

# 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.

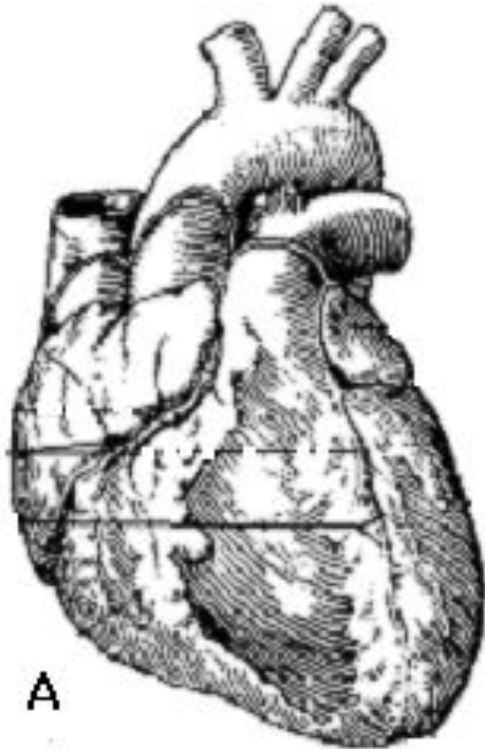
# Для непрерывности кровотока необходимо несколько обязательных условий

- 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.

# № 1. Сердце

- 1. Кардиомиоциты.
- 2. Физиологические свойства миокарда.
- 3. Сердечный цикл.

# Анатомия сердца

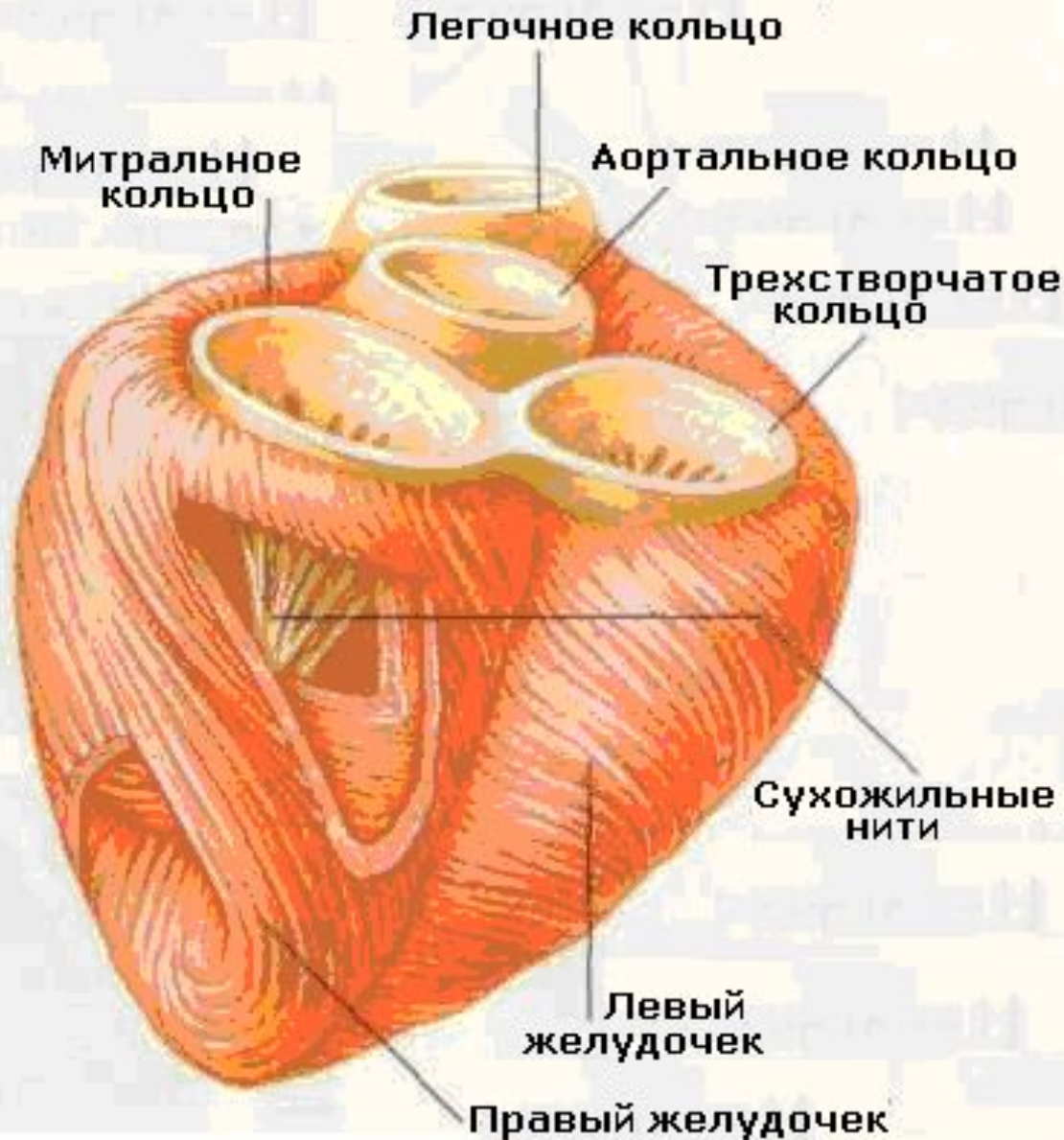


Б - вид сверху  
(удалены предсердия)

Основные отделы —  
желудочки.

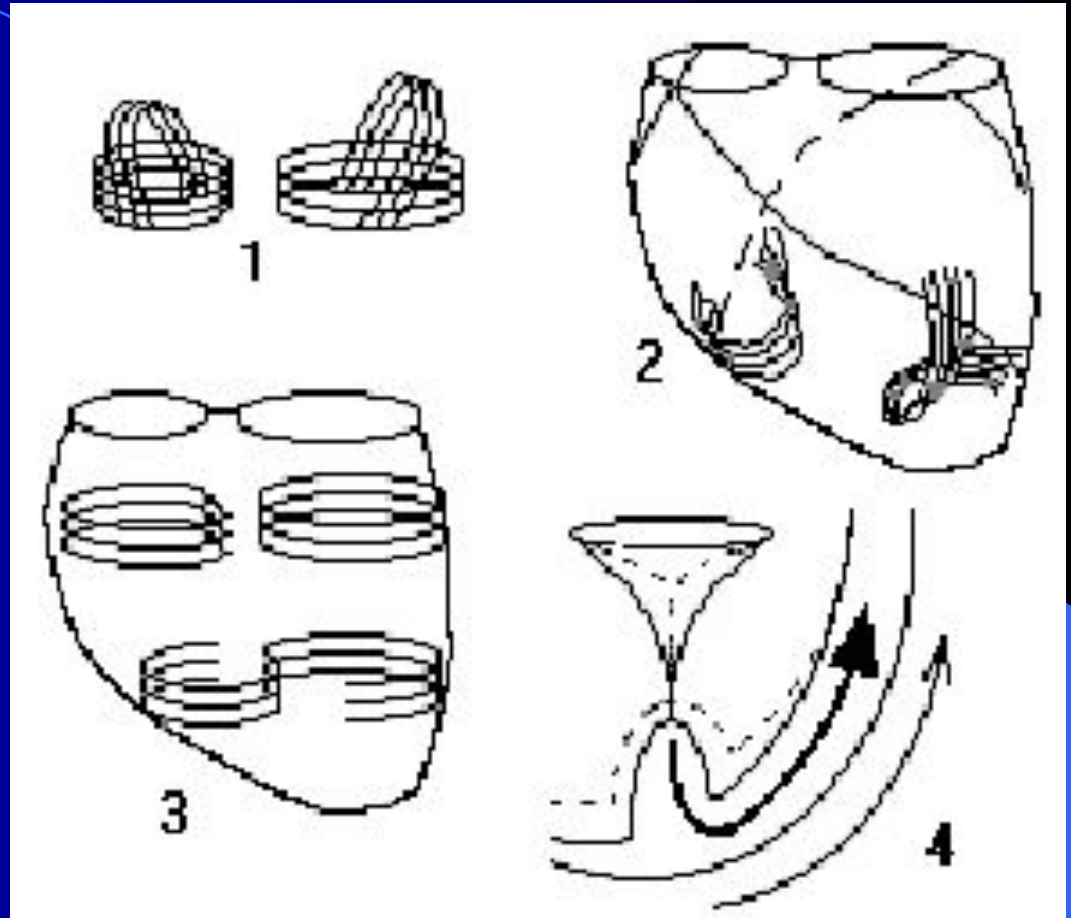
Предсердия играют  
вспомогательную  
функцию: в них  
поступает кровь в  
то время, когда  
происходит систола  
желудочков.

# Направление волокон кардиомиоцитов

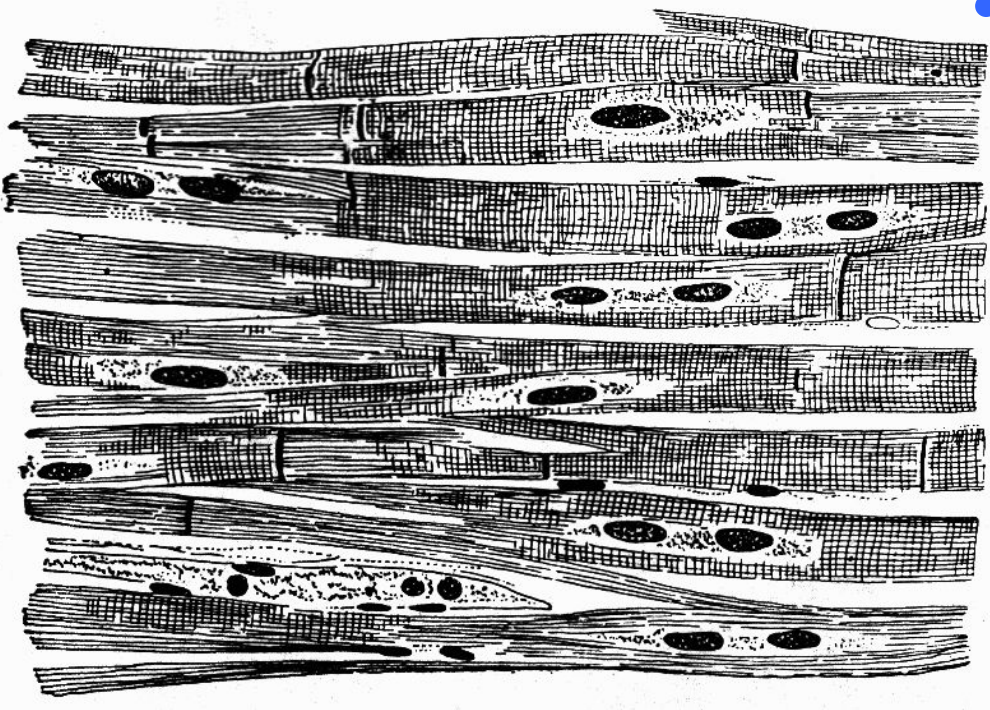


- Стенка левого желудочка взрослого человека значительно толще, чем правого, так как он обеспечивает циркуляцию крови по большому кругу кровообращения.

- **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

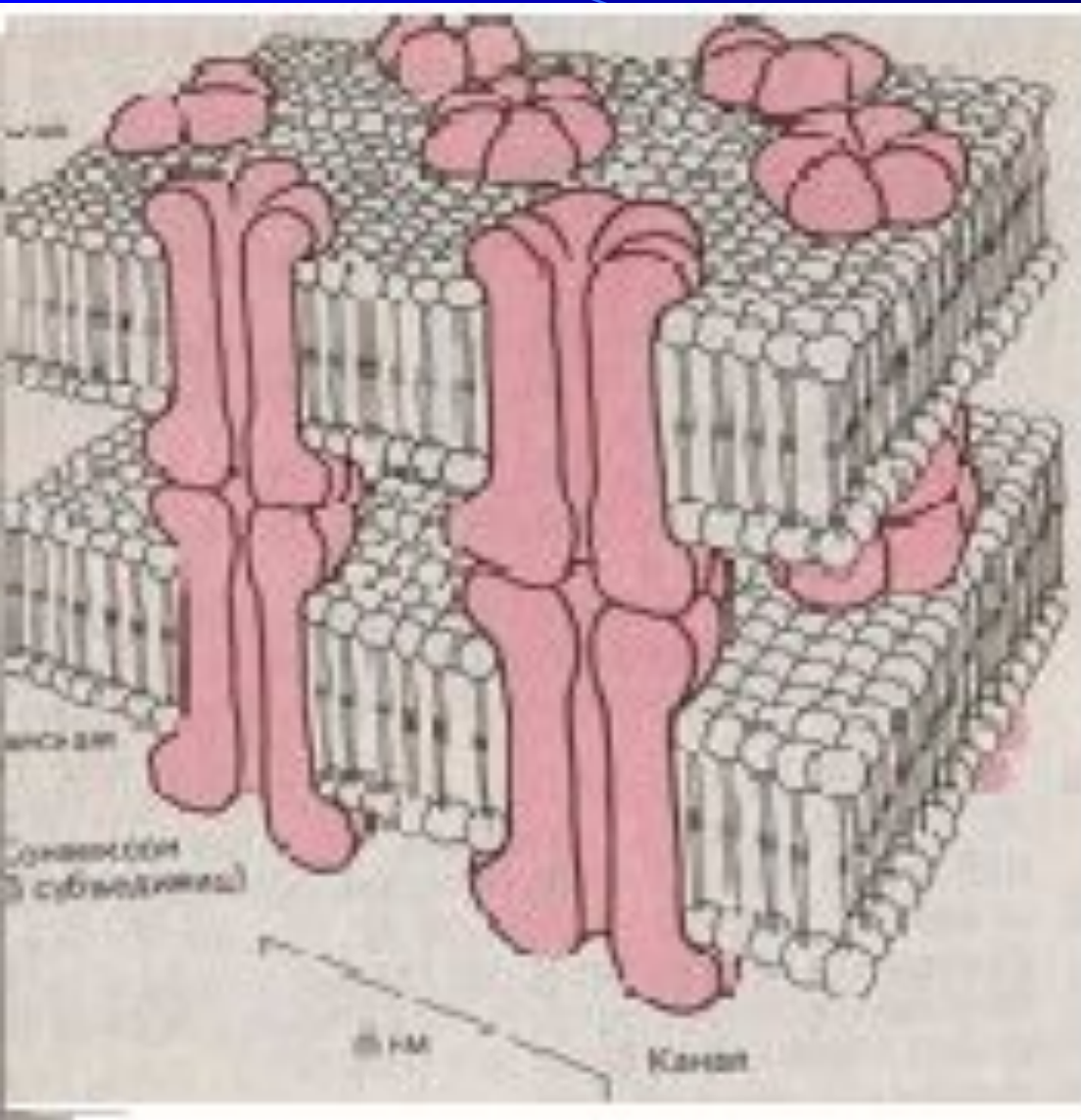


• Прямоугольной формы кардиомиоциты имеют длину около 120 мкм и толщину - 17-20 мкм. В них имеются все структуры, характерные для волокон поперечнополосатой скелетной мышцы: ядра, миофибриллы, митохондрии, саркоплазматический ретикулум (СПР).

- 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**: все кардиомиоциты возбуждаются и сокращаются одновременно.

# Физиологические свойства сердца

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

Его свойства:

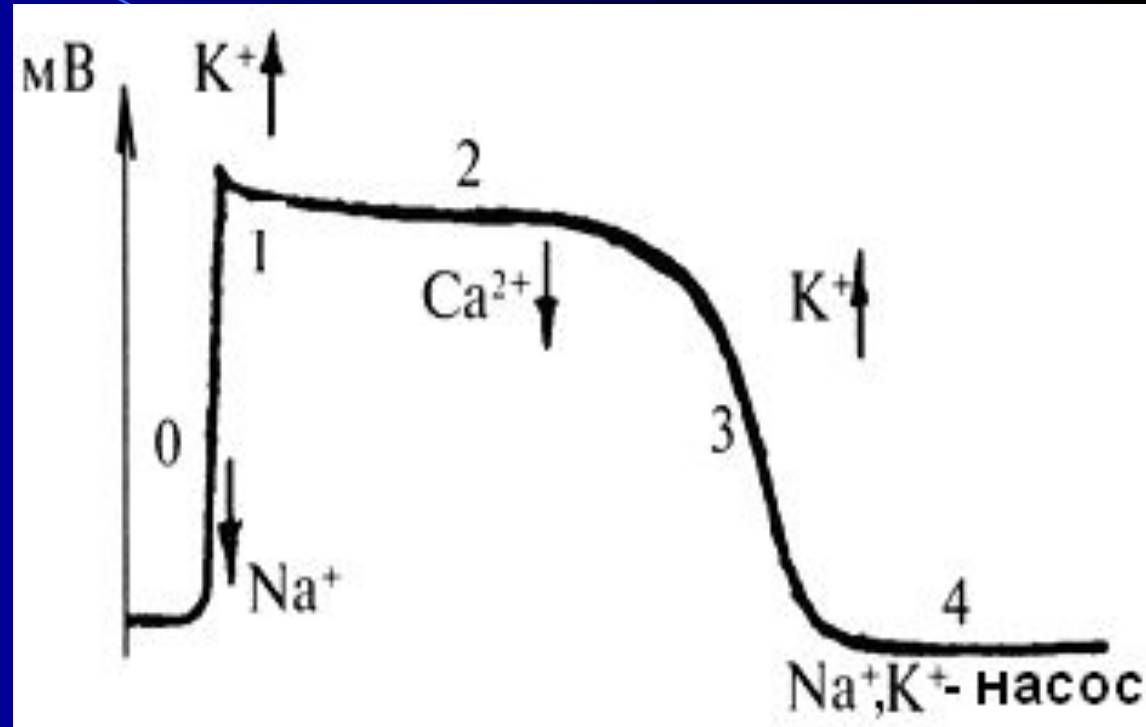
- Возбудимость
- Рефрактерность
- Автоматизм
- Проводимость
- Сократимость

# Ионные каналы

- *Сократимый миокард:*
- быстрые натриевые,
- медленные (*Ca, Na*),
- калиевые:  
(*потенциалзависимый – при -45 мВ, 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.
- *Клетки узлов проводящей системы:*
- не имеют быстрых натриевых каналов.

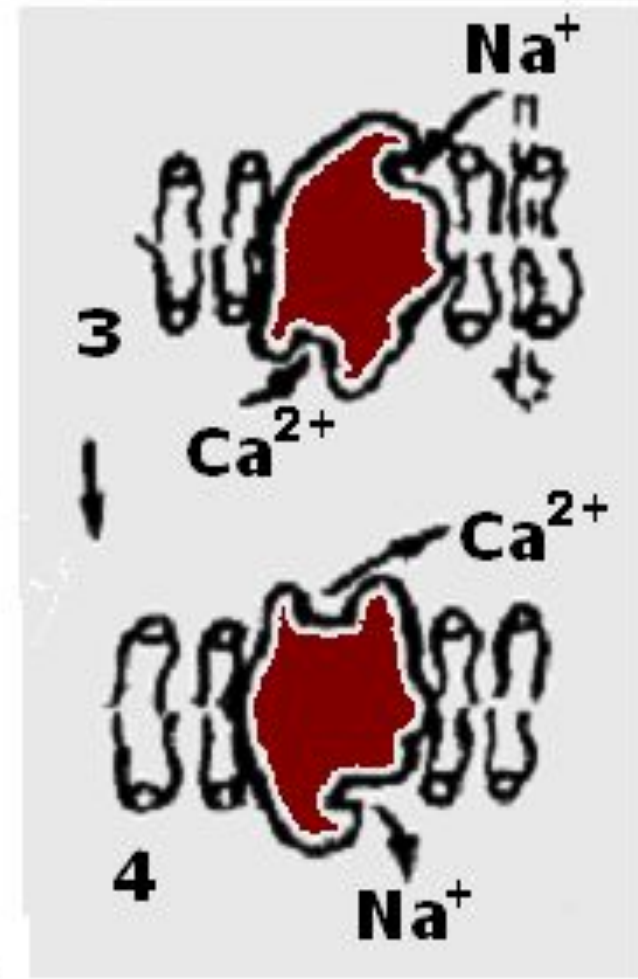
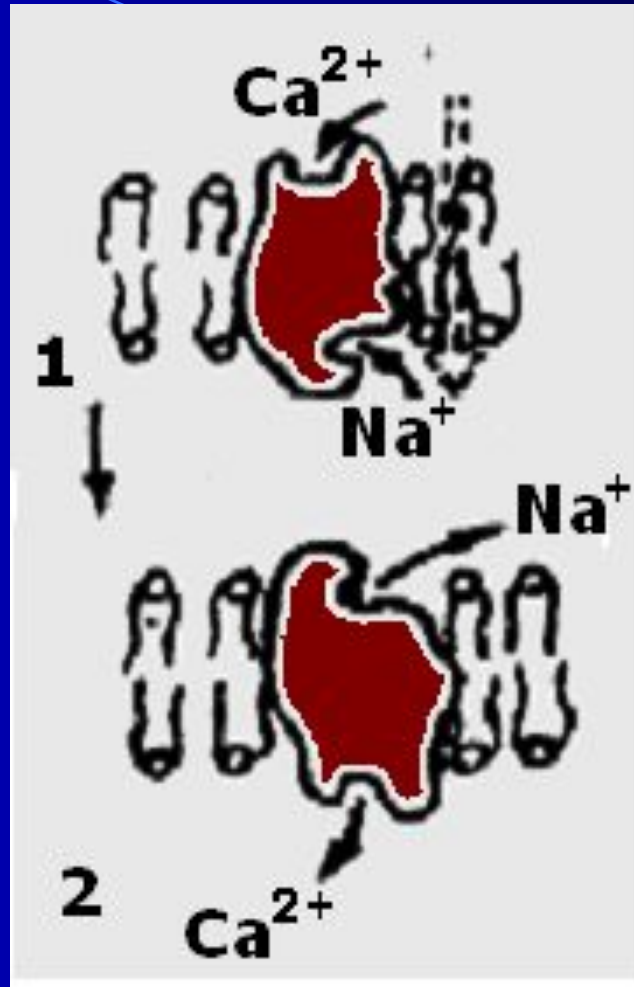
# Фазы развития ПД в сократимых кардиомиоцитах

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

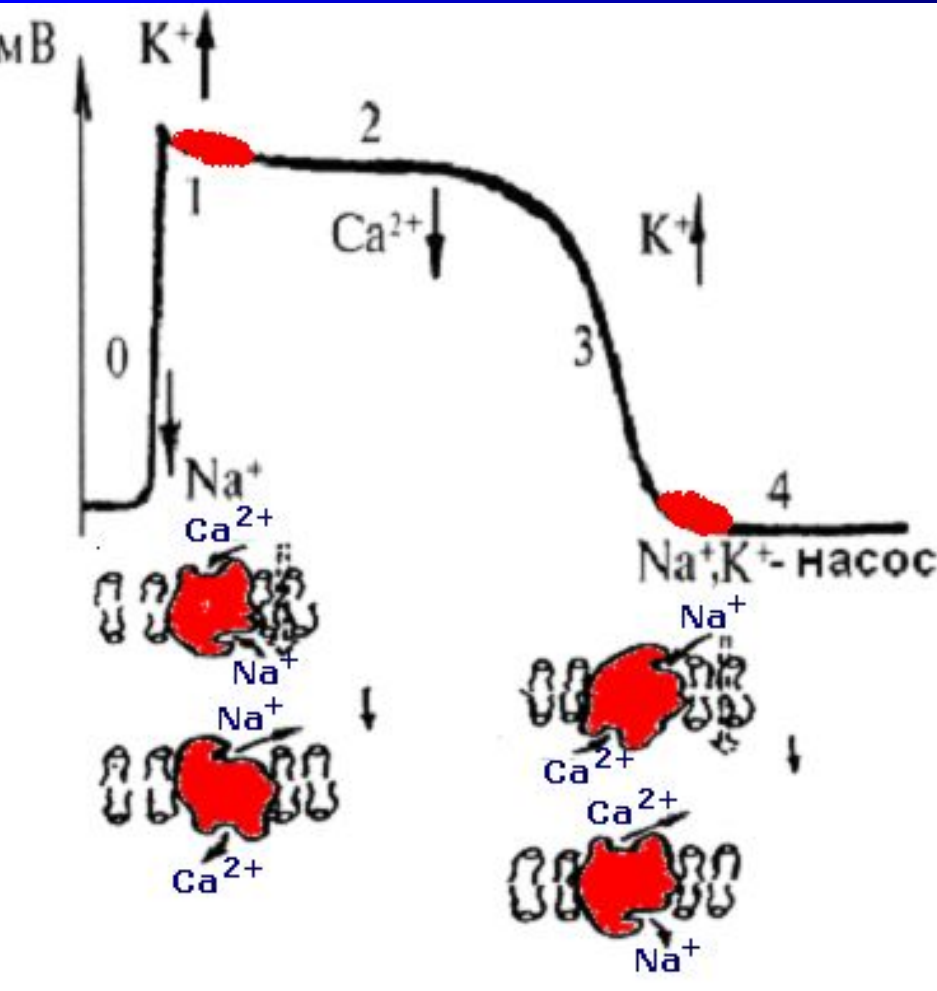


# Натрий-кальциевое сопряжение

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

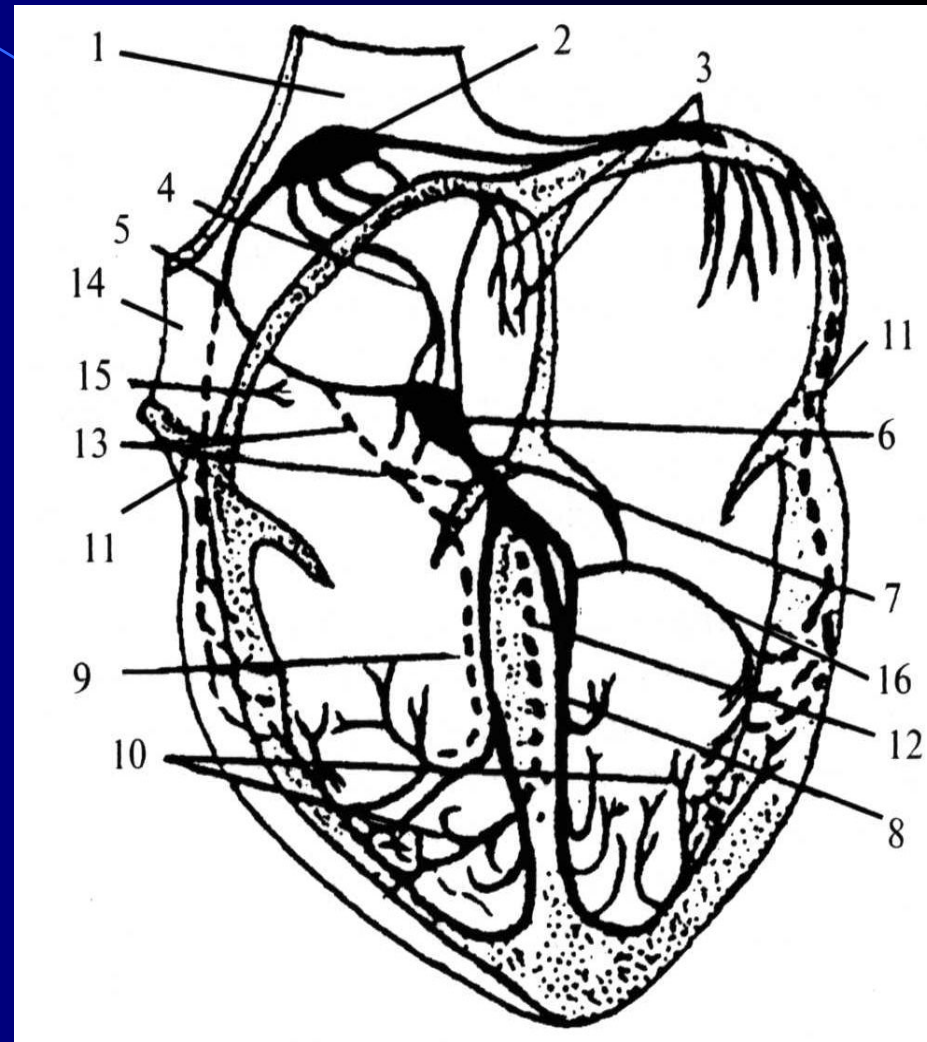
а) в цитоплазму  $Na$  (что бы включался  $Na$ - $K$ -насос),

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,**



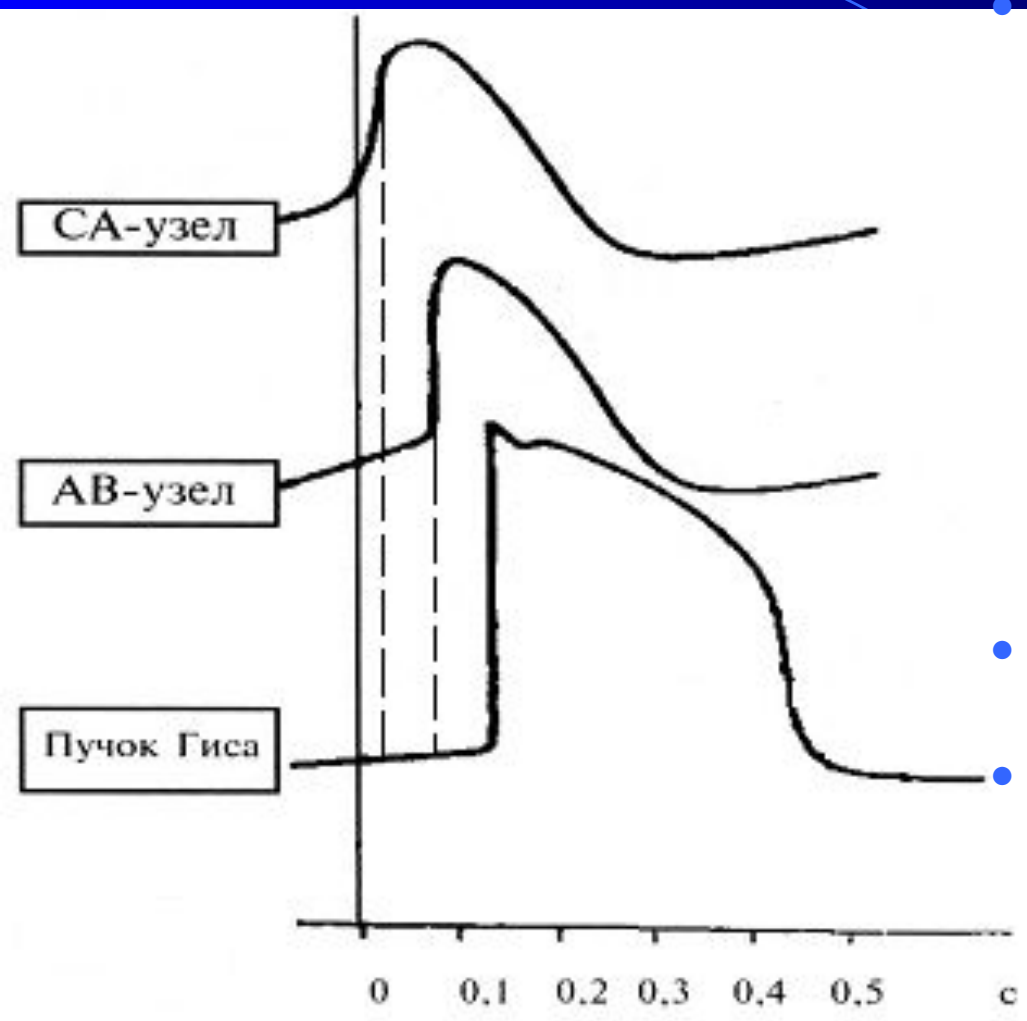
# Узлы проводящей системы

- *Синоатриальный узел* располагается в правом предсердии у места впадения верхней полой вены. Узел эллипсоидной формы, длиной 10-15 мм, шириной 4-5 мм, толщиной 1,5 мм.
- Он состоит из двух типов клеток:  
Р-клетки генерируют электрические импульсы,  
Т-клетки проводят эти импульсы к миокарду предсердий и атриовентрикулярному узлу.

- *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.



# Автоматизм (градиент автоматии)

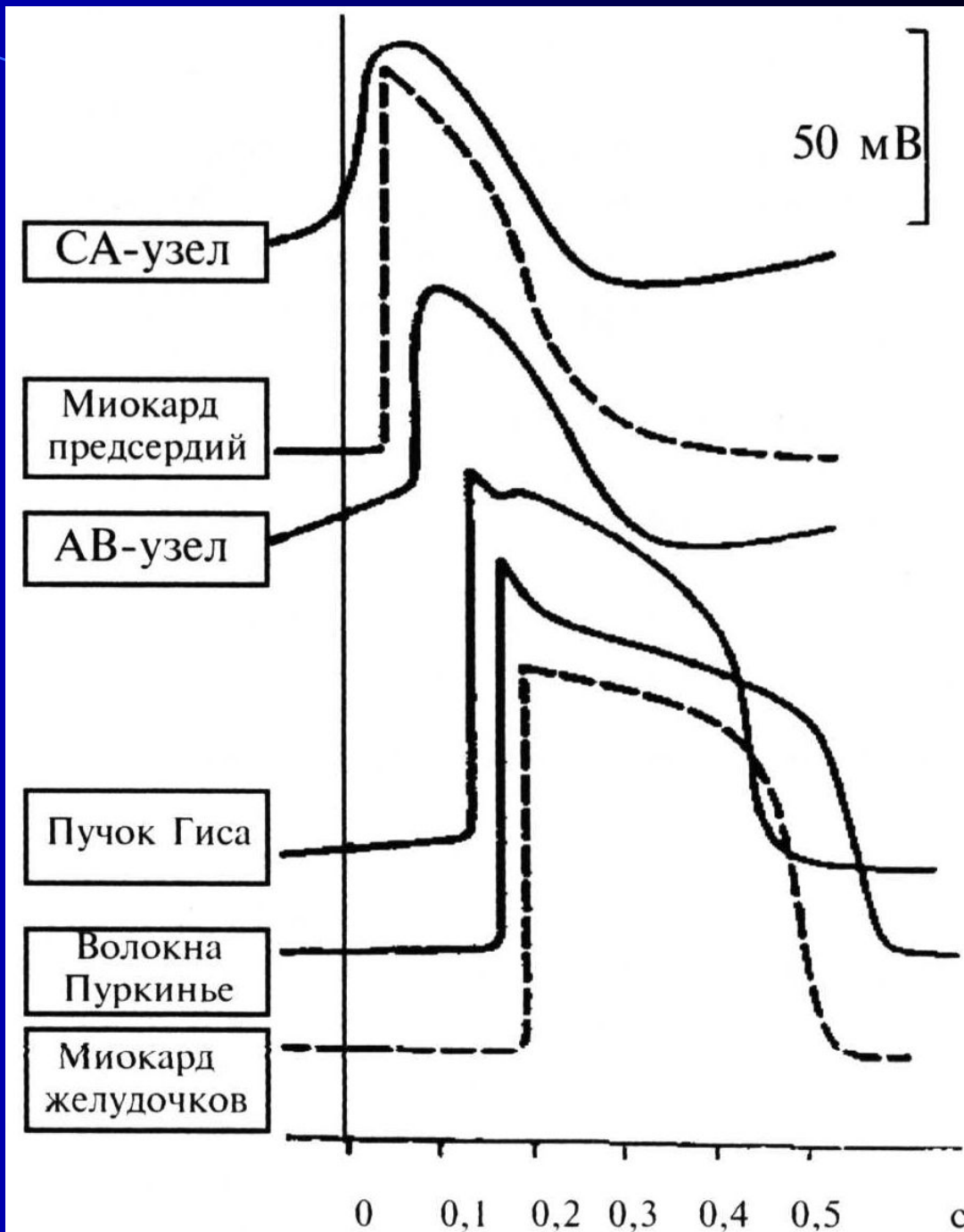


- *Отдельные структуры проводящей системы сердца обладают разным уровнем пейсмекерной активности. Спонтанная проницаемость мембран к ионам  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{Na}^+$ ) у клеток синусного узла, наиболее высокая. В клетках атриовентрикулярного узла она в 1,5-2 раза ниже, еще ниже в волокнах пучка Гиса.*
- *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 новая волна деполяризации мембраны. Развивается она спонтанно в отсутствии действия внешнего раздражителя, что обусловлено характером соотношения ионных токов. 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.

# ПД в структурах миокарда



## Особенности развития ПД в различных структурах сердца

- В клетках миокарда предсердий и желудочков, а так же пучка Гиса, волокон Пуркинье имеются быстрые натриевые каналы.
- Поэтому возбуждение в них возникает с типичным пиком действия.
- У кардиомиоцитов предсердий ПД менее длительный, чем желудочков.

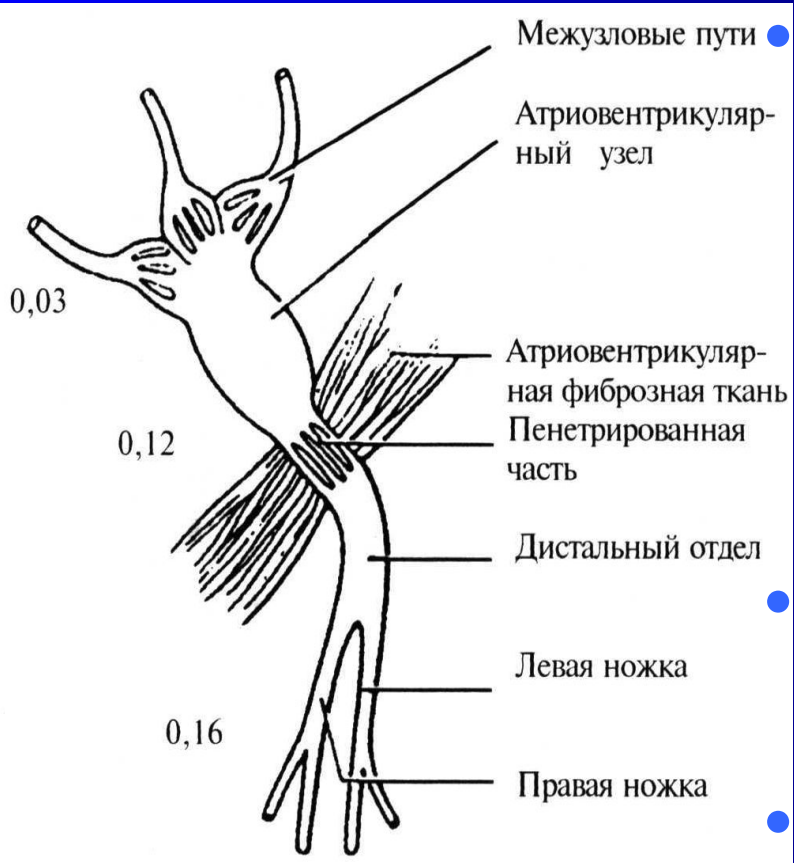
# Особенности ПД (в левом желудочке 250 мс)

- 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

- Распространение ПД по предсердиям происходит 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.

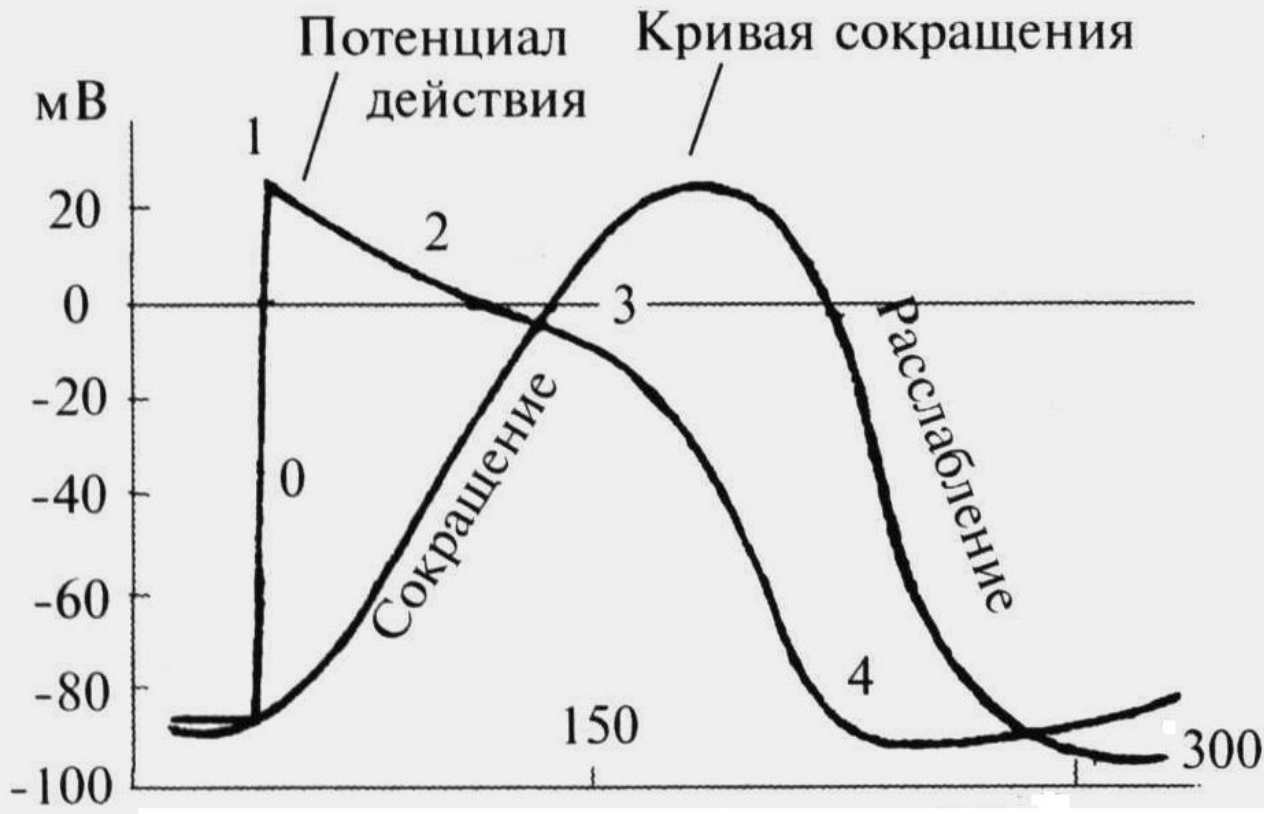
# Организация атриовентрикулярного узла (цифрами показано время возникновения ПД по отношению к синусному узлу)



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.

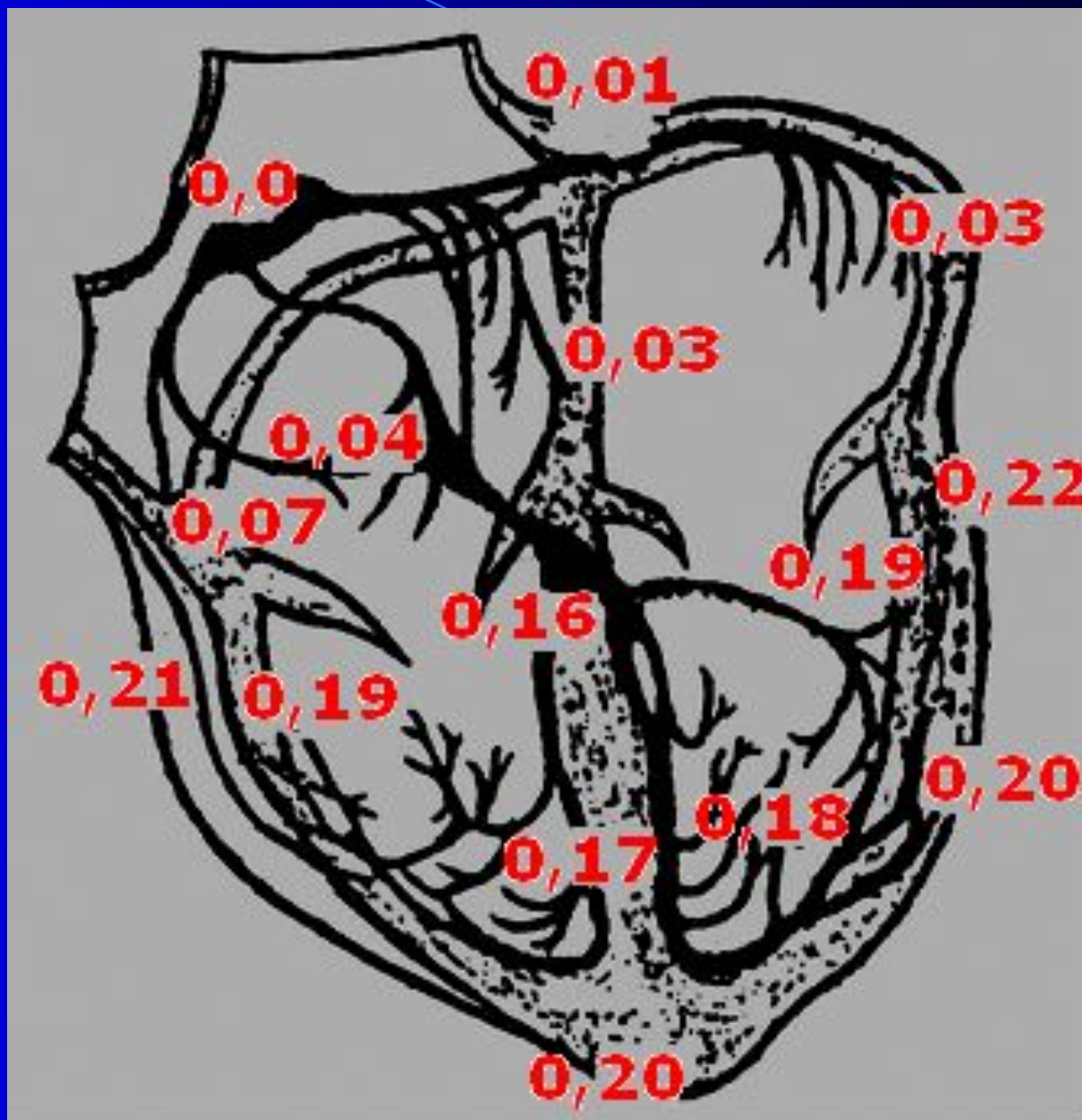
# Сократимость

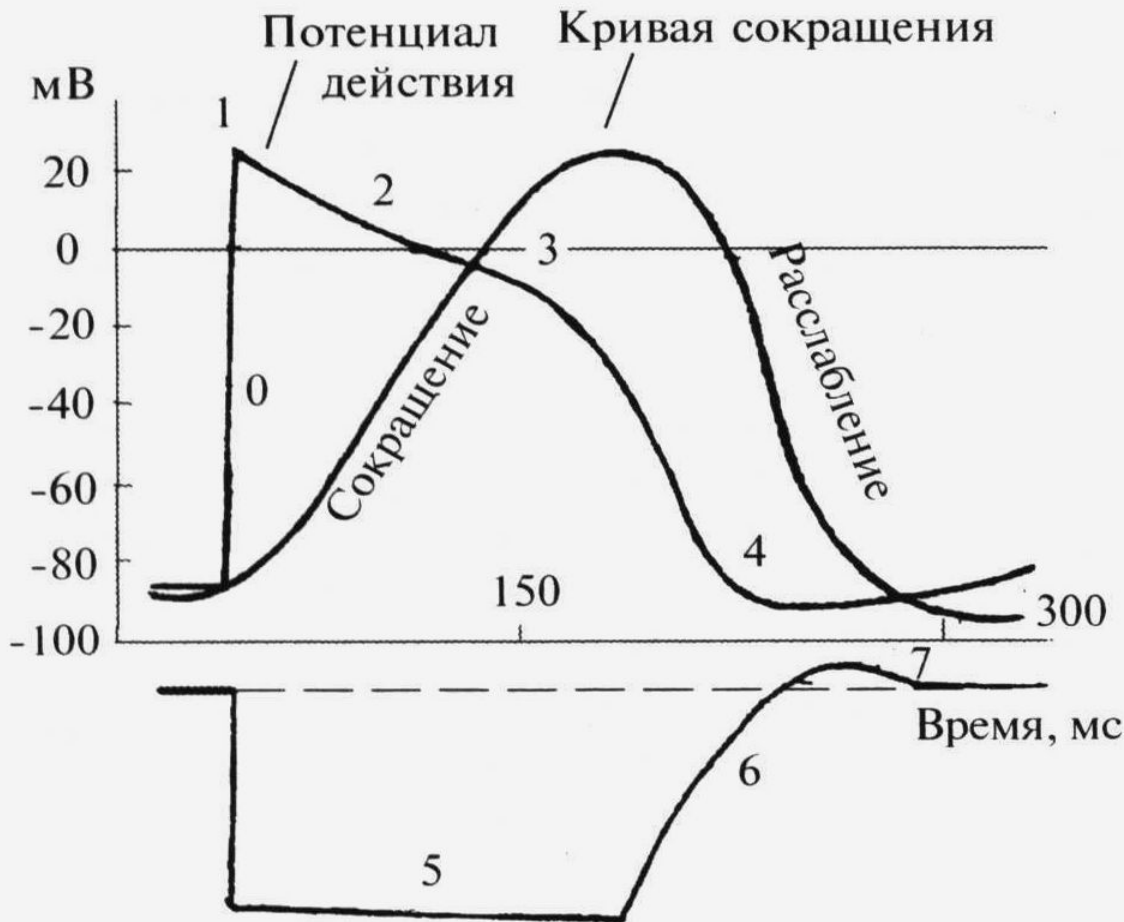


- Инициатором мышечного сокращения является кальций (увеличение его концентрации в саркоплазме в 100 раз), поступающий из саркоплазматического ретикулума и поступивший через сарколемму, достаточный для начала мышечного сокращения уровень кальция достигается через 12-15 мс после прихода нервного импульса. Это скрытое, латентное время мышечного сокращения



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

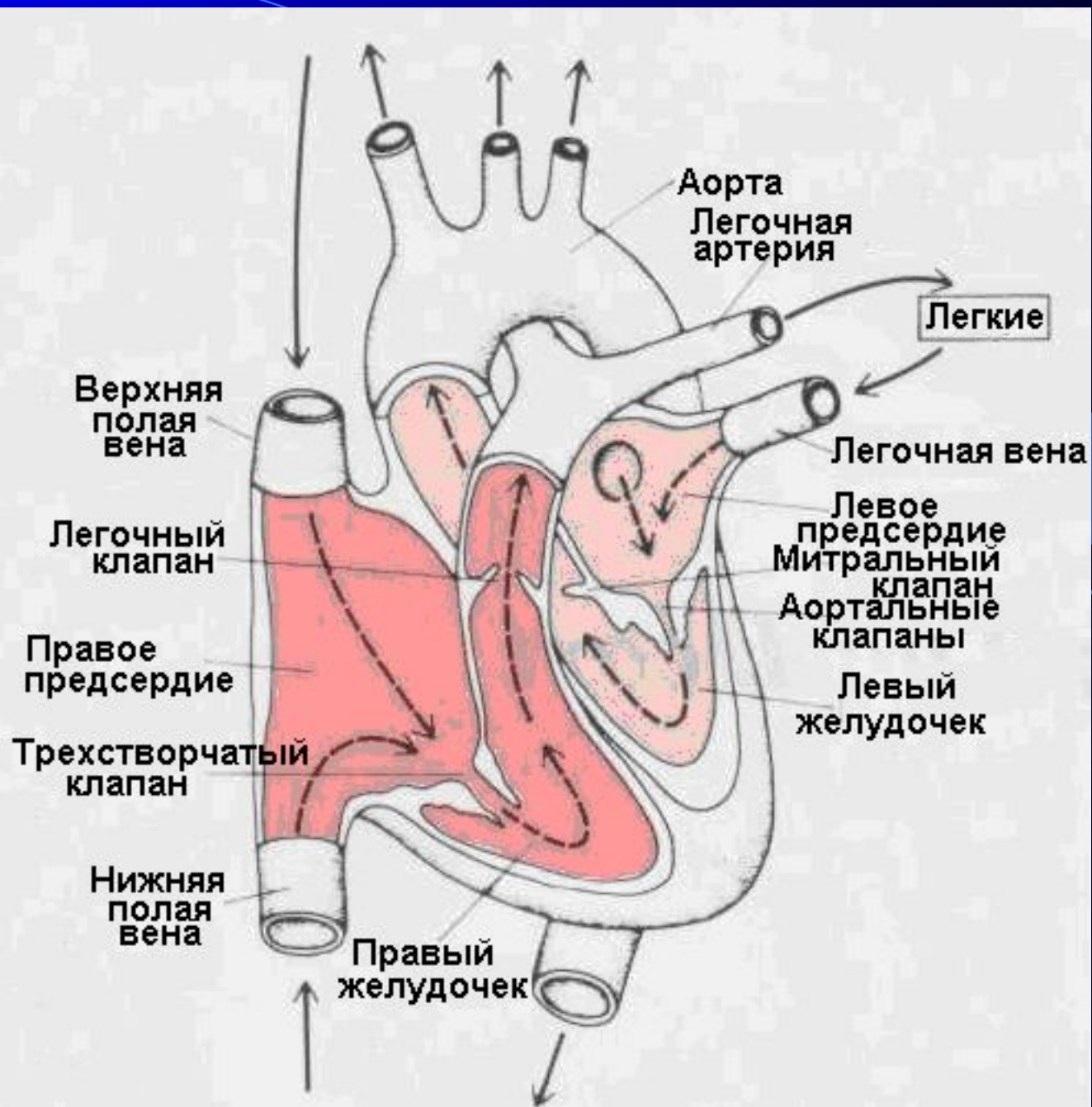




## Рефрактерность ОБУСЛОВЛЕНА ЗАКРЫТЫМ СОСТОЯНИЕМ БЫСТРЫХ НАТРИЕВЫХ КАНАЛОВ

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 (сistolы) 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

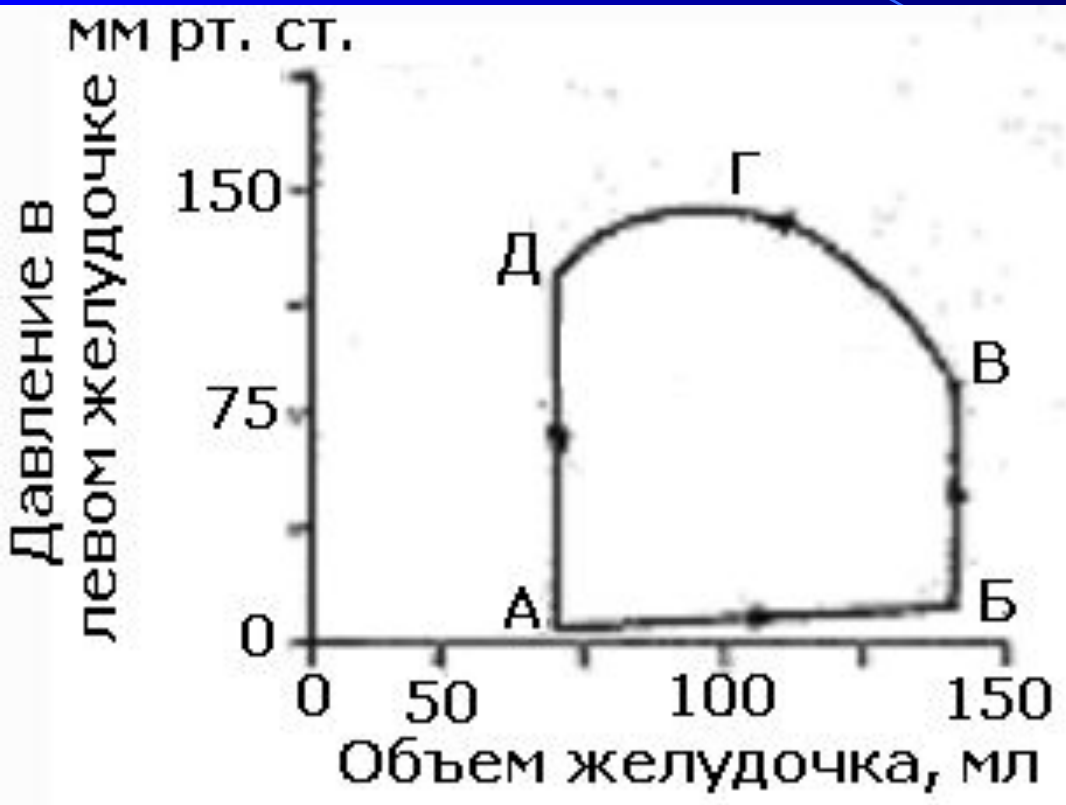
- Возбуждение, зародившееся в синусном узле, в первую очередь поступает к миокарду предсердий, так как передача его желудочкам в верхней части атриовентрикулярного узла задерживается. Поэтому вначале происходит систола предсердий (0,1 с).
- При этом сокращение мышечных волокон, расположенных вокруг устьев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



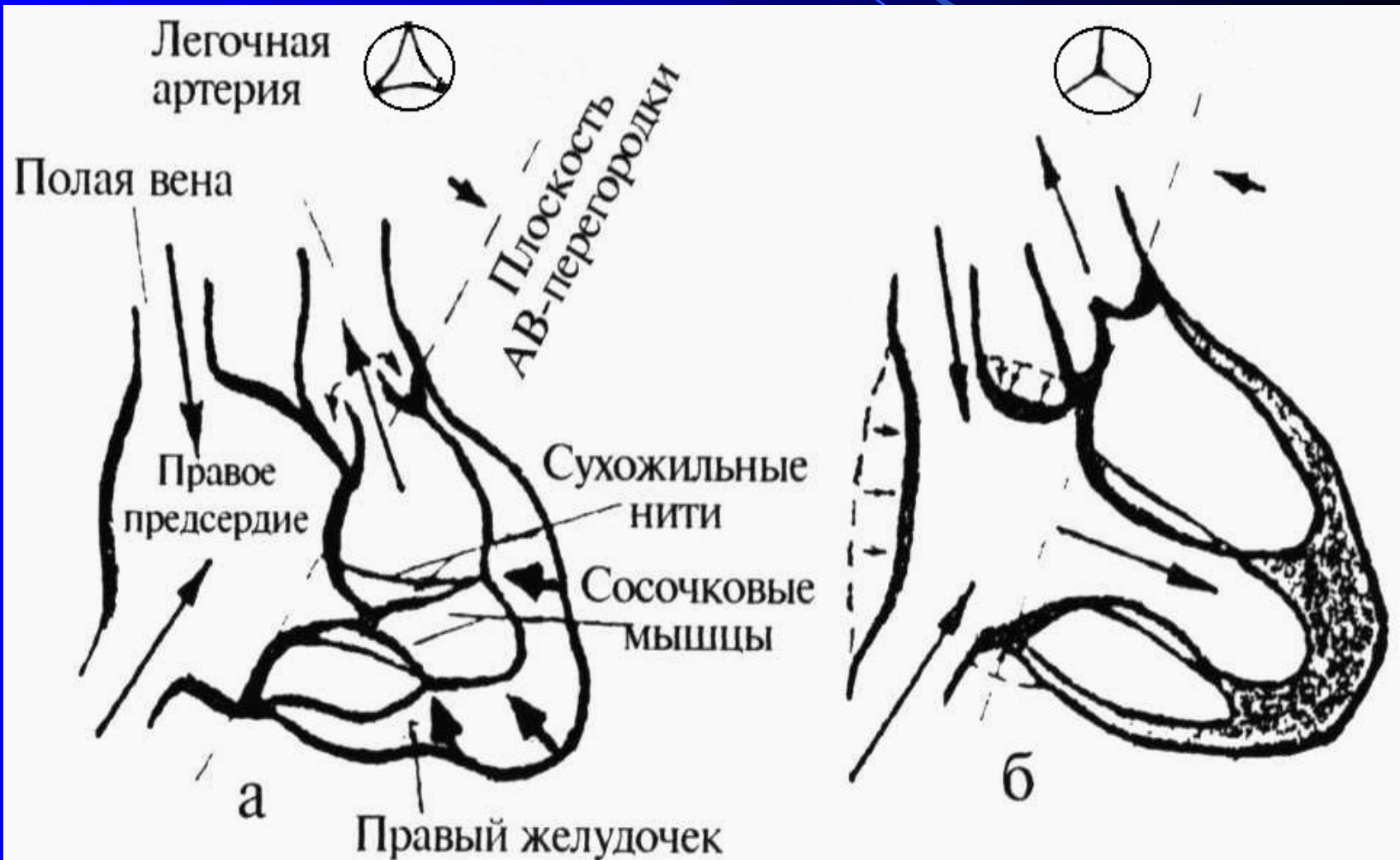
- А — конец систолы,
- А-Б — диастола желудочка,
- Б — начало систолы ж.,
- Б-В — фаза напряжения,
- В — открытие аорт. клапанов,
- В-Г — быстрое изгнание,
- Г-Д — медленное изгнание,
- Д — закрытие аорт. клапанов.



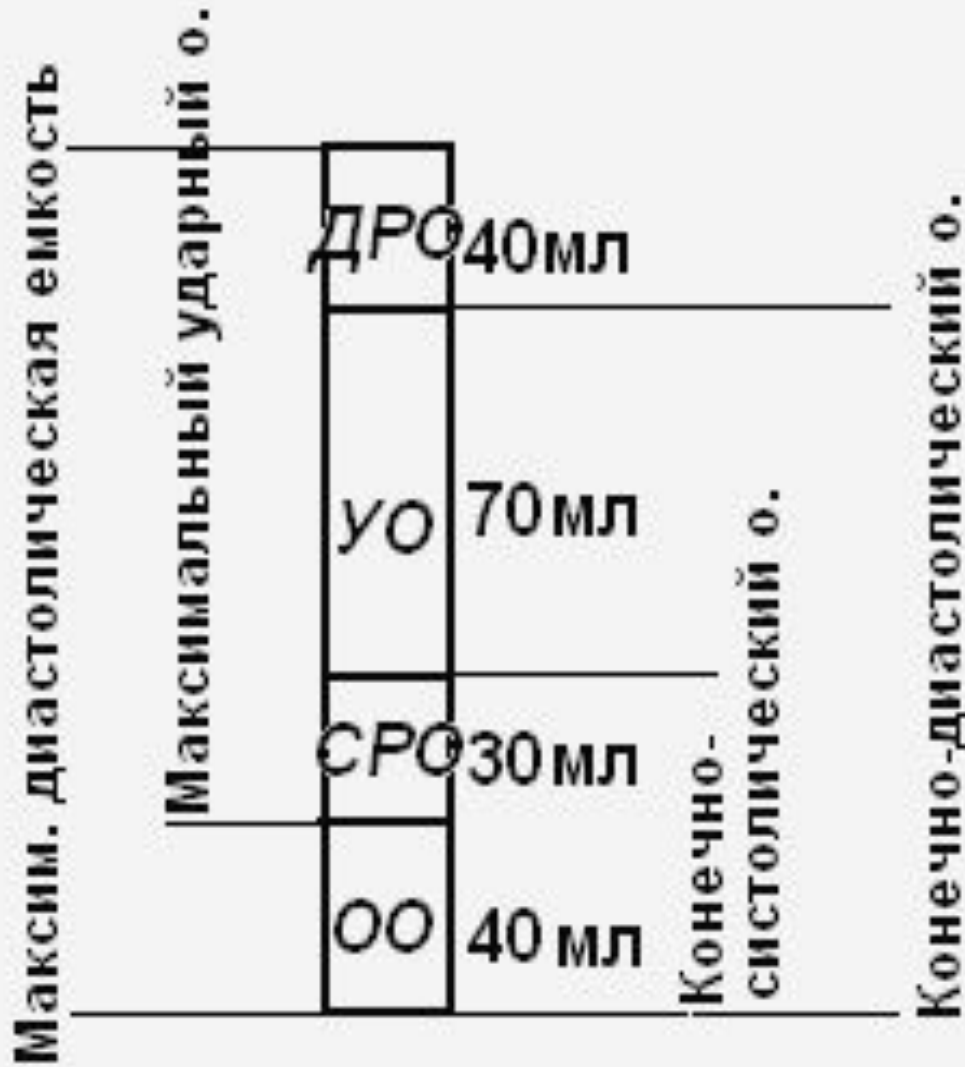
# Общая диастола

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

# Сердечный цикл и механизм присасывающего действия при смещении атриовентрикулярной перегородки в период систолы желудочков (а - диастола предсердий)



# 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».