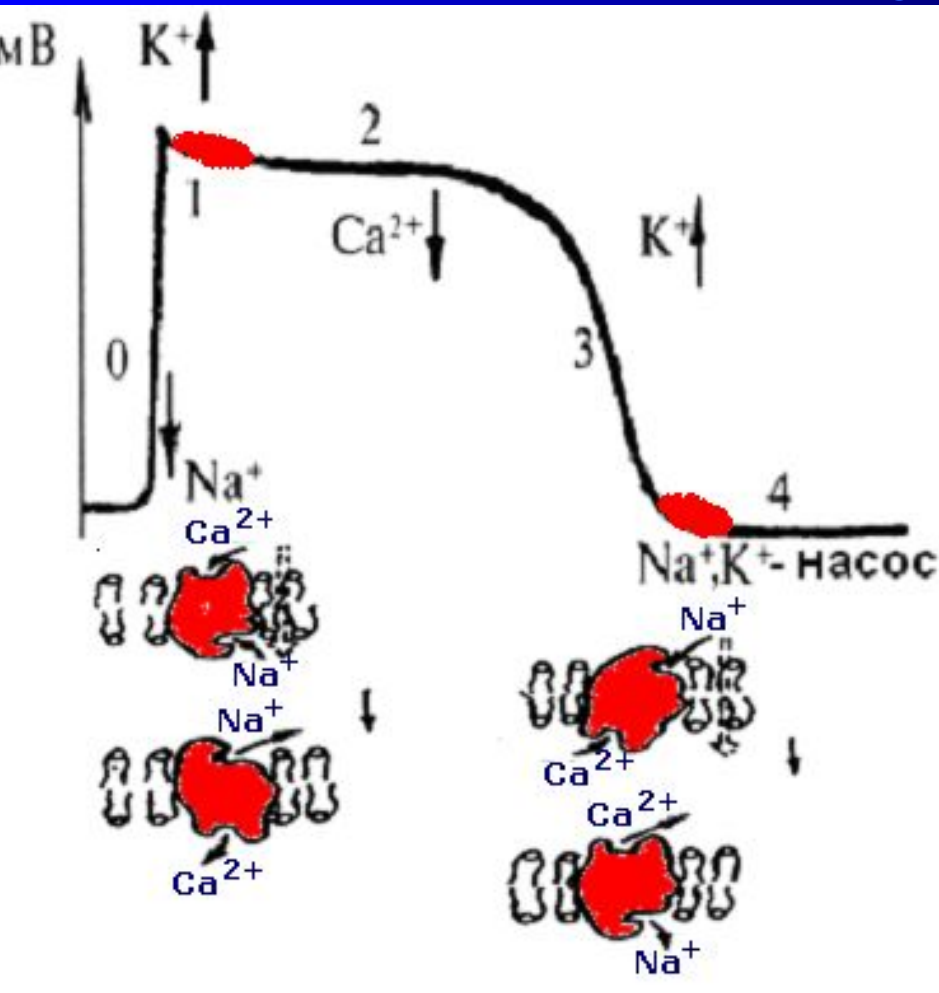
*По концентрационному градиенту кальция.*

- 3-4 – транспорт натрия внутрь, а наружу – кальция.

*По концентрационному градиенту натрия.*



# Подключение Na-Ca-сопряжения (без затраты энергии) к ионной проницаемости при развитии ПД



- В начале развития ПД сопряжение:

а) устраняет из цитоплазмы Na (что бы не включался Na-K- насос),

б) внутрь отправляет Ca (плато).

В конце развития ПД:

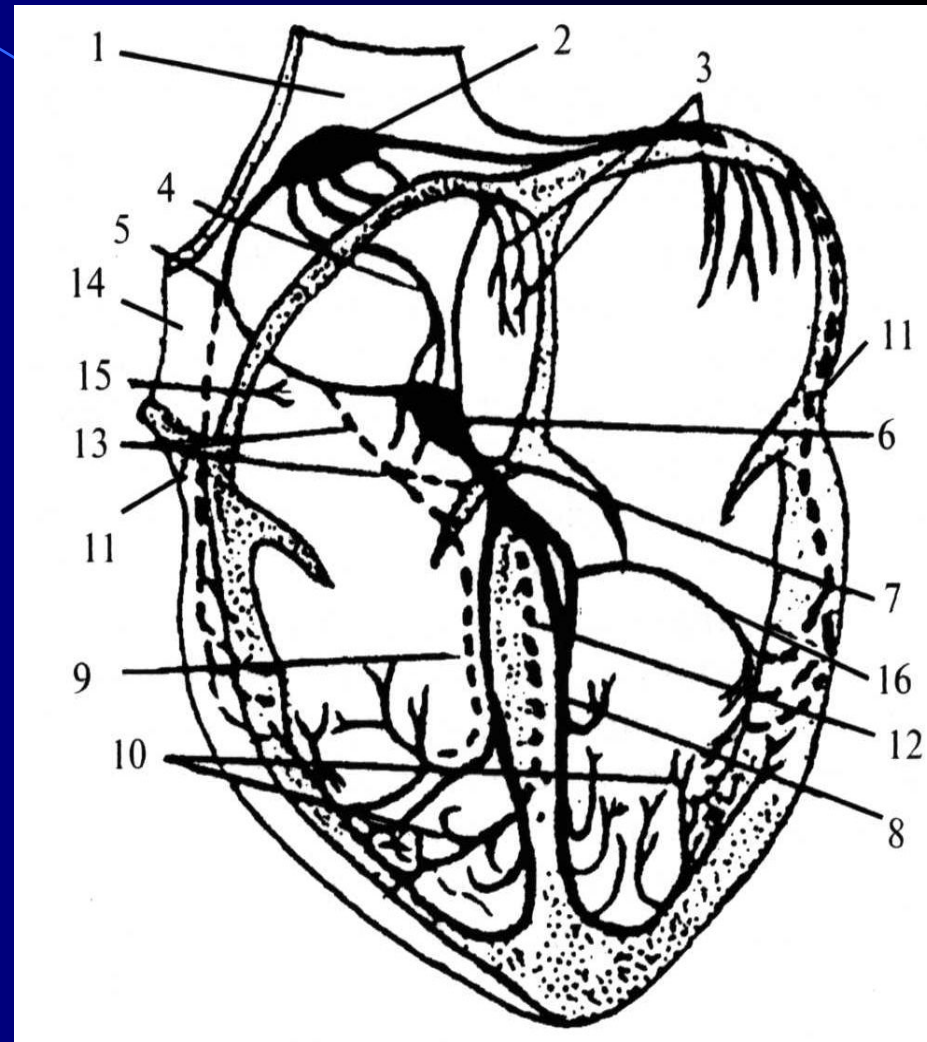
а) в цитоплазму Na (что бы включался Na-K- насос),

б) откачивает Ca без насоса!

# Автоматизм.

## Проводящая система сердца.

- Элементы проводящей системы сердца
- **2 - синусно-предсердный узел,**
- **3 - тракт Бахмана,**
- **4 - тракт Венкенбаха,**
- **5 - тракт Торела,**
- **6 - предсердно-желудочковый узел,**
- **7 - предсердно-желудочковый пучок,**
- **8, 9, 16 - ножки пучка Гиса,**
- **10 - волокна Пуркинье,**



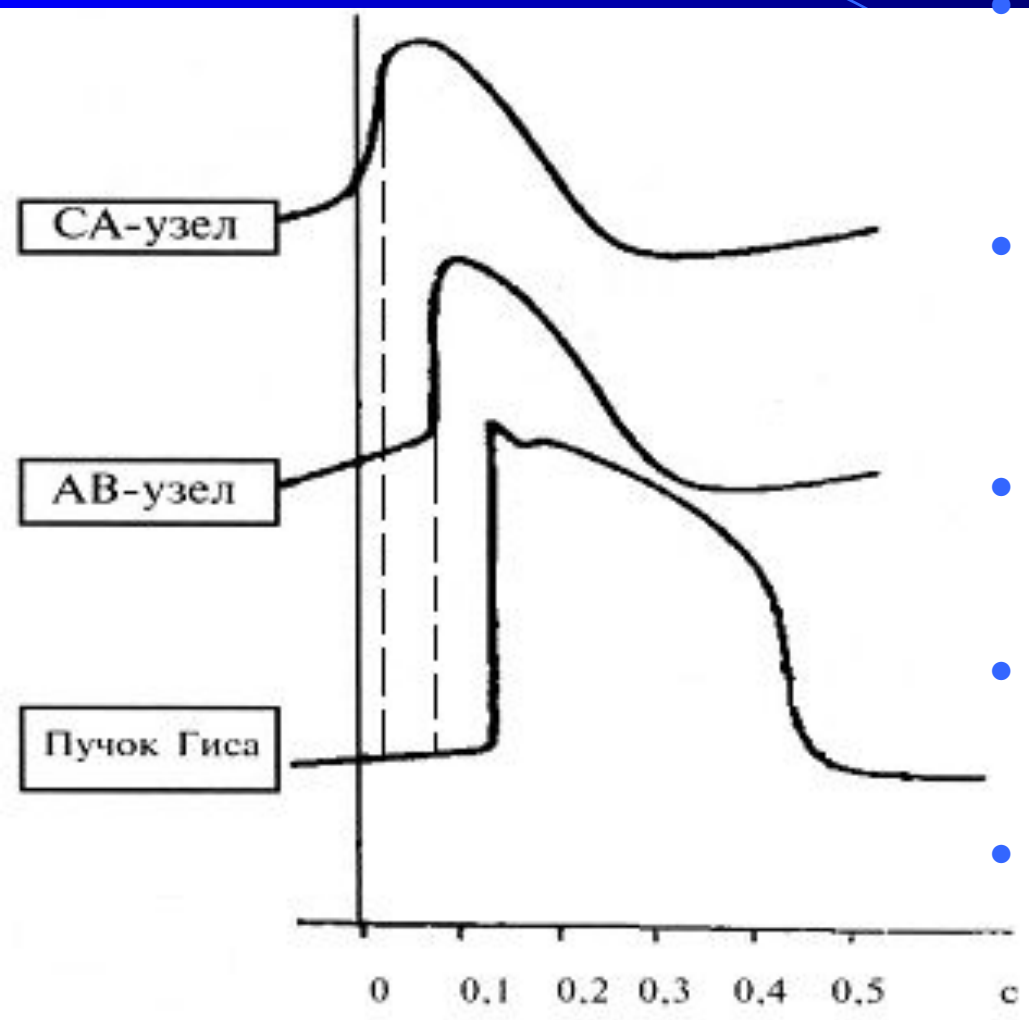
# Узлы проводящей системы

- *Синоатриальный узел* располагается в правом предсердии у места впадения верхней полой вены.
- Узел эллипсовидной формы, длиной 10-15 мм, шириной 4-5 мм, толщиной 1,5 мм.
- Он состоит из двух типов клеток:
- *Атриовентрикулярный узел* расположен в толще межжелудочковой перегородки на границе предсердий и желудочков.
- Размер узла:  $7,5 \cdot 3,5 \cdot 1$  мм.
- Он так же состоит из двух типов клеток - Р и Т.

Р-клетки генерируют электрические импульсы,  
Т-клетки проводят эти импульсы к миокарду предсердий и атриовентрикулярному узлу.



# Автоматизм (градиент автоматии)

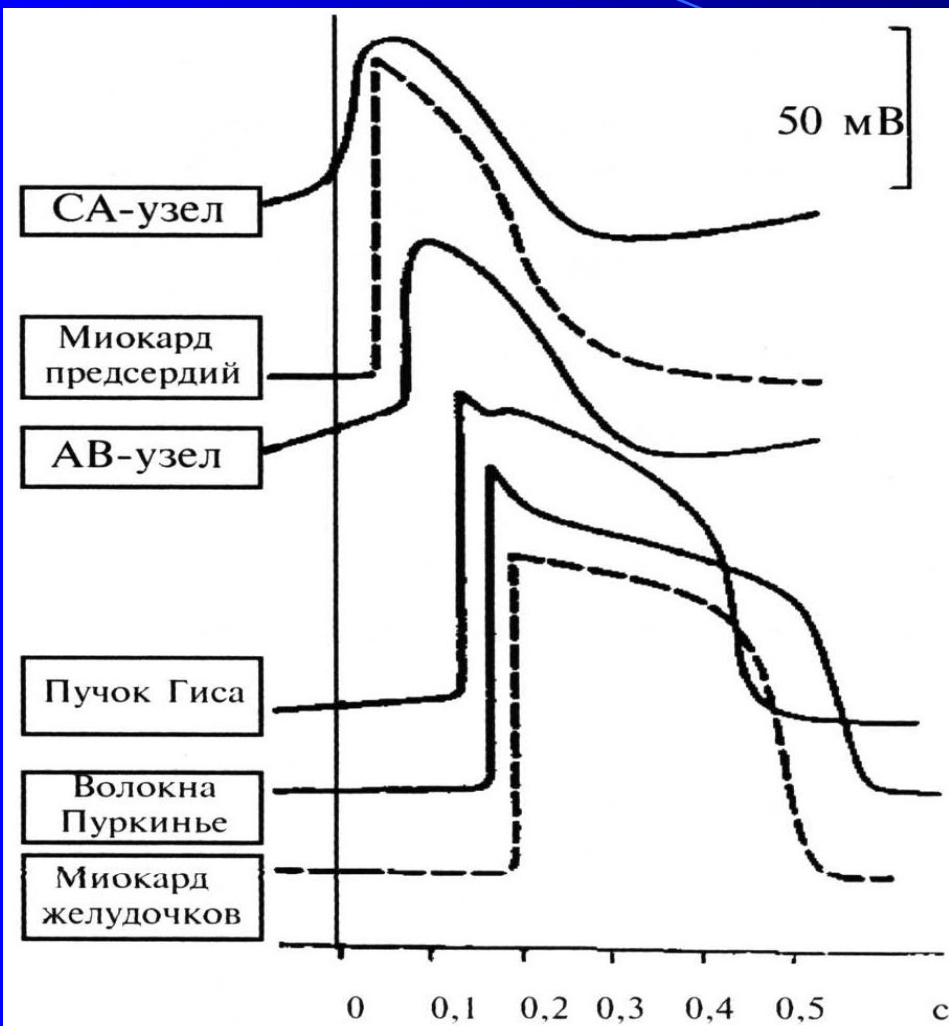


- *Отдельные структуры проводящей системы сердца обладают разным уровнем пейсмекерной активности:*
- **Спонтанная проницаемость мембран к ионам  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{Na}^+$ ) у клеток синусного узла, наиболее высокая.**
- **В клетках атриовентрикулярного узла она в 1,5-2 раза ниже, еще ниже в волокнах пучка Гиса.**
- **Благодаря этому синусный узел - водитель ритма первого порядка (70-80 в мин).**
- **Атриовентрикулярный узел - водитель ритма второго порядка. Здесь возбуждение возникает с частотой в 1,5-2 раза реже, чем в синусном узле.**

# Автоматизм

- Наиболее характерным отличием клеток проводящей системы является фактическое отсутствие у них истинного потенциала покоя. Когда реполяризация мембраны заканчивается (при уровне МП около  $-60$  мВ) и закрываются калиевые каналы, в клетках сразу начинается спонтанно новая волна деполяризации мембраны.
- Обусловлено это тем, что мембрана кардиомиоцитов узловых клеток проводящей системы и без поступления раздражающего сигнала достаточно активно пропускает внутрь ионы  $\text{Ca}^{2+}$  (и  $\text{Na}^{+}$ ) через медленные кальциевые каналы, которые постепенно и деполяризуют ее. При достижении уровня критического потенциала (около  $-40$  мВ), открываются электровозбудимые Са-каналы и теперь эти ионы более активно поступают внутрь, что приводит к возникновению ПД.
- Данное свойство именуется пейсмекерной активностью.

# Особенности развития ПД в различных структурах сердца



В клетках миокарда предсердий и желудочков, а так же пучка Гиса, волокон Пуркинью имеются быстрые натриевые каналы.

Поэтому возбуждение в них возникает с типичным пиком действия.

У кардиомиоцитов предсердий ПД менее длительный, чем желудочков.

# Особенности ПД (в левом желудочке 250 мс)

- Продолжительность ПД кардиомиоцитов обусловлена тем, что одновременно с быстрыми Na-каналами открываются электровозбудимые медленные Ca-каналы и натрий-кальциевое сопряжение. Постепенно возрастающий входящий  $Ca^{2+}$ -ток поддерживает длительную деполяризацию (плато).
- Продолжительность плато в кардиомиоцитах предсердий и желудочков отличается, что определяется началом инактивации кальциевых каналов: в кардиомиоцитах предсердий они инактивируются раньше, поэтому плато менее продолжительно.

## Проводимость:

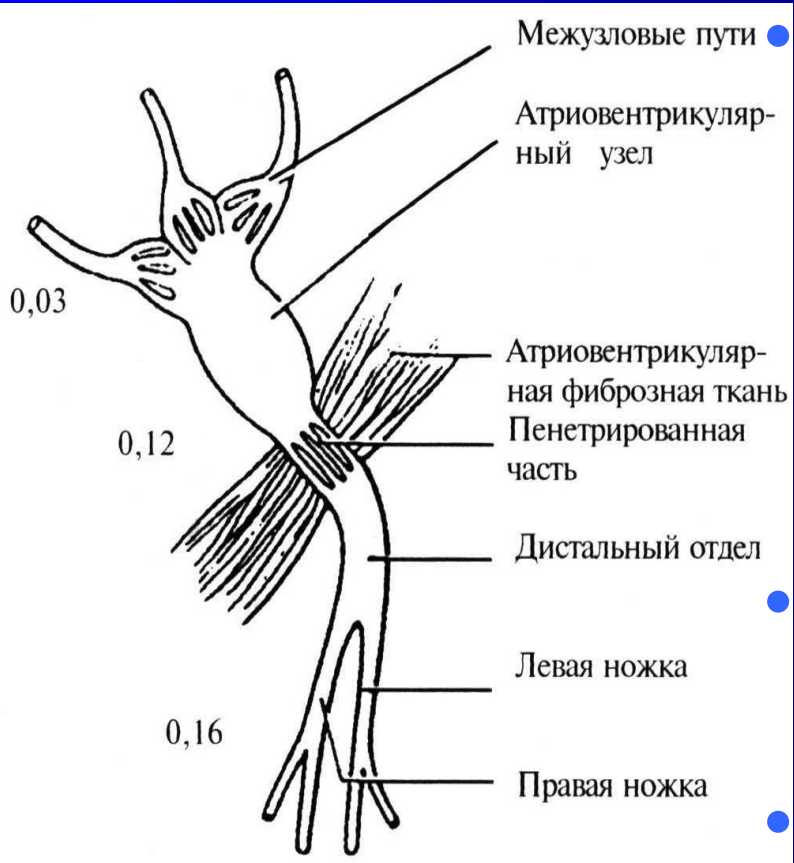
- по предсердиям со скоростью 0,8-1,0 м/с,
- в верхней части атриовентрикулярного узла очень медленно (около 0,02 м/с) - *атриовентрикулярная задержка*
- в волокнах Пуркинье 3-5 м/с,
- в сократимых кардиомиоцитах желудочков 0,3-1,0 м/с.

## Сократимость:

- инициатором мышечного сокращения является кальций, поступающий из саркоплазматического ретикулума и поступивший через сарколемму,
- достаточный для начала мышечного сокращения уровень кальция достигается через 12-15 мс после прихода нервного импульса.

Это скрытое, латентное время мышечного сокращения

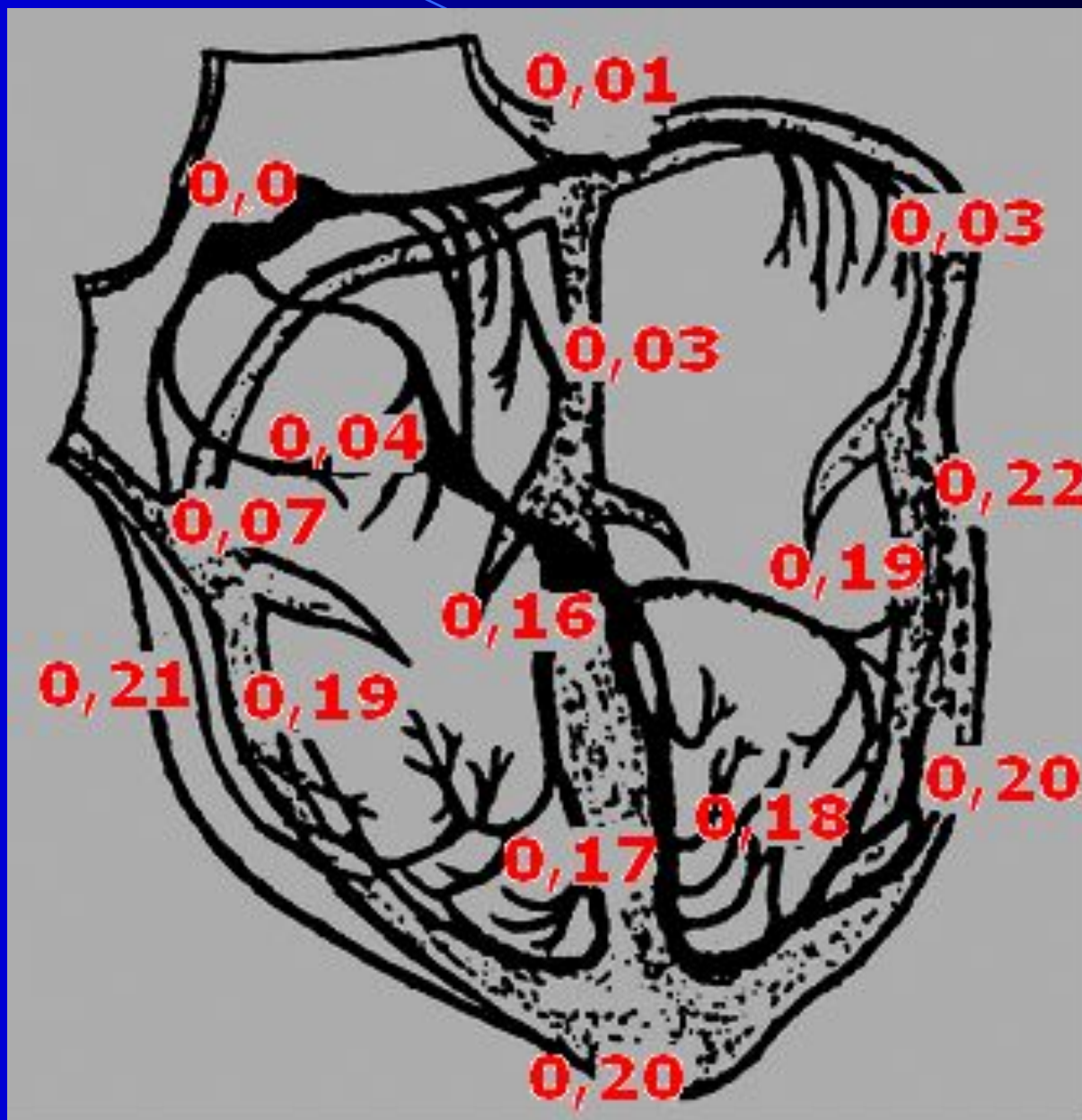
# Организация атриовентрикулярного узла (цифрами показано время возникновения ПД по отношению к синусному узлу)



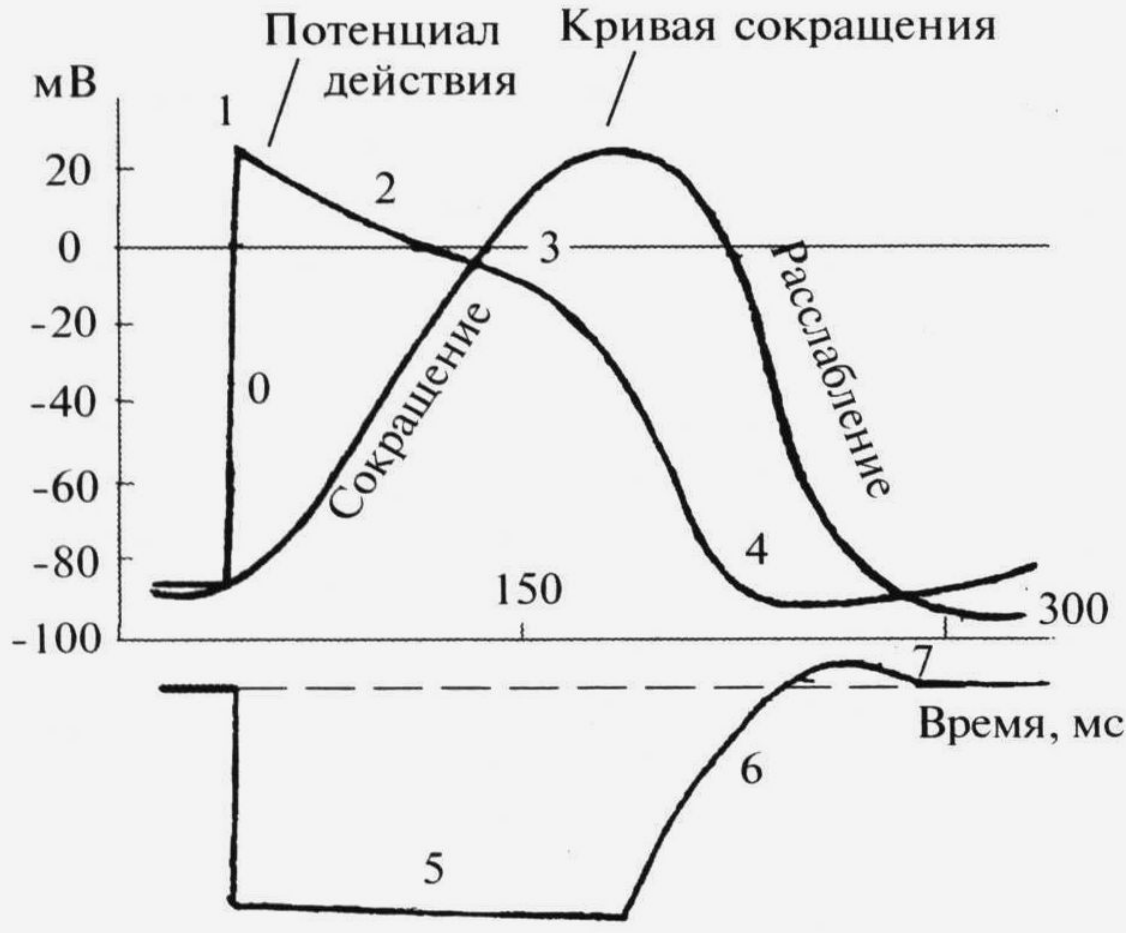
Передача возбуждения с предсердий на желудочки по волокнам трактов *Венкенбаха*, *Торела* и частично *Бахмана* к атриовентрикулярному узлу в его верхней части происходит очень медленно (около 0,02 м/с) - атриовентрикулярная задержка.

- Она обусловлена рядом особенностей этой части проводящей системы, связанной с:
- а) геометрическим расположением волокон,
- б) меньшим количеством вставочных дисков между отдельными клетками.

- Время возникновения ПД в различных структурах миокарда после его появления в синусном узле



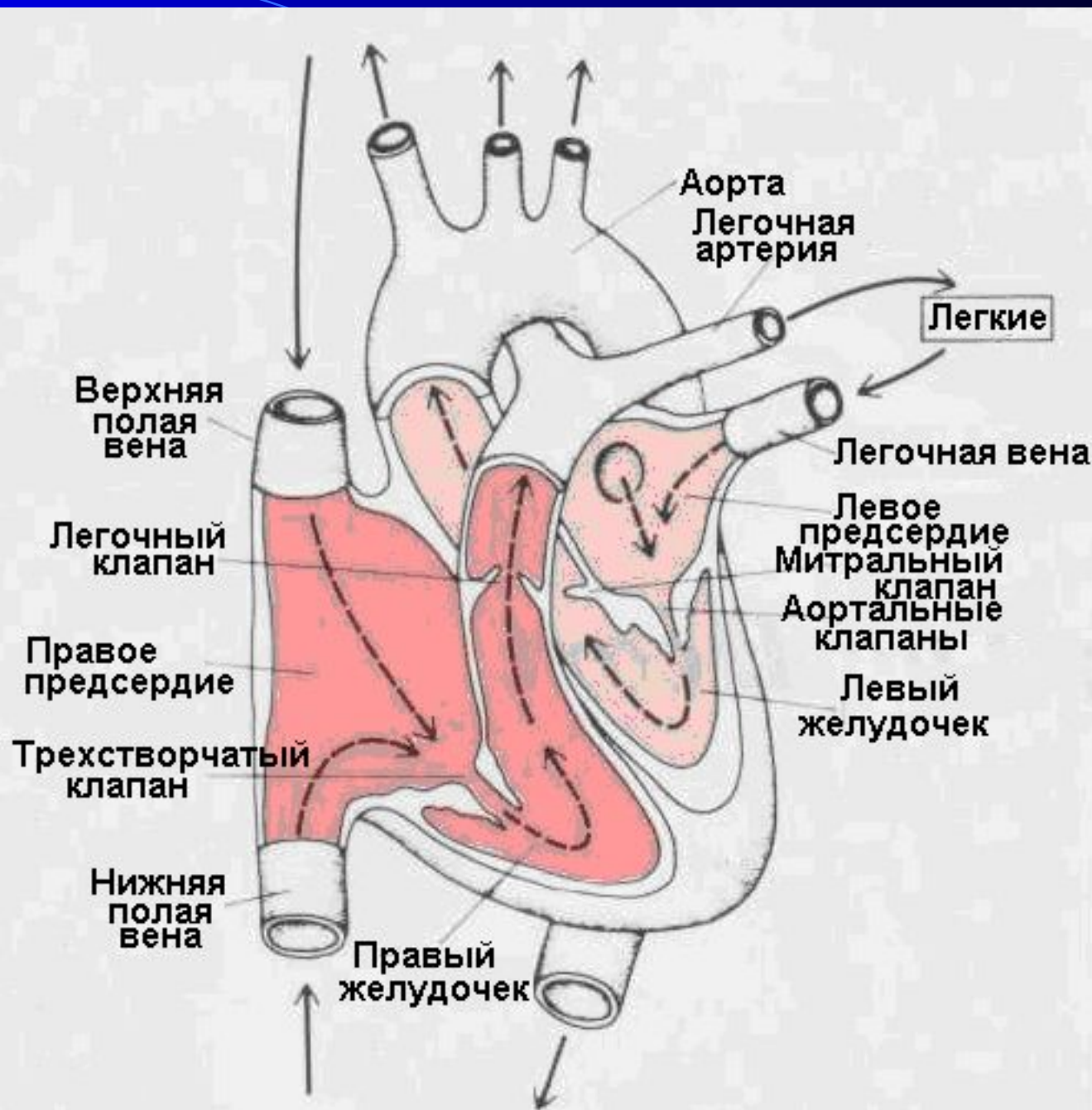
## Рефрактерность



Соотношение развития ПД, сокращения и кривая изменения возбудимости (внизу):  
5 - стадия абсолютной рефрактерности,  
6 - относительной рефрактерности,  
7 - экзальтации.



# Направление тока крови в сердце



# Механизмы закрытия и открытия клапанов

- Клапаны открываются и закрываются пассивно током крови, когда возникает разность давлений.



# Сердечный цикл

- Циклически повторяемая смена состояний сокращения (систола) и расслабления (диастола) сердца именуется сердечным циклом.
- При частоте сокращений сердца (ЧСС) 75 в мин, продолжительность всего цикла около 0,8 с.
- **ИСХОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ**
- *Общая диастола* предсердий и желудочков:
  - все полости сердца заполнены кровью,
  - давление крови в них около 0 мм рт. ст.,
  - двух- и трехстворчатые клапаны открыты,
  - клапаны выхода из желудочков закрыты,
  - давление крови:
    - в аорте – 80 мм рт. ст.,
    - легочной артерии – 12 мм рт. ст.

# Систола предсердий

- Возбуждение, зародившееся в синусном узле, в первую очередь поступает к миокарду предсердий, так как передача его желудочкам в верхней части атриовентрикулярного узла задерживается. Поэтому вначале происходит систола предсердий (0,1 с).
- При этом сокращение мышечных волокон, расположенных вокруг устьев вен, перекрывает их. Образуется замкнутая атриовентрикулярная полость.
- При сокращении миокарда предсердий давление в них повышается до 3-8 мм рт.ст. В результате часть крови из предсердий через открытые атриовентрикулярные отверстия переходит в желудочки, доводя объем крови в них до 110-140 мл (*конечно-диастолический объём желудочков, КДО*).
- После этого начинается *систола желудочков*, а у предсердий - *диастола*.

Систола левого желудочка – продолжается около 0,33 с

- Первый *период напряжения* - продолжается до тех пор, пока не откроются полулунные клапаны.
- Фазы *асинхронного и изометрического сокращения* - током крови захлопываются атриовентрикулярные клапаны
- *Период изгнания*
- фазы *быстрого (0,12 с) и медленного (0,13 с) изгнания крови*

# Сердечный цикл желудочка

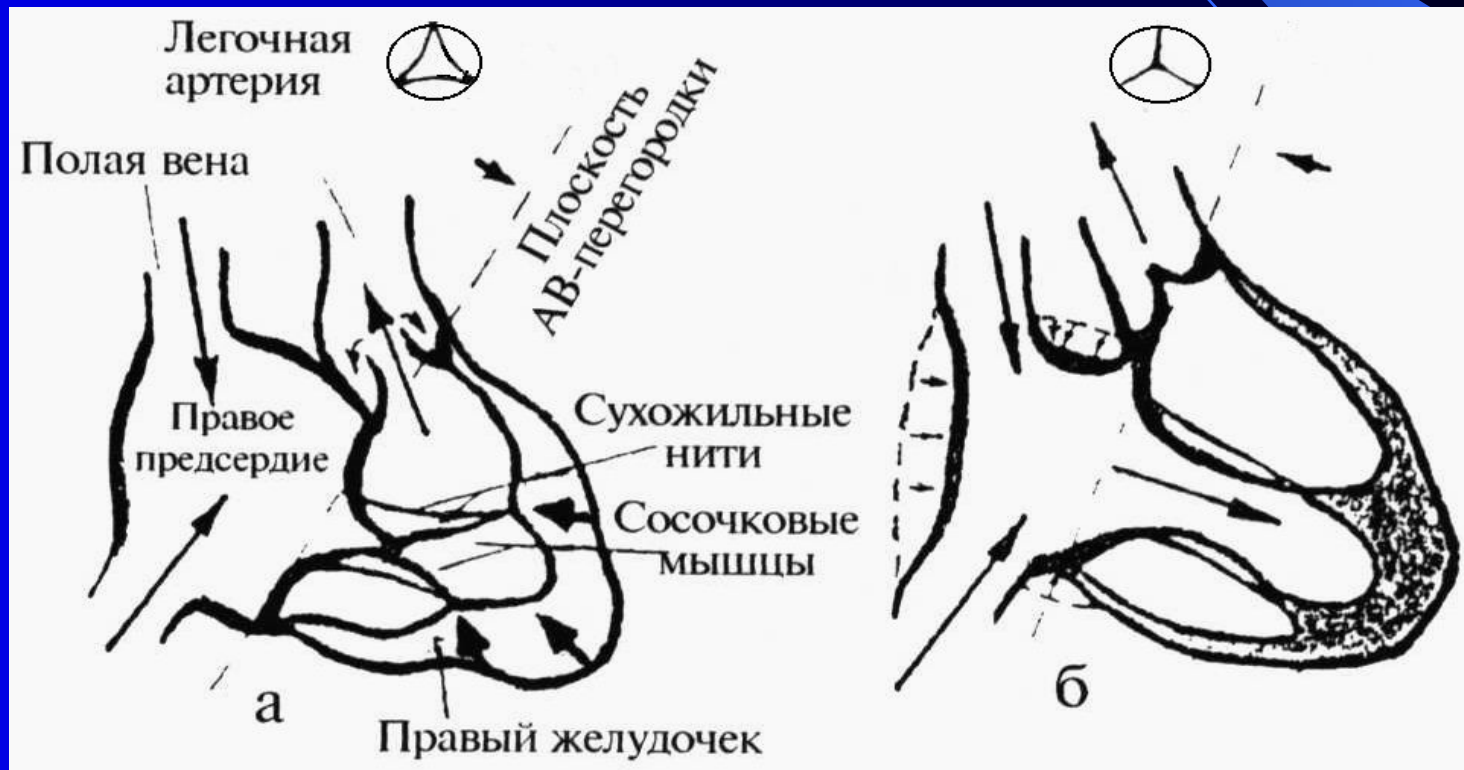
(кривая соотношения объема и давления в левом желудочке)



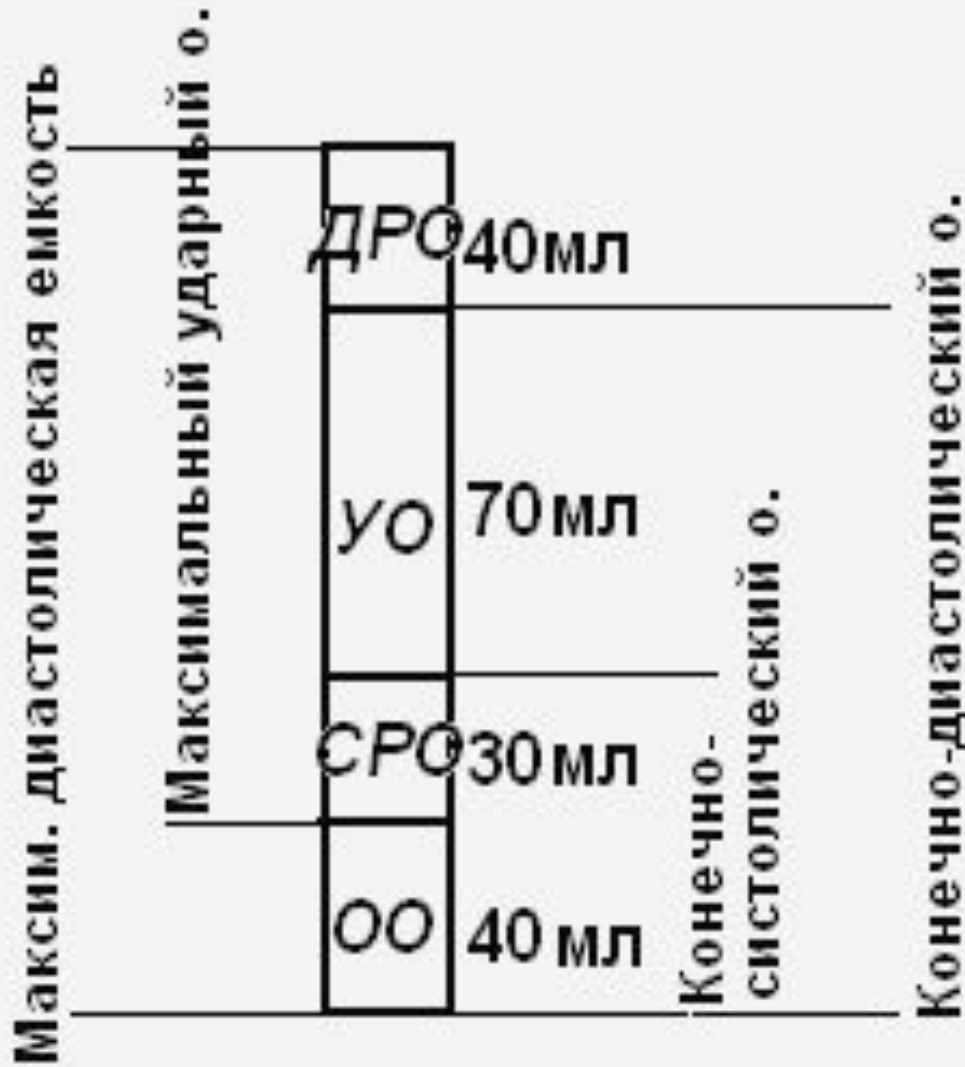
А — конец систолы,  
А-Б — диастола желудочка,  
Б — начало систолы ж.,  
Б-В — фаза напряжения,  
В — открытие аорт. клапанов,  
В-Г — быстрое изгнание,  
Г-Д — медленное изгнание,  
Д — закрытие аорт. клапанов.

# Общая диастола

- После закрытия аортального и легочного клапанов начинается общая диастола.
- К этому времени предсердия переполнены кровью (см. - *а*).
- Вначале желудочки заполняются быстро (поступает кровь из заполненных предсердий), а затем медленно (поступает кровь из вен – на рис. *б*).



# Показатели работы сердца



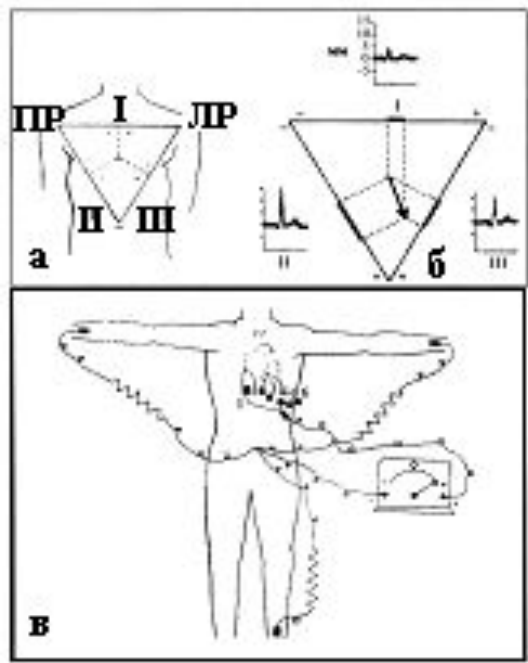
- УО – ударный объем,
- ДРО – диастолический резервный объем
- СРО – систолический резервный объем
- ОО – остаточный объем
  
- МОК – минутный объем,
- $МОК = УО \times ЧСС$
- ЧСС – «пульс».



# Показатели сердечной деятельности

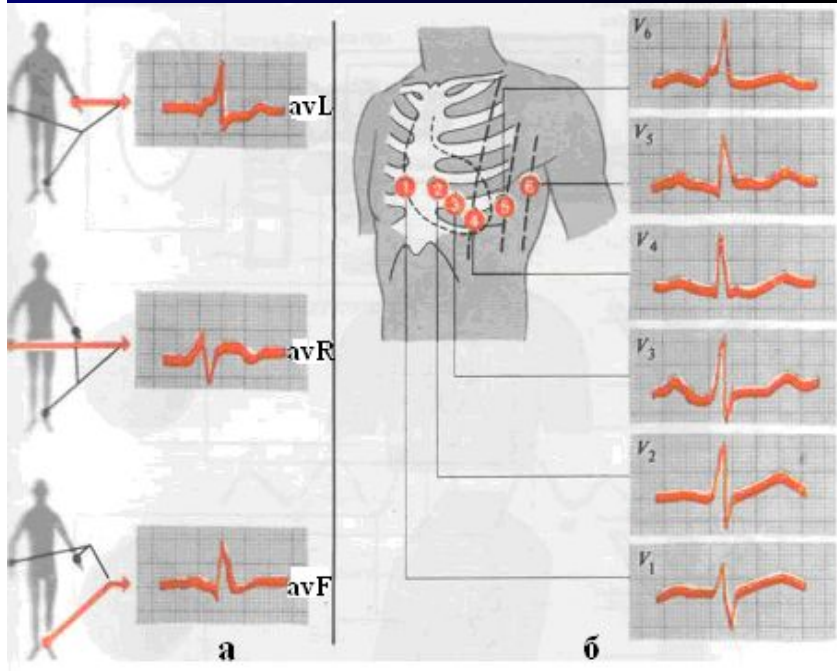
- Электрокардиография – характеризует возбудимость и проводимость.
- Определение сердечного выброса.
- Тоны сердца.
- *Электрокардиография* - запись изменения электрических потенциалов сердца позволяет получить представление о *возбудимости и проводимости миокарда*. При одновременном возбуждении огромного количества кардиомиоцитов возникает электрическое поле, которое передается даже на поверхность тела, откуда его, предварительно усилив, можно зарегистрировать.
- Расположенные на бесконечно малом расстоянии положительные и отрицательные заряды составляют элементарную электродвижущую силу. ЭДС диполя - векторная величина.

# Электрокардиография



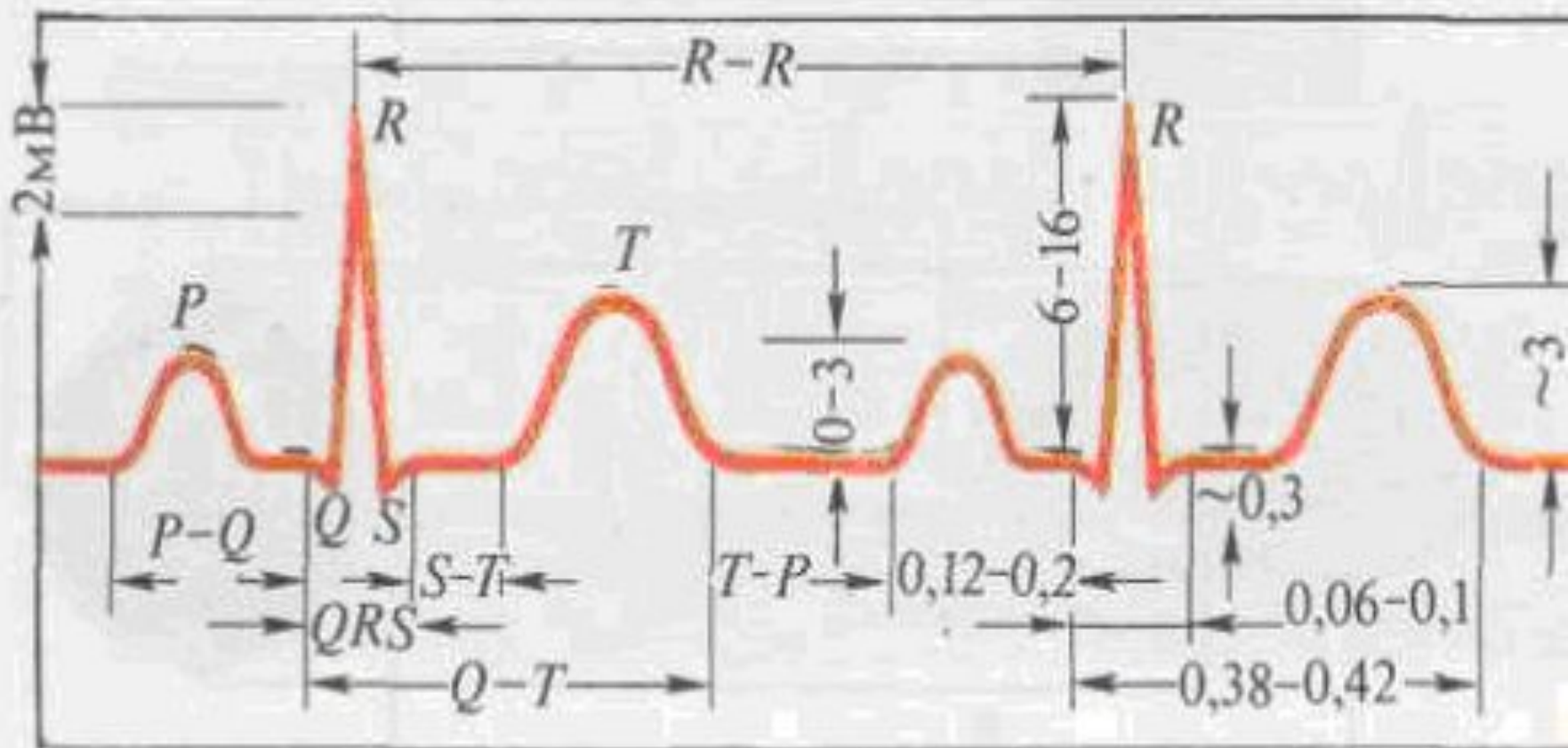
**а - три стандартных отведения:**  
I - верхние конечности  
II - правая рука - левая нога  
III - левая рука и нога  
**б - треугольник Эйнтховена**

**в - грудные отведения**



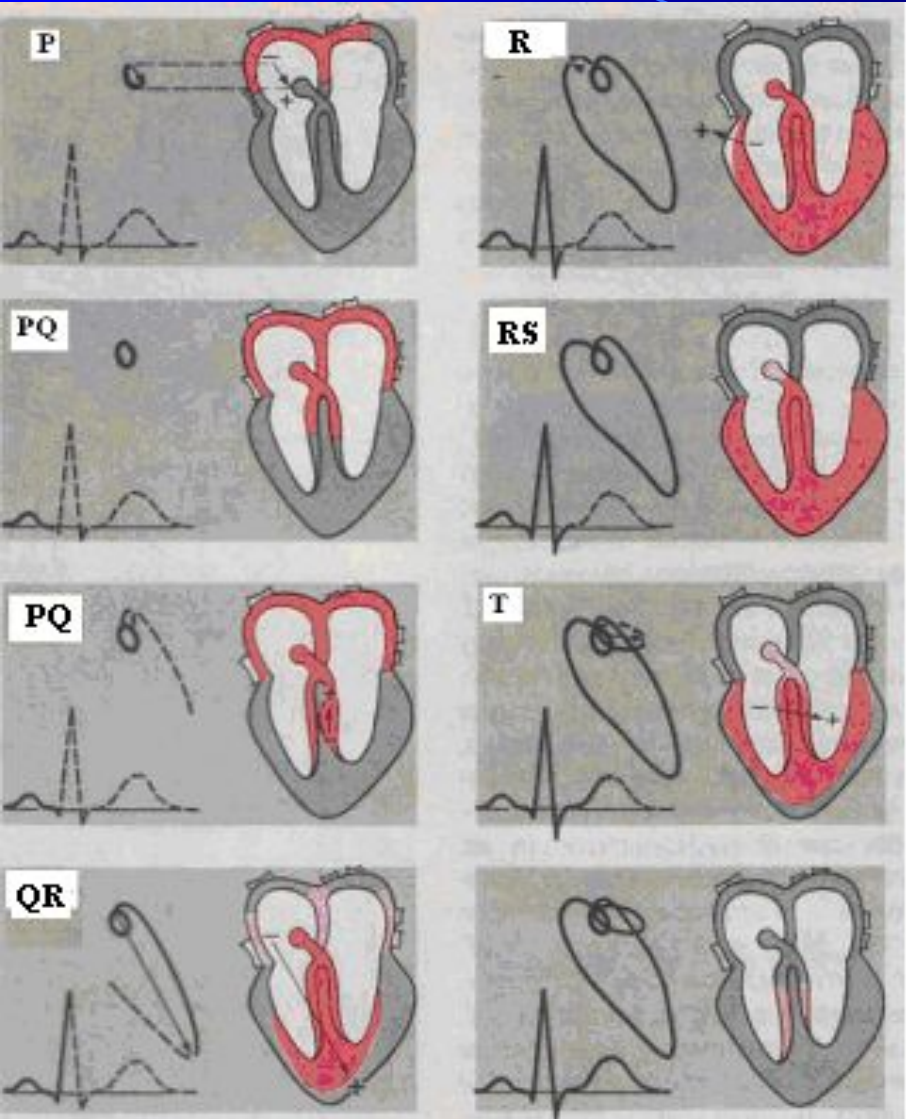
# ЭКГграмма

Амплитуда зубцов ЭКГ, мВ



Временные интервалы между зубцами ЭКГ, с

# Расшифровка ЭКГ



- Зубцы P, Q, R, S, T и интервалы: PQ, ST и соотношение их с распространением возбуждения по миокарду (окрашено в красный цвет).

Зубец P - возбуждение предсердий,  
Интервал PQ – а/в задержка,  
Зубец Q – возбуждение а/в узла, Гиса,  
межжелудочковой перегородки.  
Зубец R – возбуждение желудочков,  
Зубец S – завершение возбуждения  
желудочков,  
Интервал ST – желудочки  
возбуждены,  
Зубец T – реполяризация желудочков.