

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

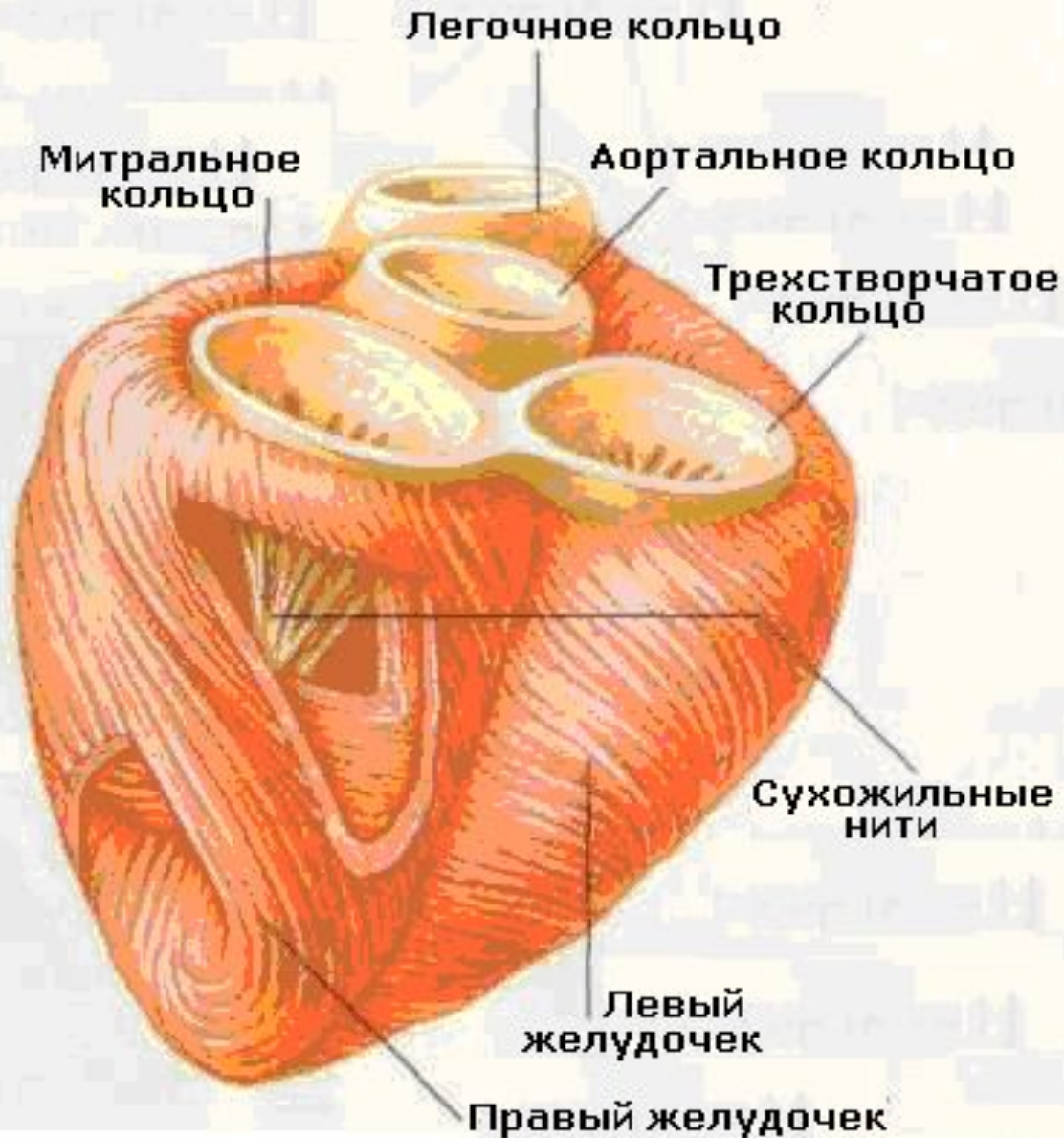


Б - вид сверху
(удалены предсердия)

Основные отделы — желудочки.

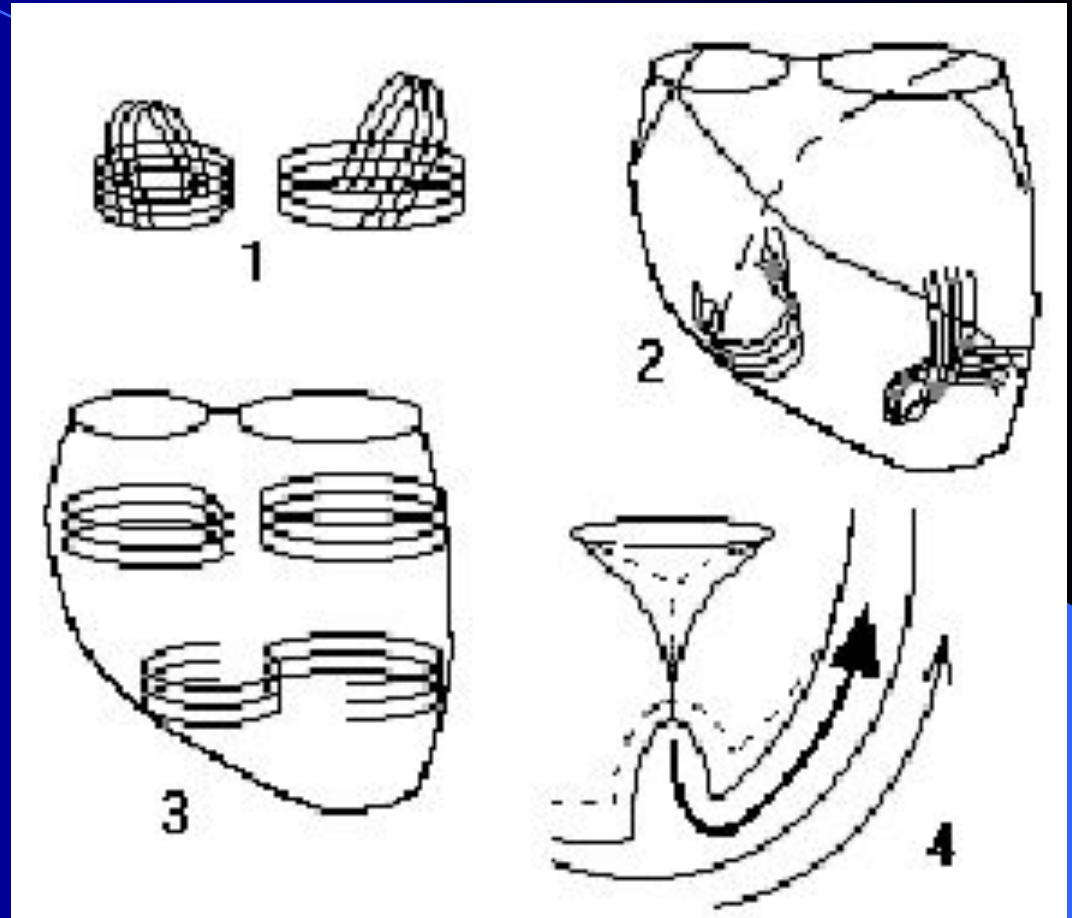
Предсердия играют вспомогательную функцию: в них поступает кровь в то время, когда происходит систола желудочков.

Направление волокон кардиомиоцитов

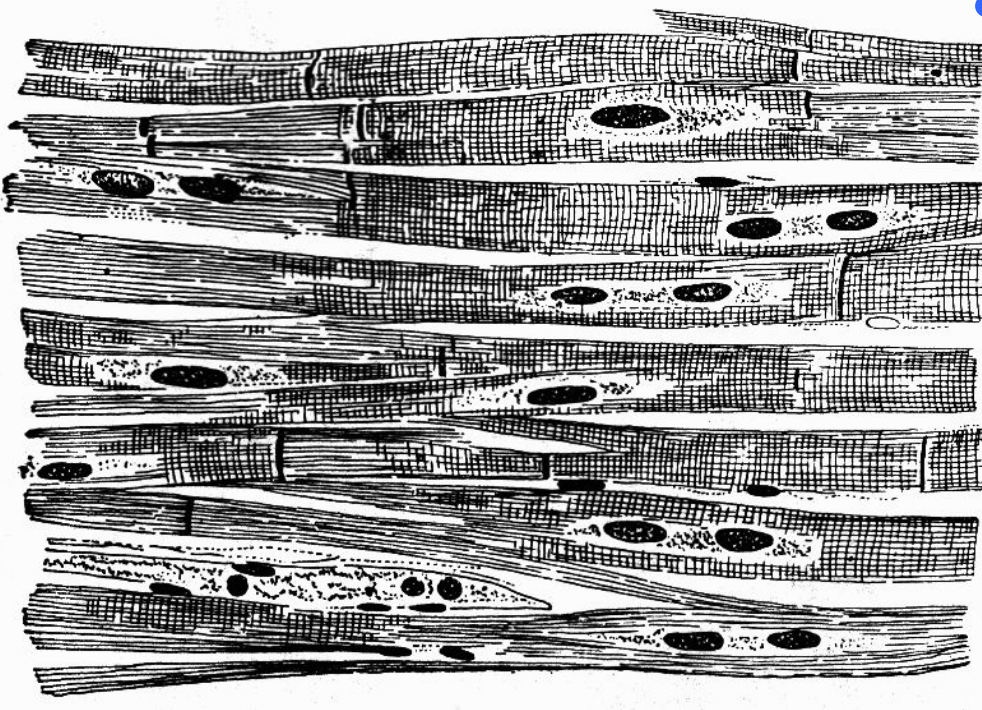


- Стенка левого желудочка взрослого человека значительно толще, чем правого, так как он обеспечивает циркуляцию крови по большому кругу кровообращения.

- **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**



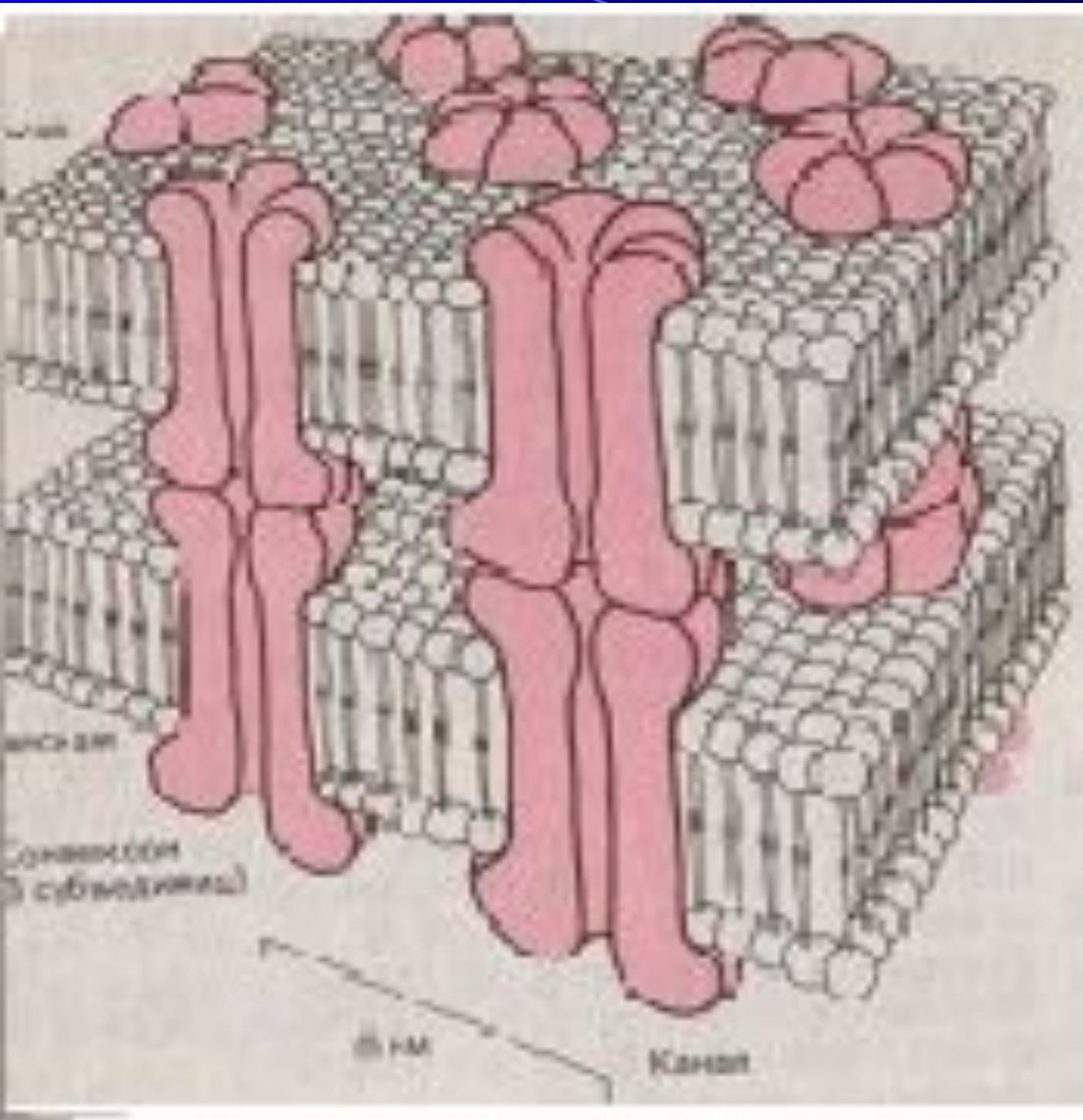
Кардиомиоциты



• 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)];
```

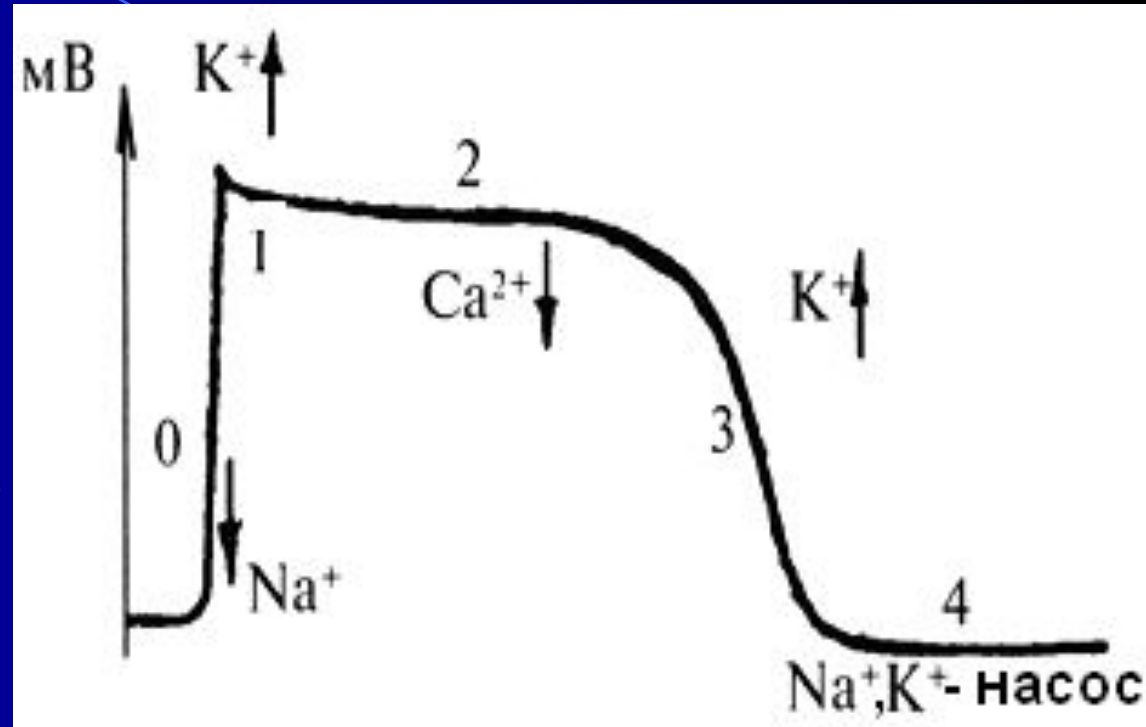
**Медленные
(Ca, Na)**

**Потенциало-
зависимые
(K)**

**Кальцийзависим
ые
(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.*



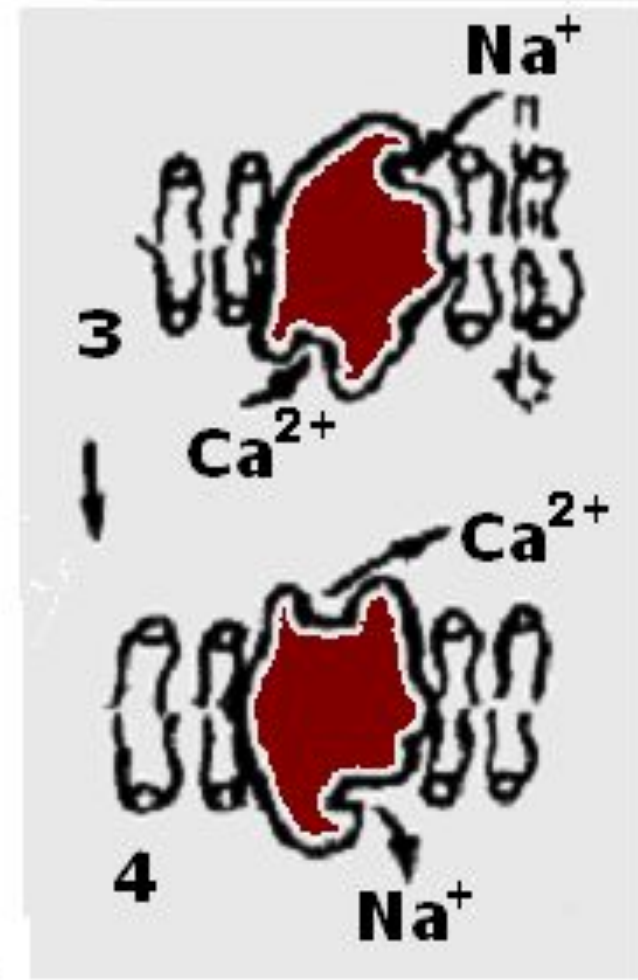
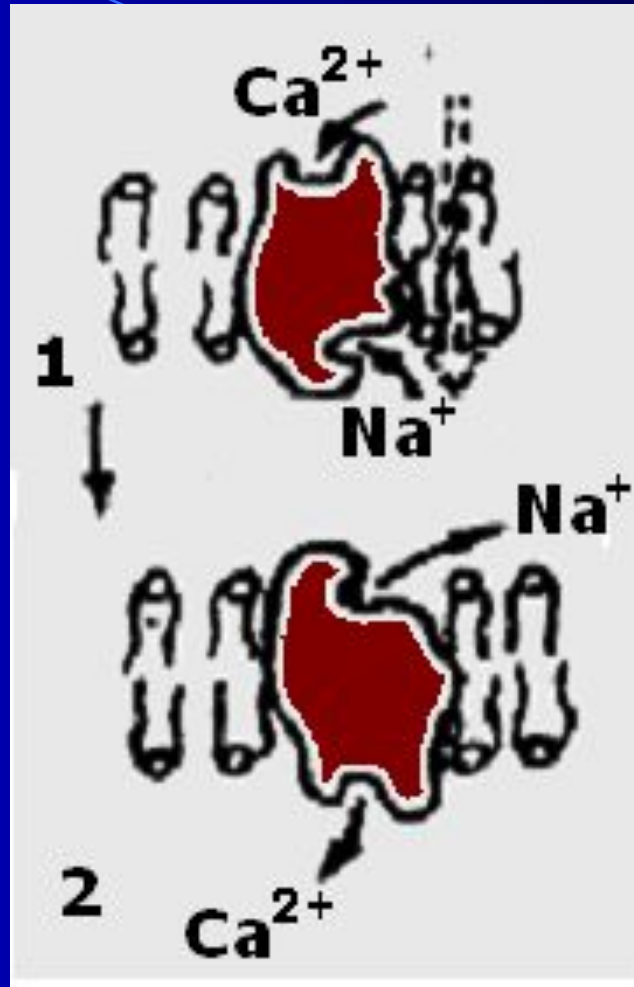
Натрий-кальциевое сопряжение

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

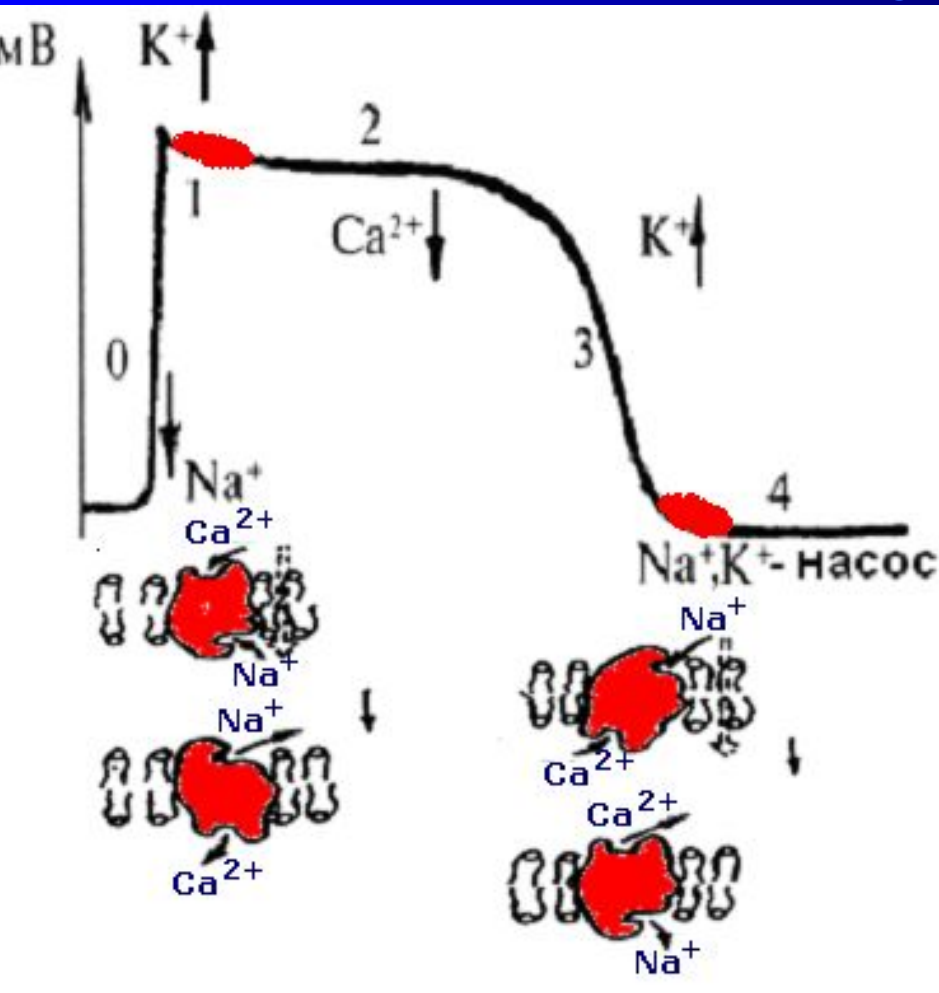
По концентрационному градиенту кальция.

- 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:

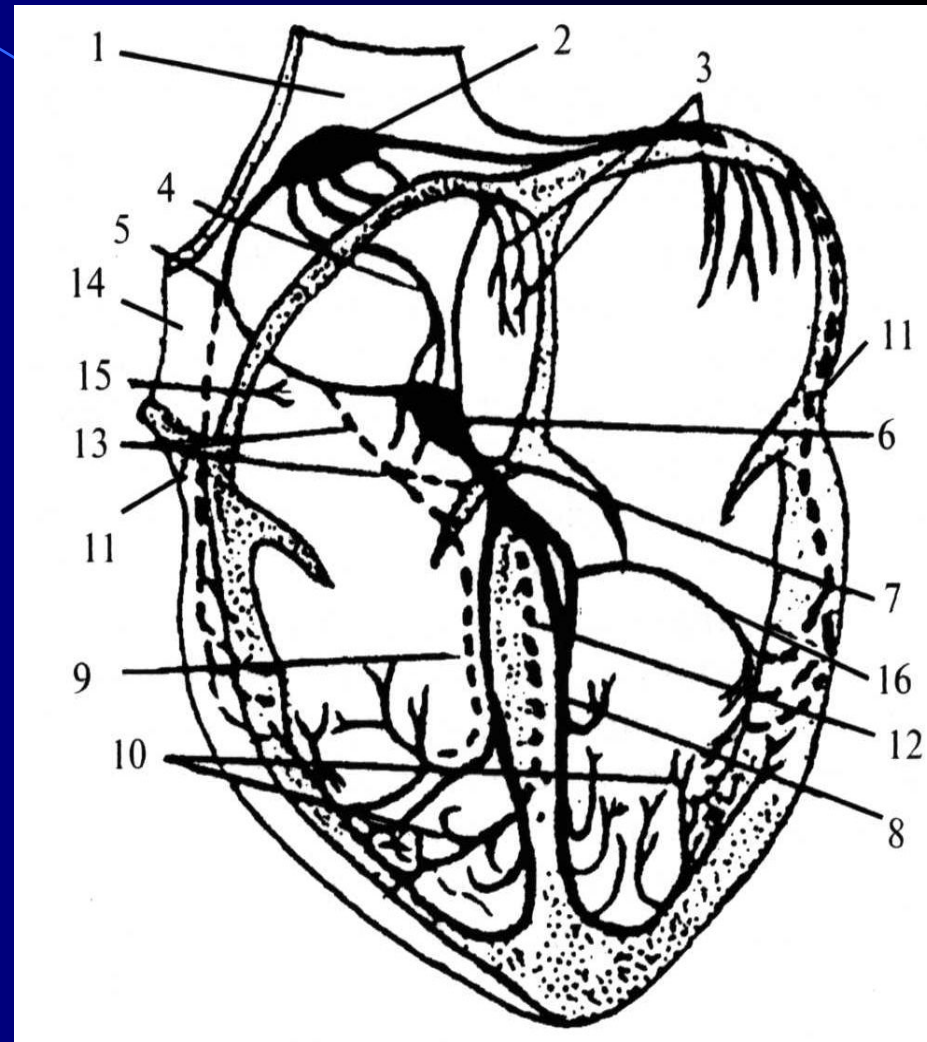
а) в цитоплазму Na (что бы включался Na-K-насос),

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,**



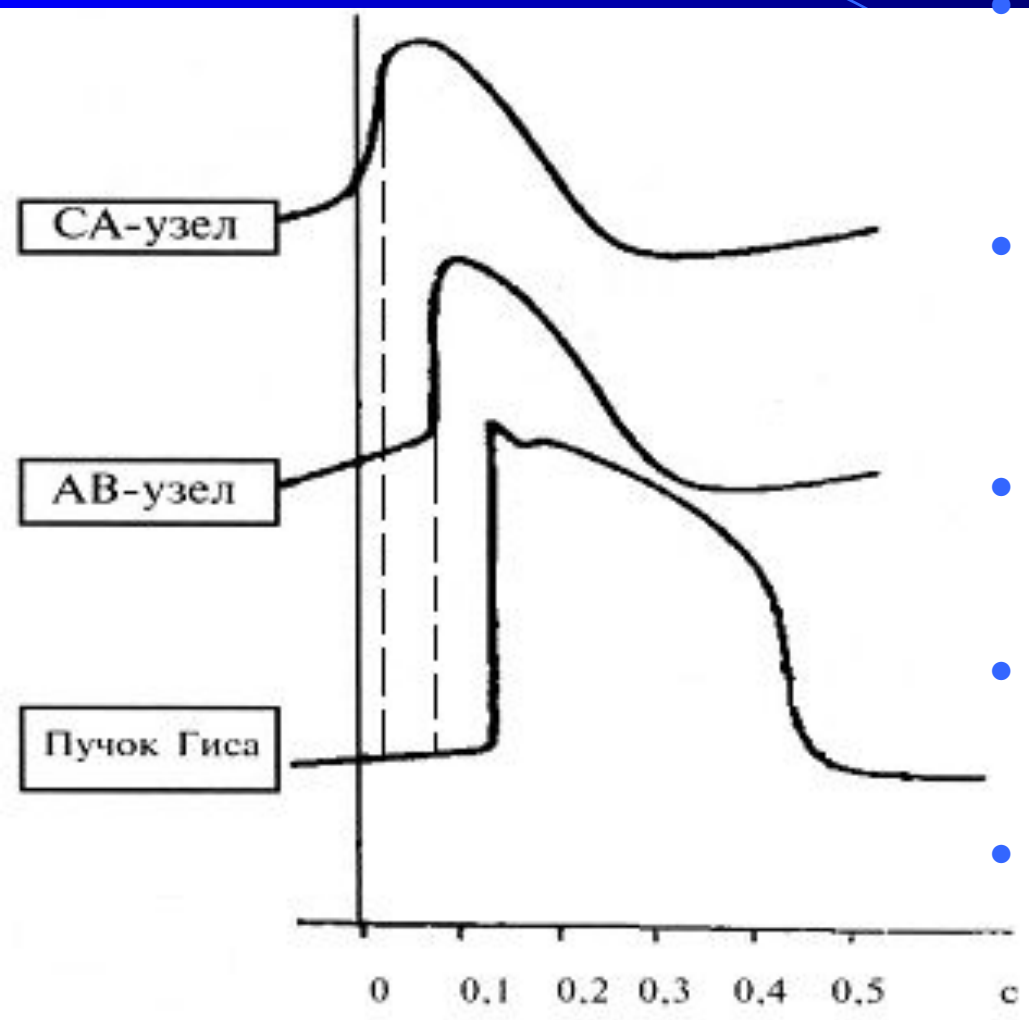
Узлы проводящей системы

- *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)

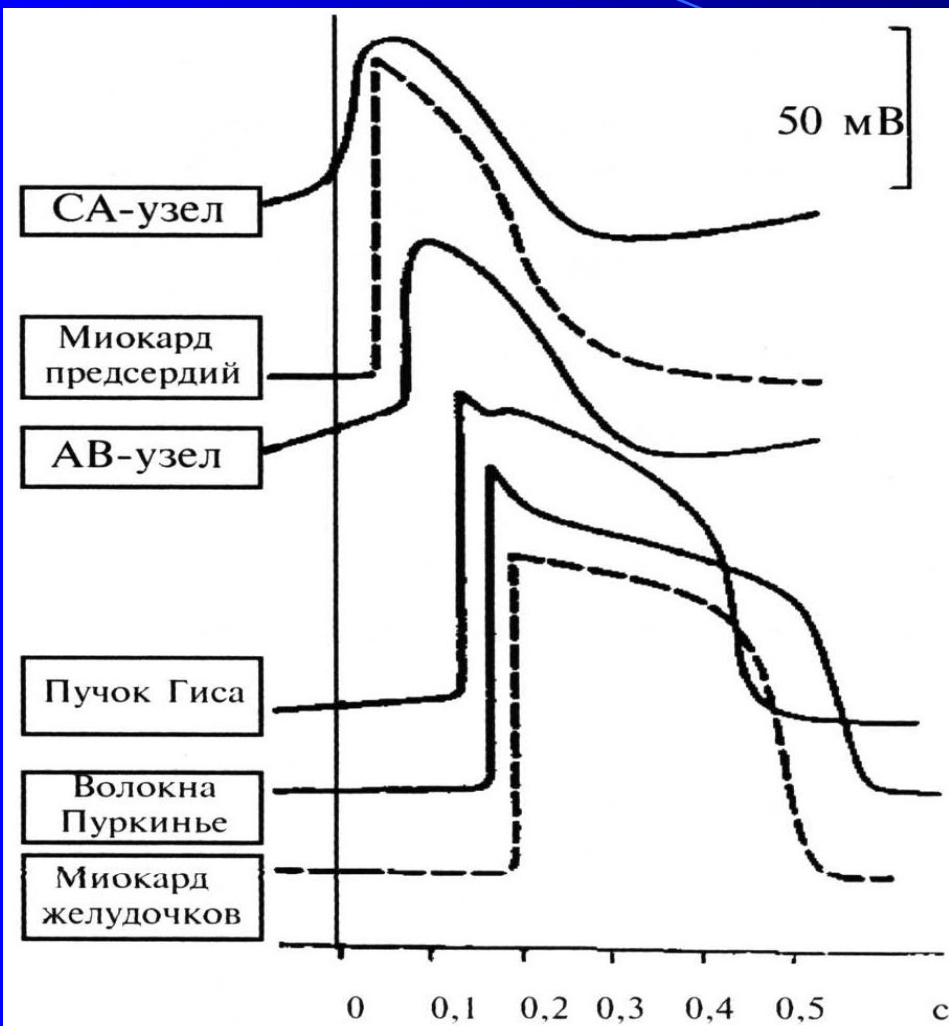


- *Отдельные структуры проводящей системы сердца обладают разным уровнем пейсмекерной активности:*
- **Спонтанная проницаемость мембран к ионам Ca^{2+} (Na^+) у клеток синусного узла, наиболее высокая.**
- **В клетках атриовентрикулярного узла она в 1,5-2 раза ниже, еще ниже в волокнах пучка Гиса.**
- **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 Ca^{2+} (и 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:

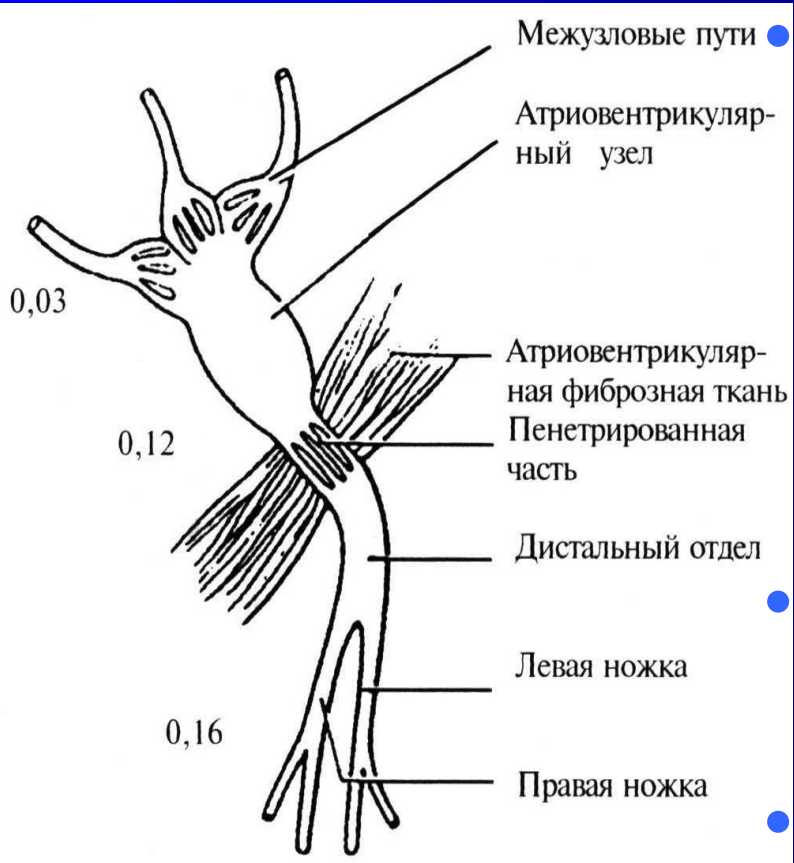
- по предсердиям со скоростью 0,8-1,0 м/с,
- в верхней части атриовентрикулярного узла очень медленно (около 0,02 м/с) - *атриовентрикулярная задержка*
- в волокнах Пуркинье 3-5 м/с,
- в сократимых кардиомиоцитах желудочков 0,3-1,0 м/с.

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

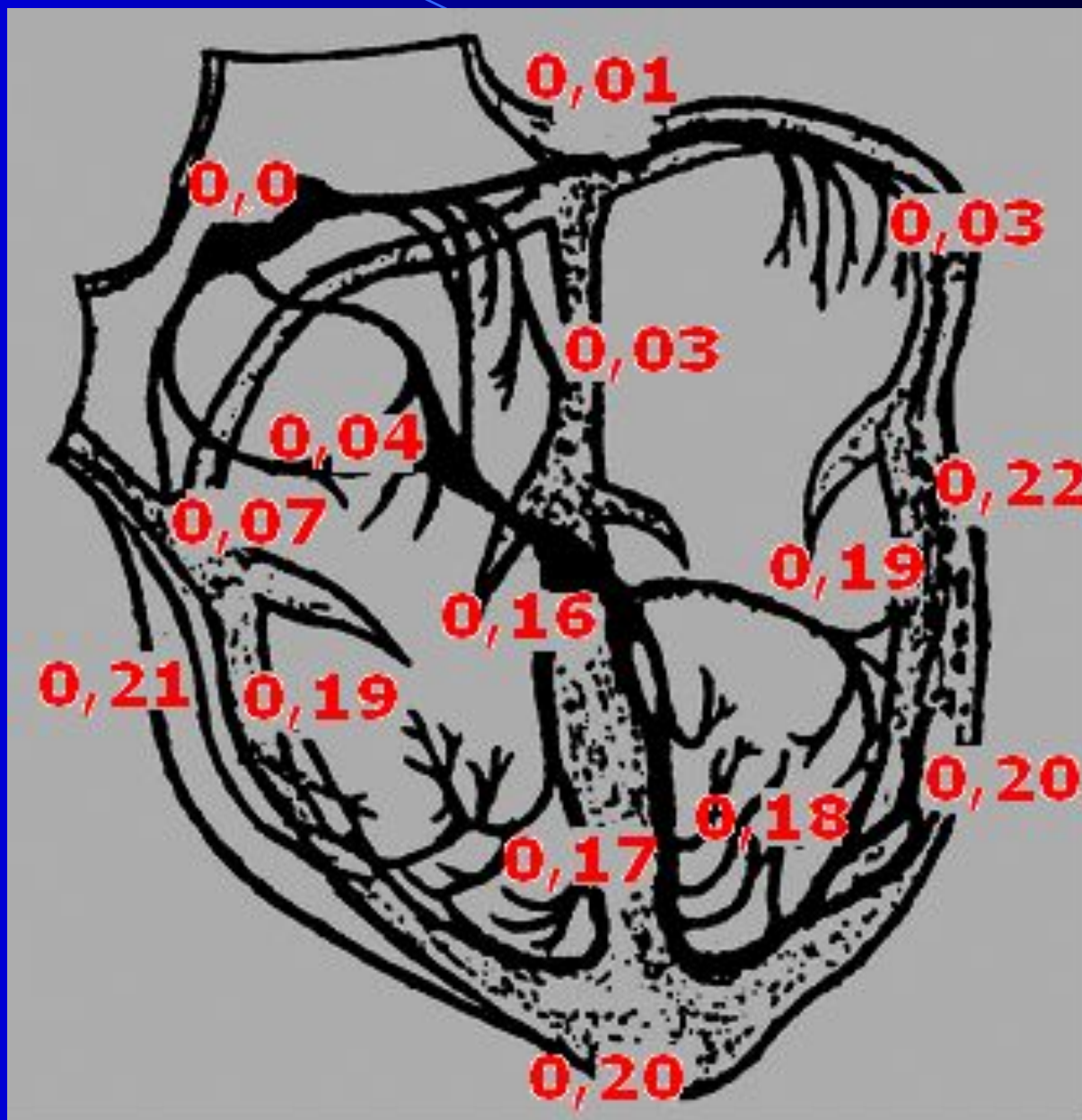
Организация атриовентрикулярного узла (цифрами показано время возникновения ПД по отношению к синусному узлу)



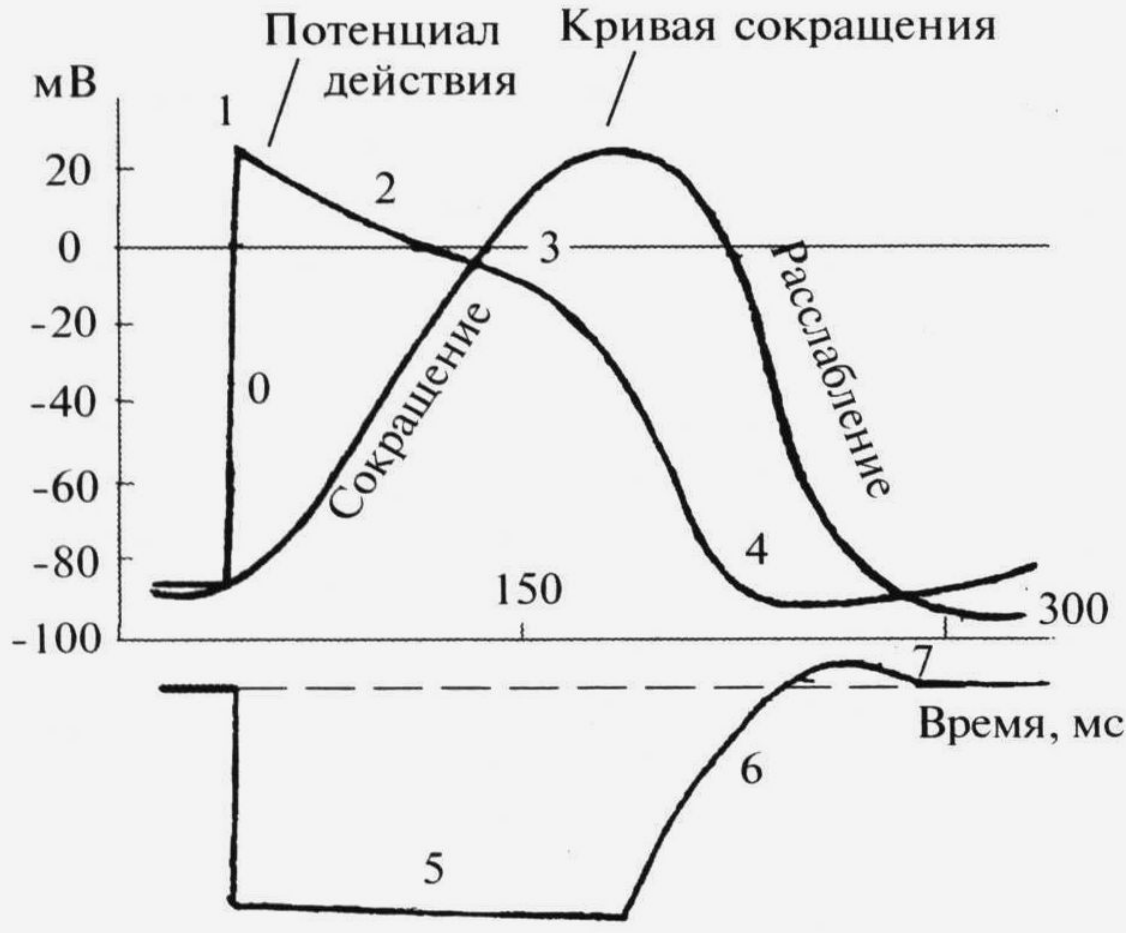
Передача возбуждения с предсердий на желудочки по волокнам трактов *Венкенбаха*, *Торела* и частично *Бахмана* к атриовентрикулярному узлу в его верхней части происходит очень медленно (около 0,02 м/с) - атриовентрикулярная задержка.

- 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

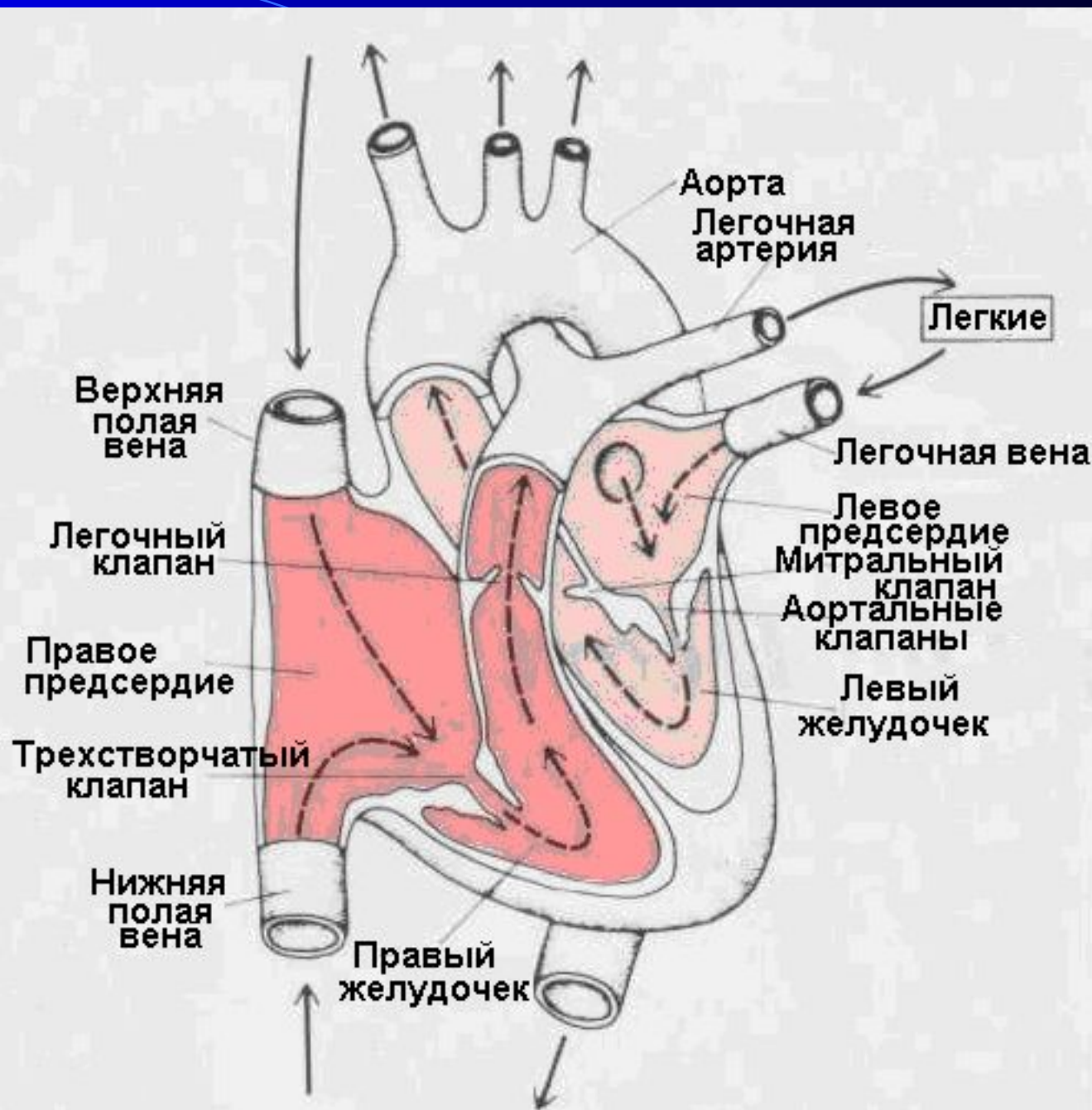


Рефрактерность



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 (систолы) и расслабления (диастолы) 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

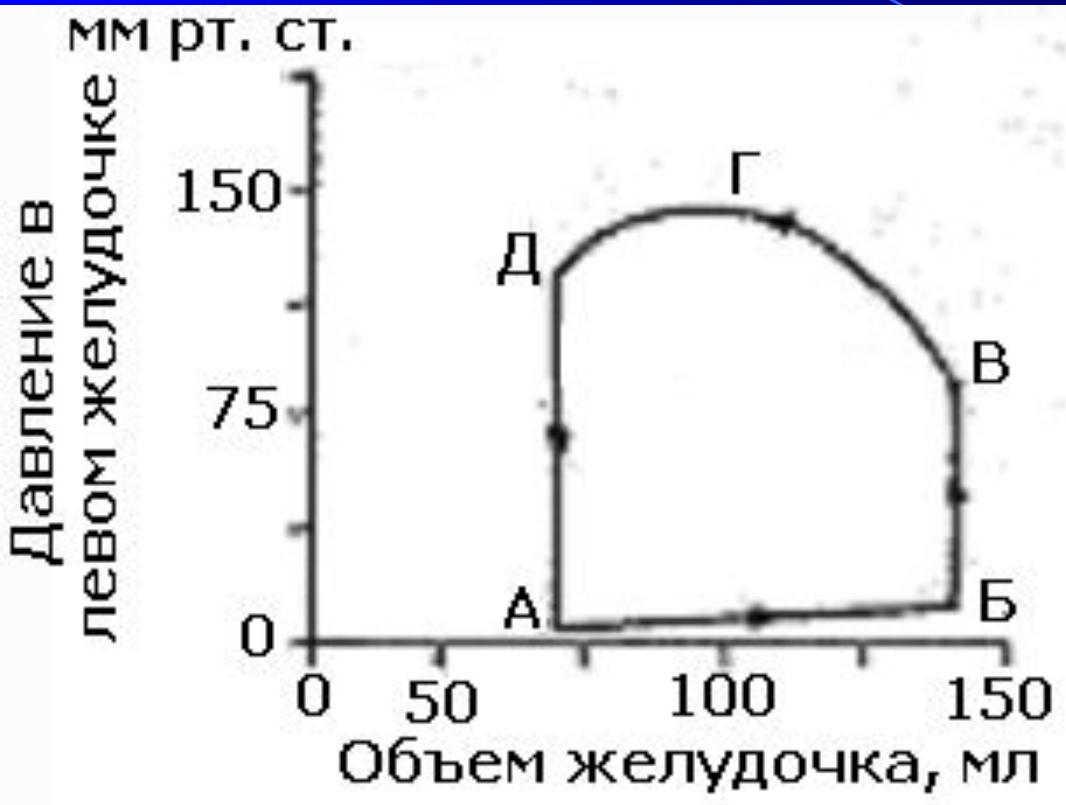
- Возбуждение, зародившееся в синусном узле, в первую очередь поступает к миокарду предсердий, так как передача его желудочкам в верхней части атриовентрикулярного узла задерживается. Поэтому вначале происходит систола предсердий (0,1 с).
- При этом сокращение мышечных волокон, расположенных вокруг устьев 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

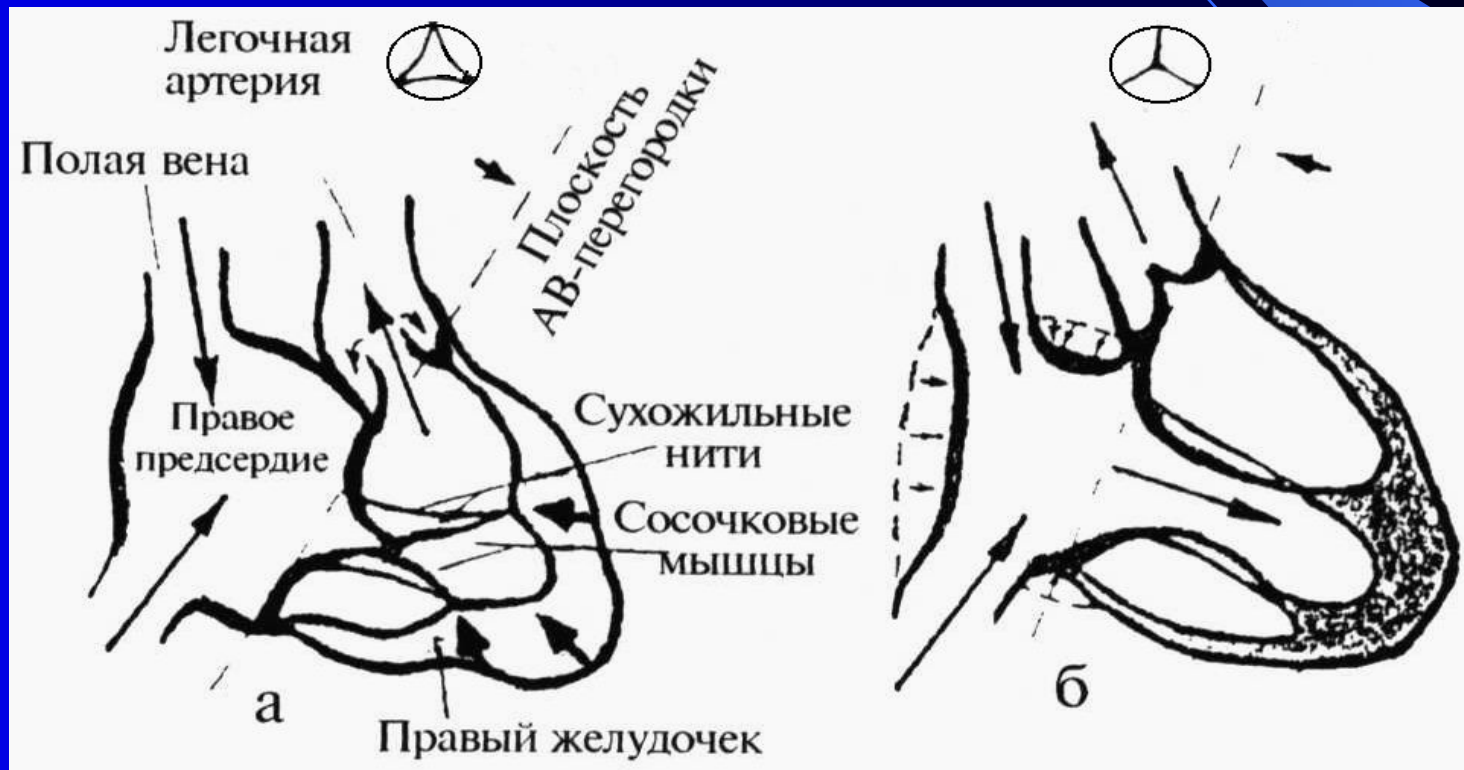
(кривая соотношения объема и давления в левом желудочке)



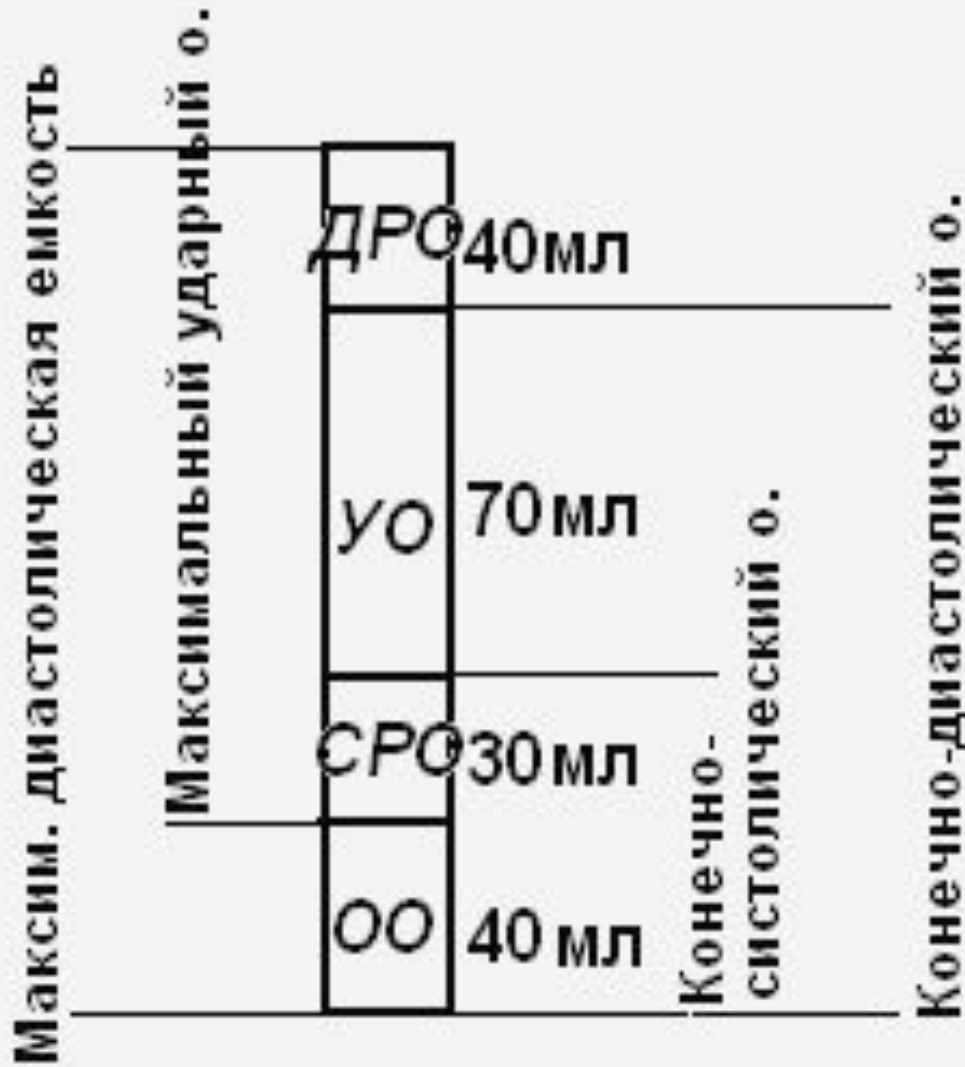
- А — конец систолы,
- А-Б — диастола желудочка,
- Б — начало систолы ж.,
- Б-В — фаза напряжения,
- В — открытие аорт. клапанов,
- В-Г — быстрое изгнание,
- Г-Д — медленное изгнание,
- Д — закрытие аорт. клапанов.

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



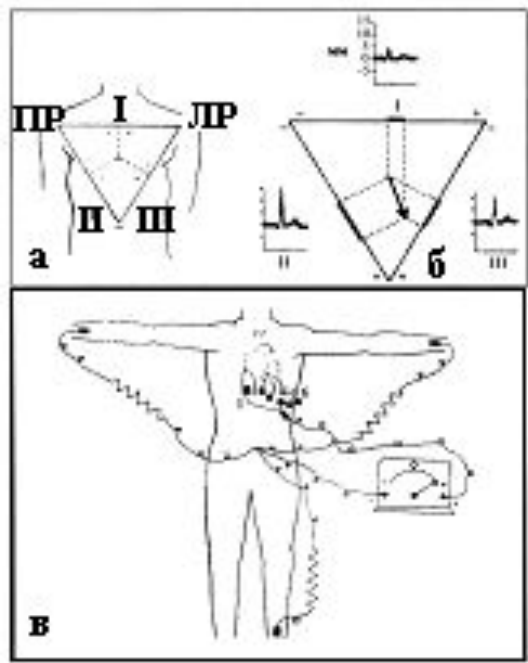
- УО – ударный объем,
- ДРО – диастолический резервный объем
- СРО – систолический резервный объем
- ОО – остаточный объем

- МОК – минутный объем,
- $МОК = УО \times ЧСС$
- ЧСС – «пульс».

Показатели сердечной деятельности

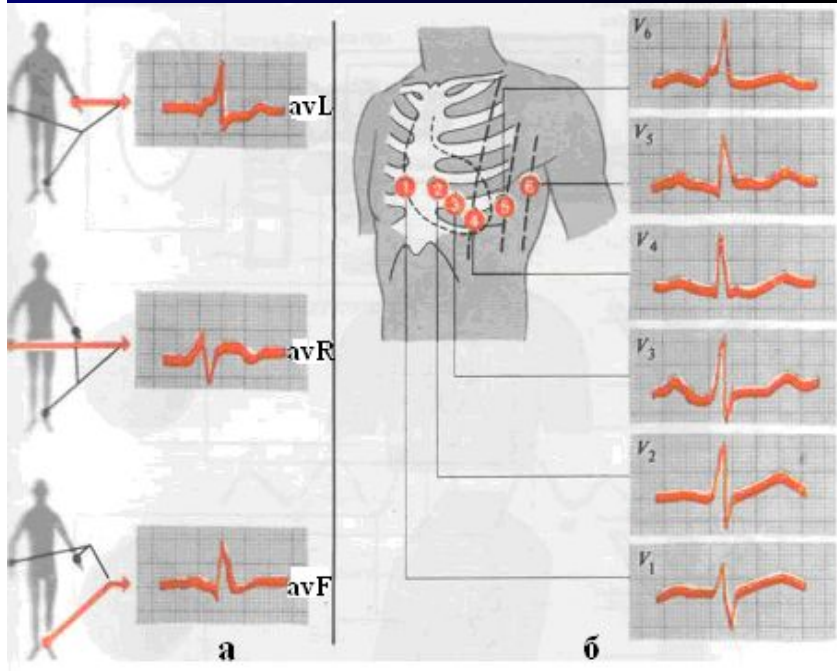
- Электрокардиография – характеризует возбудимость и проводимость.
- Определение сердечного выброса.
- Тоны сердца.
- *Электрокардиография* - запись изменения электрических потенциалов сердца позволяет получить представление о *возбудимости и проводимости миокарда*. При одновременном возбуждении огромного 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



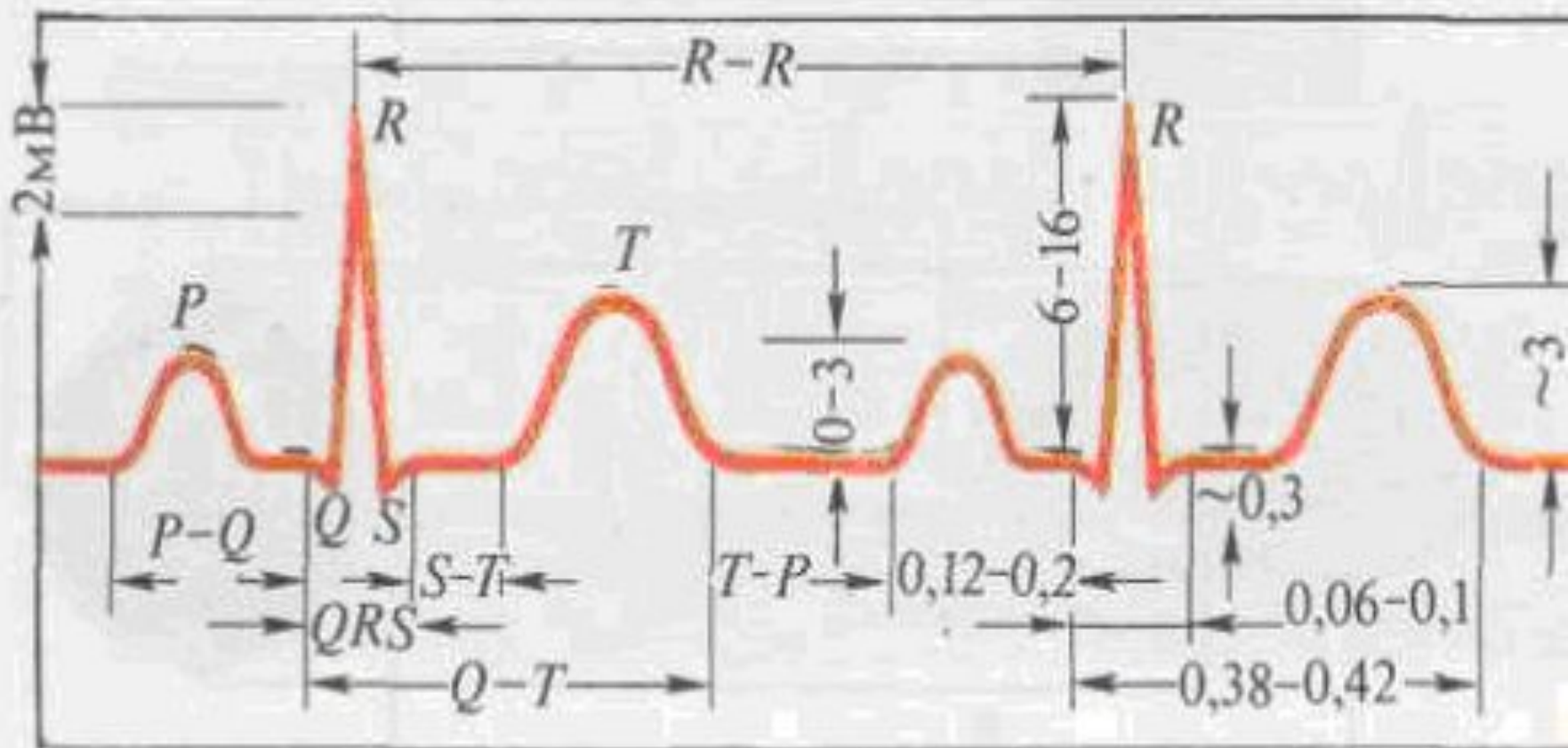
а - три стандартных отведения:
I - верхние конечности
II - правая рука - левая нога
III - левая рука и нога
б - треугольник Эйнтховена

в - грудные отведения



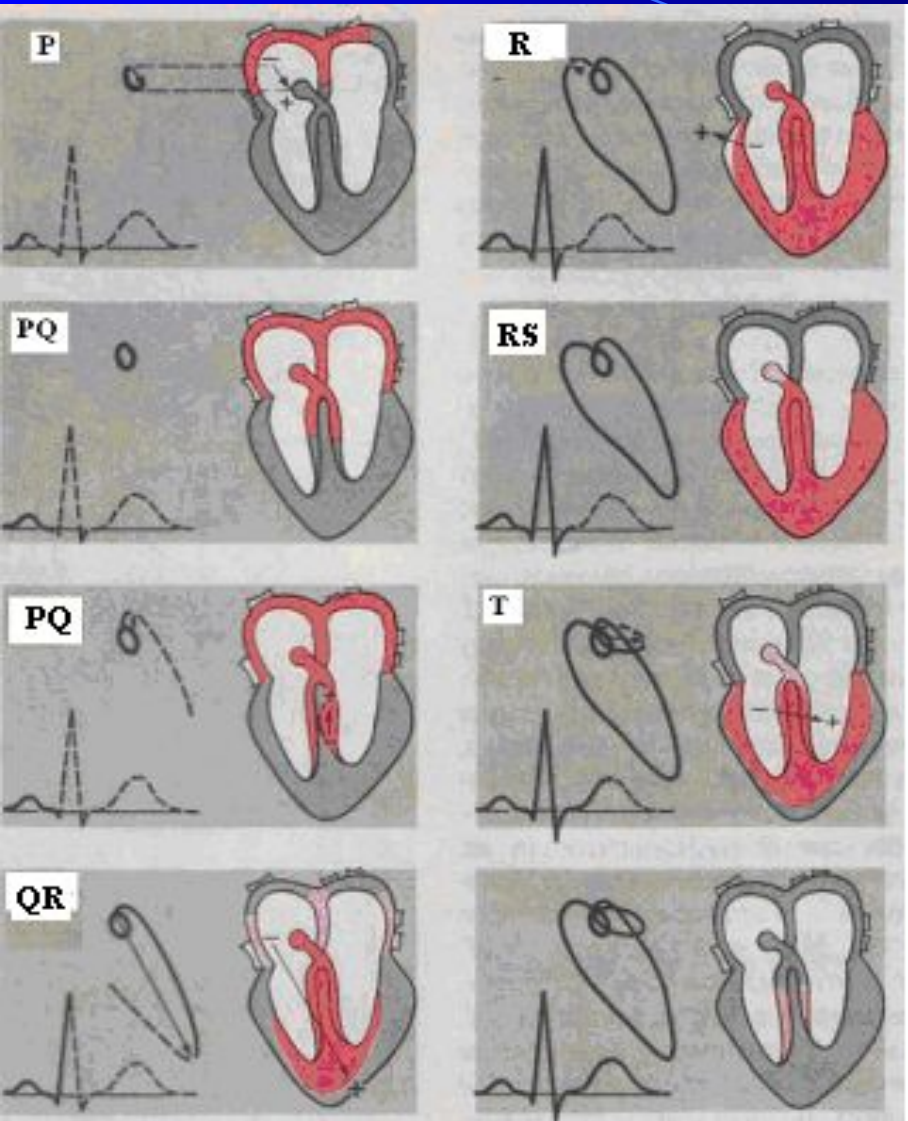
ЭКГграмма

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.