

# Система кровообращения

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

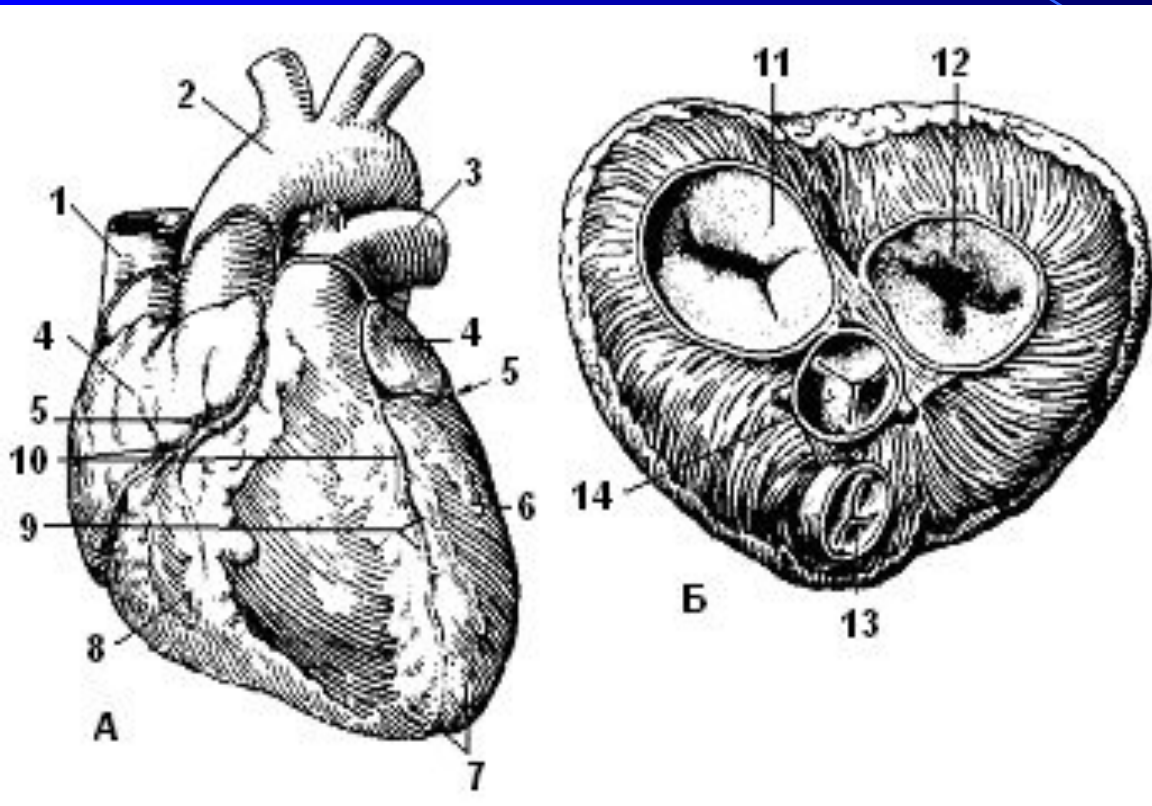
# Система кровообращения

## Сердце

### Строение

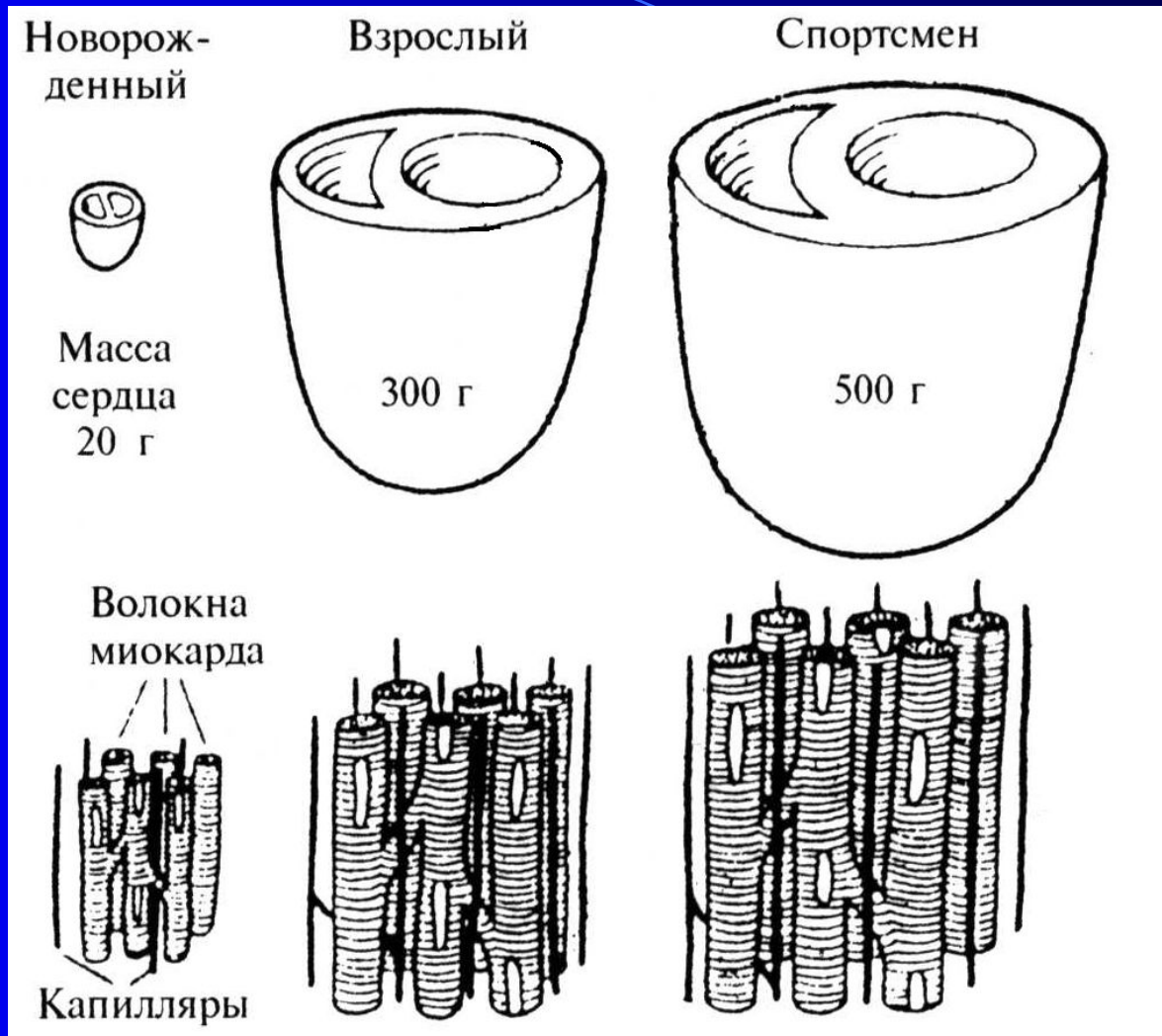
1. Кардиомиоциты.
2. Физиологические свойства миокарда.
3. Сердечный цикл.
4. Показатели работы сердца.

# Анатомия сердца



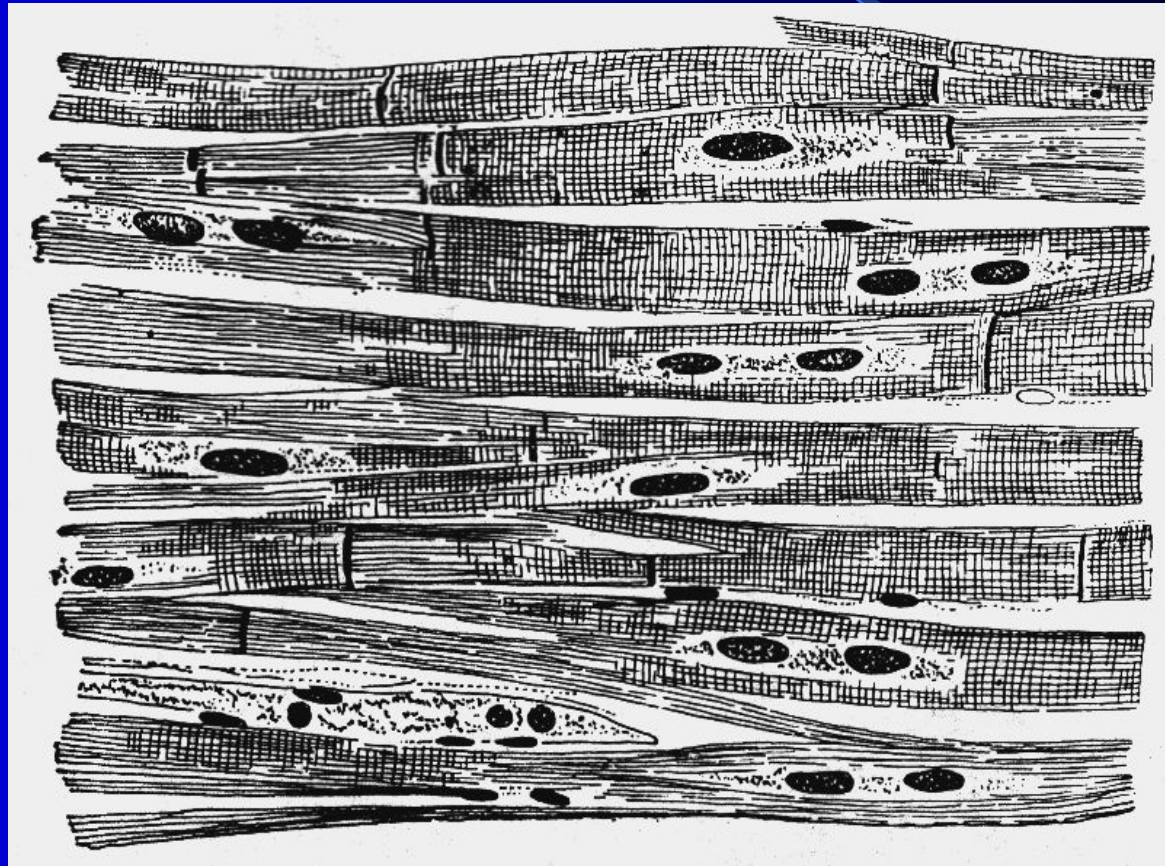
- А – вид сердца спереди
- Б – вид сверху при удаленных предсердиях,
- 1 – полая вена, 2 – дуга аорта,
- 3 – легочный ствол,
- 4 – ушки предсердий,
- 5 – венечная борозда,
- 6 – левый желудочек,
- 7 – верхушка сердца,
- 8 – правый желудочек,
- 9 – межжелудочковая борозда,
- 10 – артерии сердца.
- 11 – правое предсердно-желудочковое отверстие,
- 12 – левое предсердно-желудочковое отверстие,
- 13 – отверстие легочного ствола,
- 14 – отверстие аорты.

# Возрастная динамика массы сердца

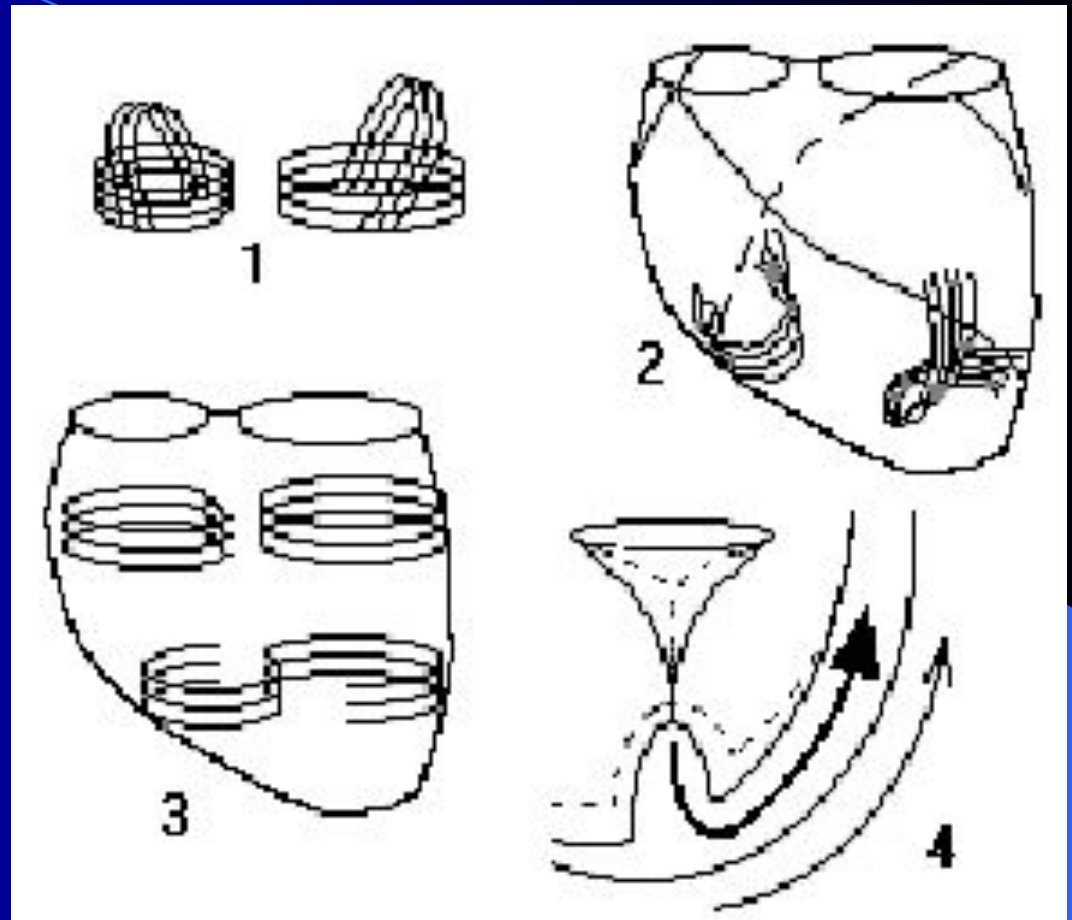


- Изменение толщины кардиомиоцитов и массы сердца.

# Кардиомиоциты



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



# Физиологические свойства сердца

- Возбудимость
- Рефрактерность
- Автоматизм
- Проводимость
- Сократимость

## Развитие ПД и ионная проницаемость в кардиомиоцитах:

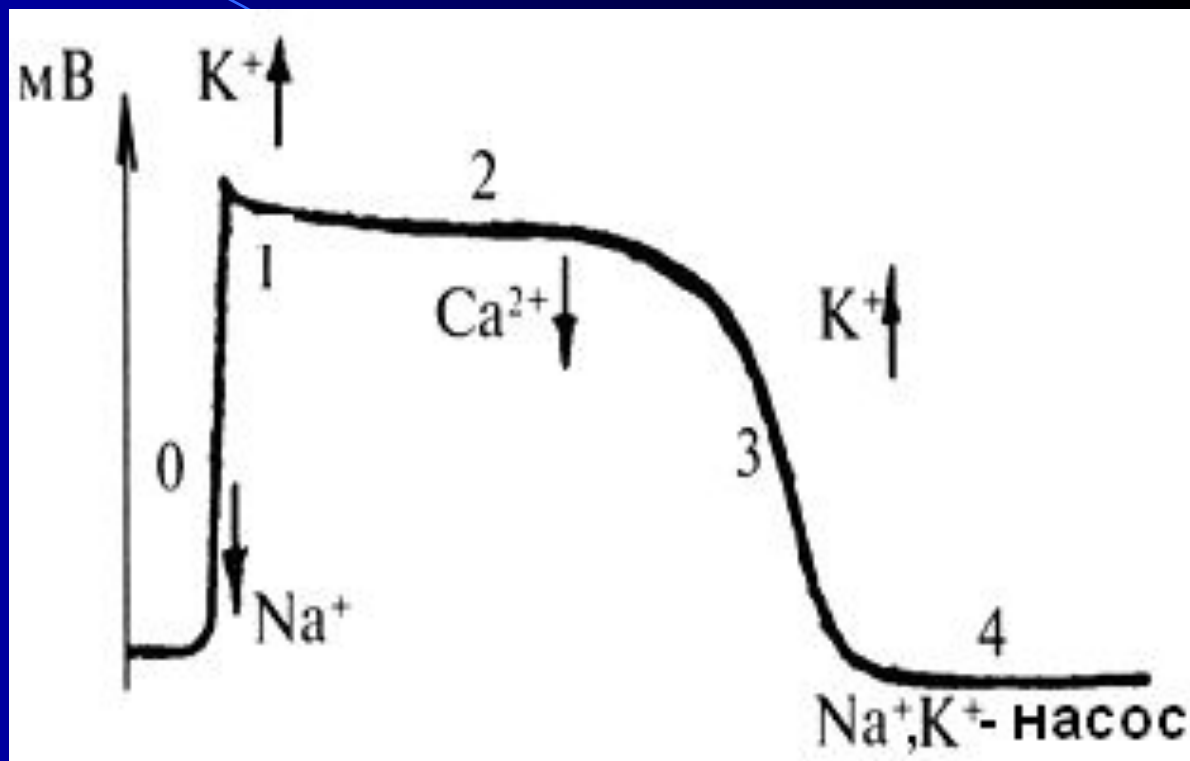
0 – фаза деполяризации,

1 – фаза быстрой реполяризации,

2 – плато,

3 – фаза медленной реполяризации,

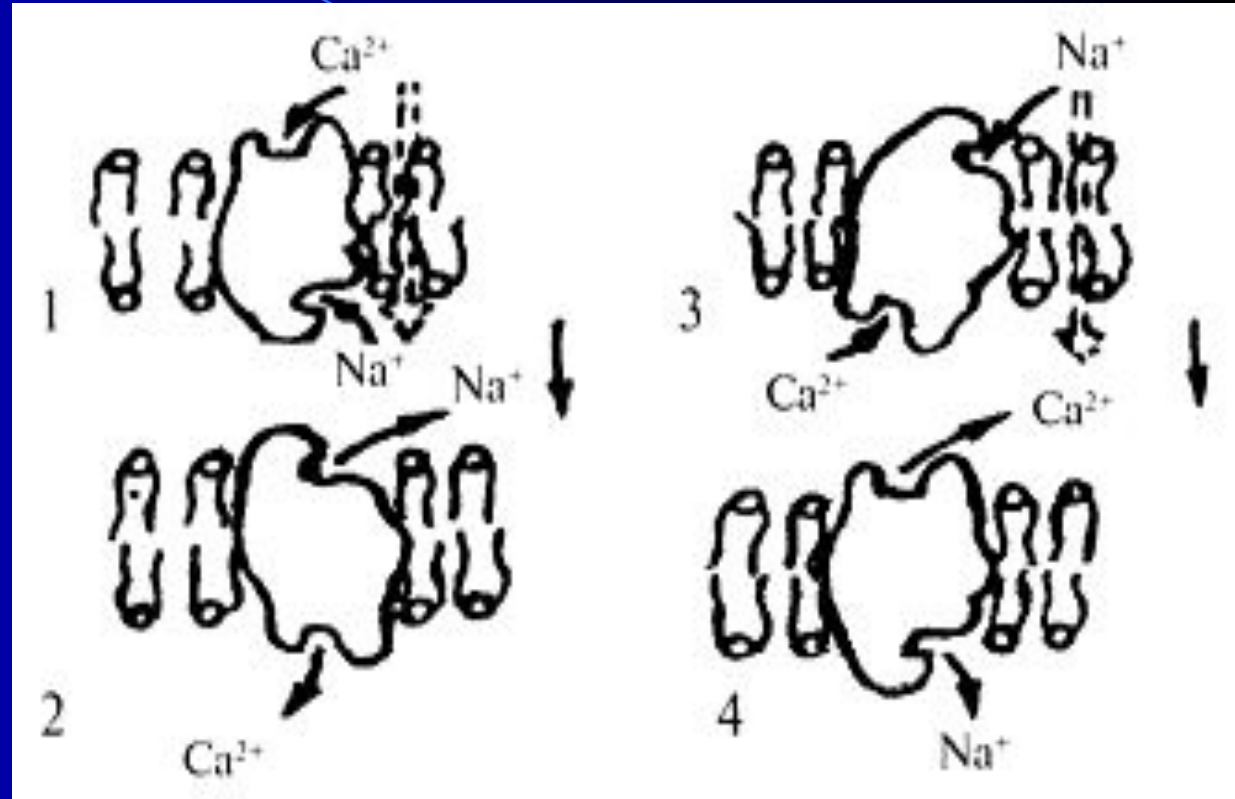
4 – фаза покоя.





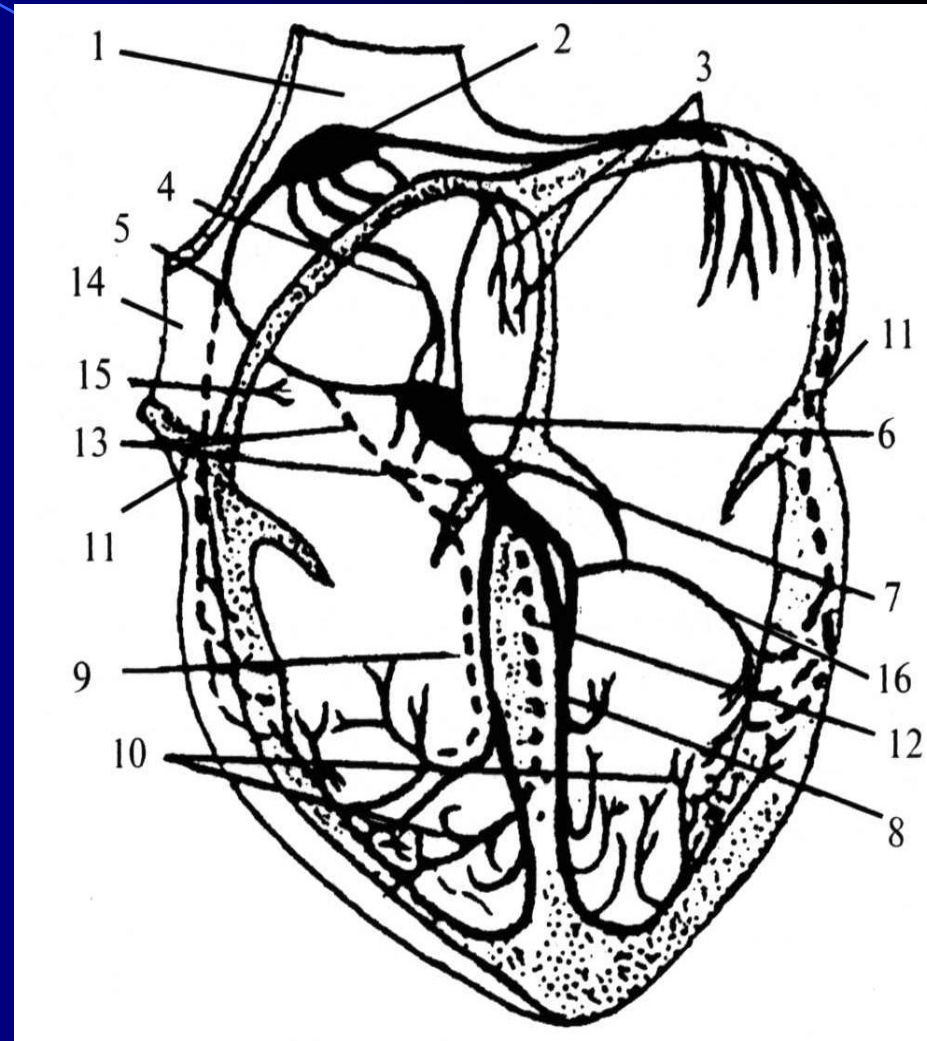
# Натрий-кальциевое сопряжение

- 1-2 – транспорт внутрь кальция, а наружу – натрия;
- 3-4 – транспорт внутрь натрия, а наружу – кальция.

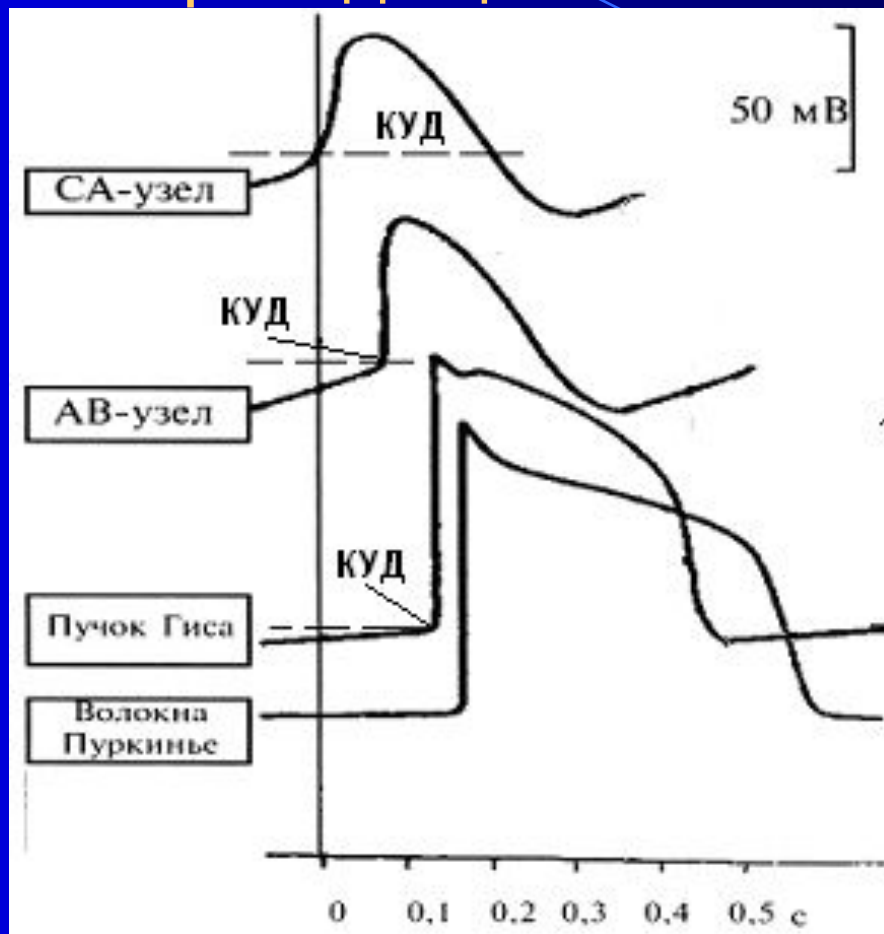


# Проводящая система сердца. Автоматизм.

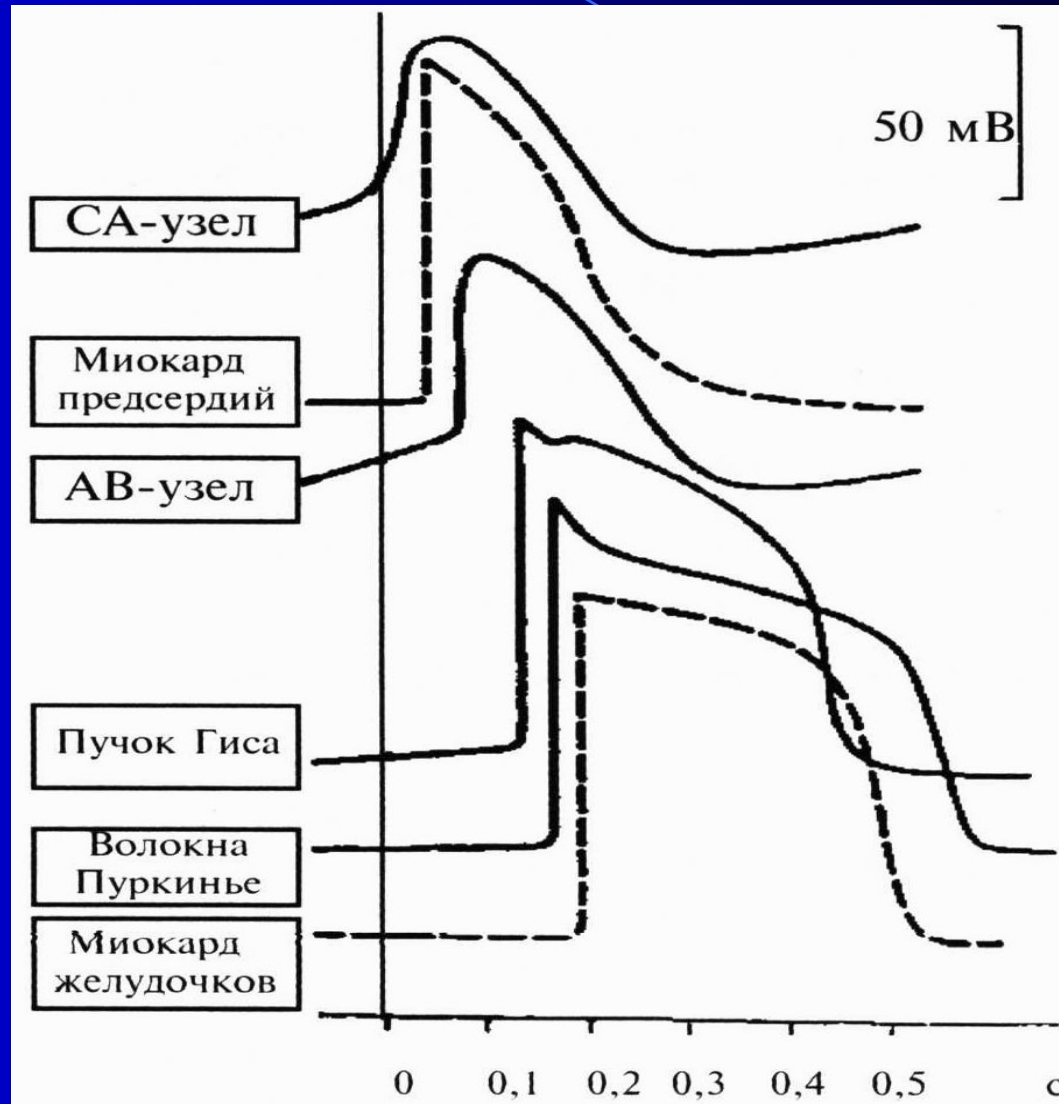
- Элементы проводящей системы сердца
- **2 - синусно-предсердный узел,**
- **3 - тракт Бахмана,**
- **4 - тракт Венкенбаха,**
- **5 - тракт Торела,**
- **6 - предсердно-желудочковый узел,**
- **7 - предсердно-желудочковый пучок,**
- **8,9,16 - ножки пучка Гиса,**
- **10 - волокна Пуркинье,**



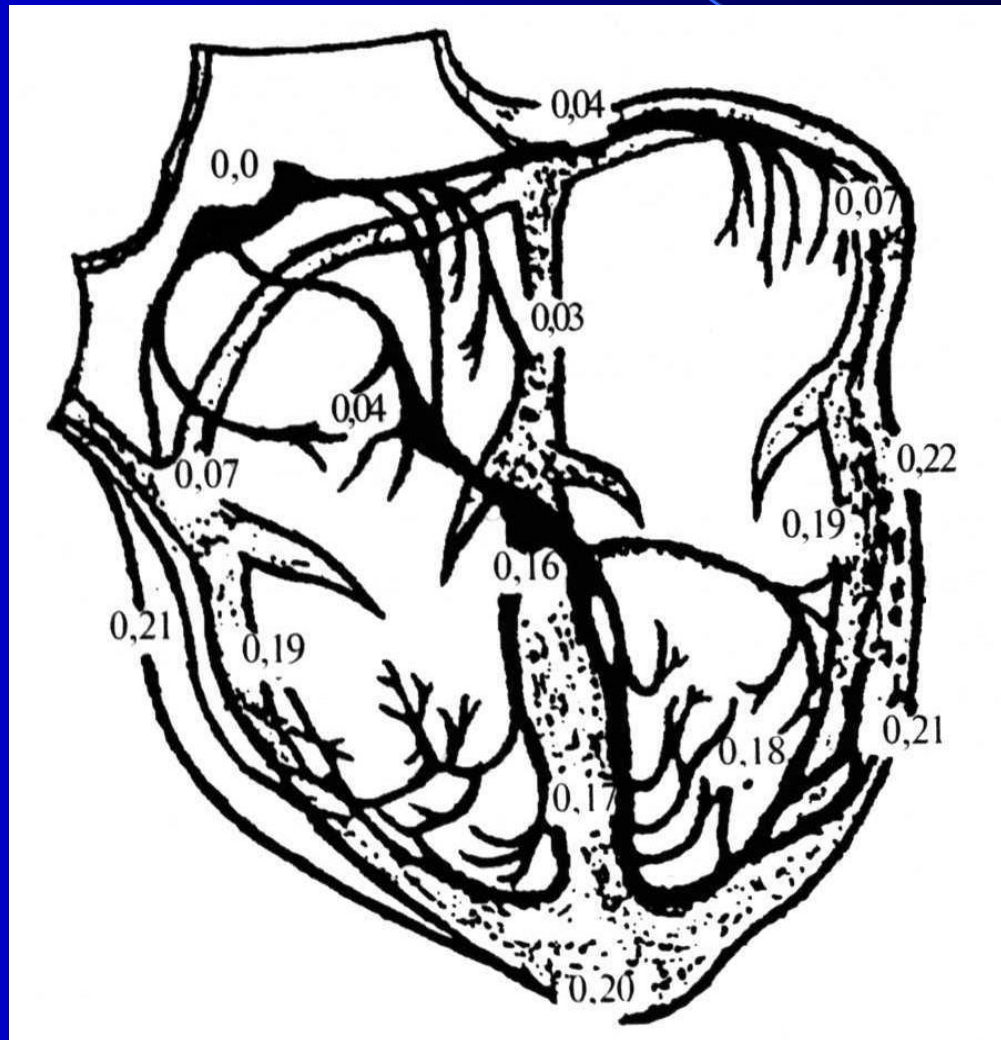
# Пейсмекерные свойства различных структур проводящей системы сердца



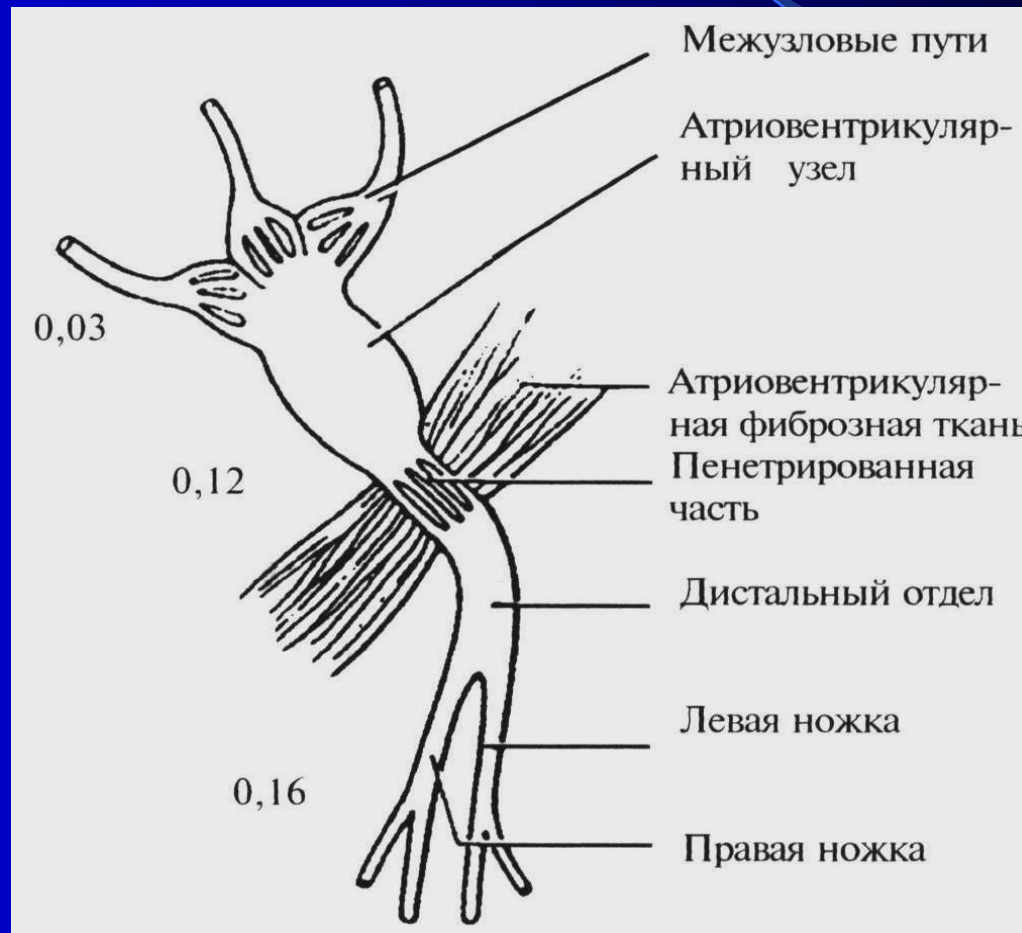
# Особенности развития ПД в различных структурах сердца.



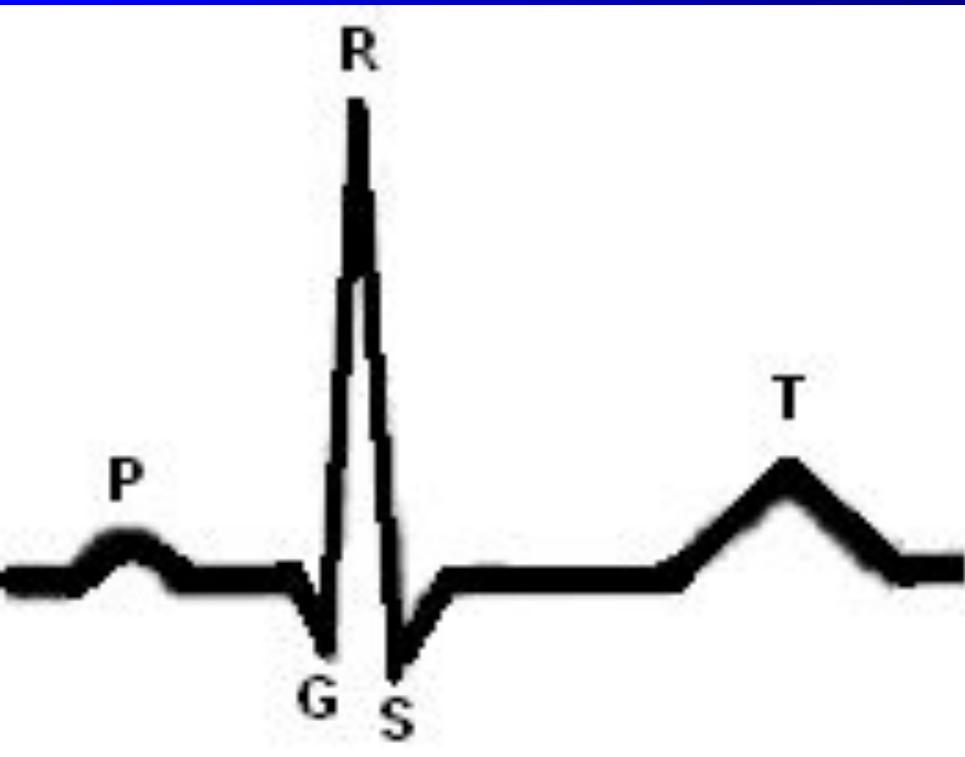
- Время возникновения ПД в различных структурах миокарда после его появления в синусном узле



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

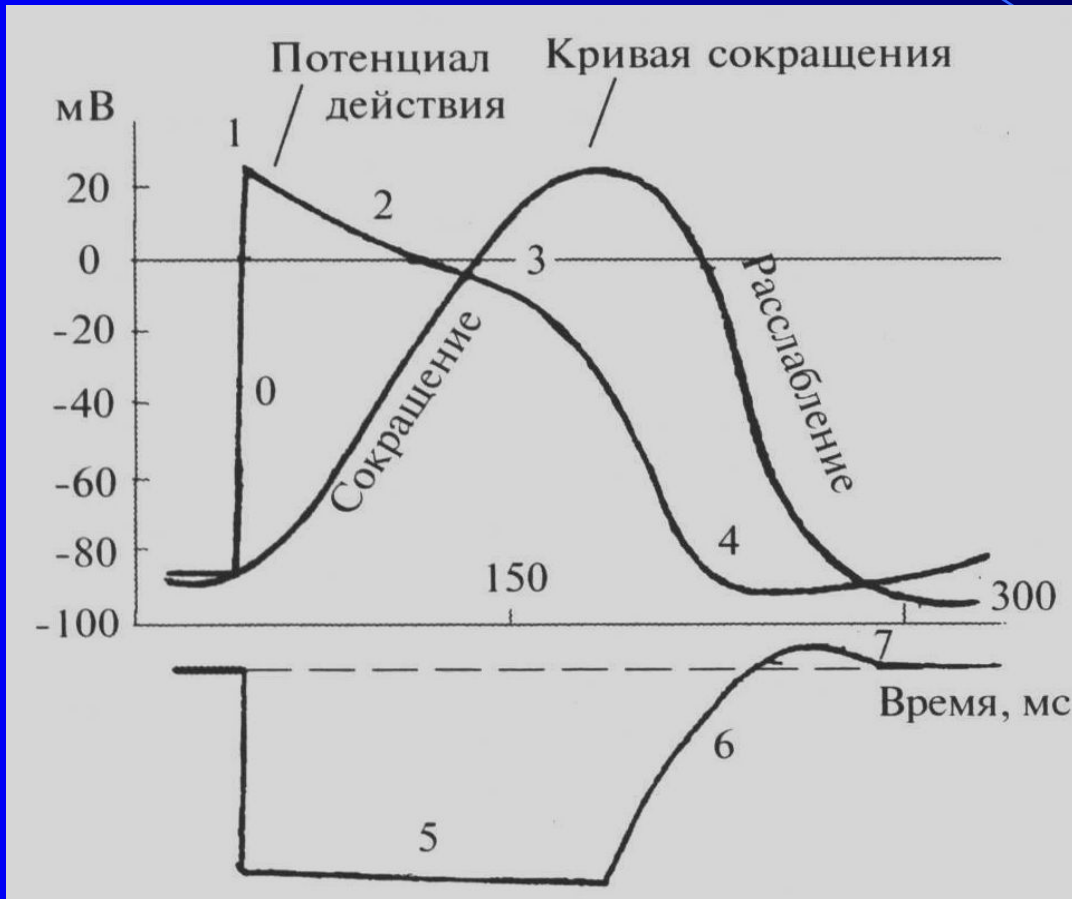


# Электрокардиография



- ЭКГ-грамма
- ЗУБЦЫ и ИНТЕРВАЛЫ:  
Зубец P - возбуждение предсердий,  
Интервал PG – а/в задержка,  
Зубец G – возбуждение а/в узла, Гиса  
межжелудочковой перегородки,  
Зубец R – возбуждение желудочков,  
Зубец S – завершение возбуждения  
желудочков,  
Интервал ST – желудочки возбужден  
Зубец T – реполяризация желудочков

## • Рефрактерность



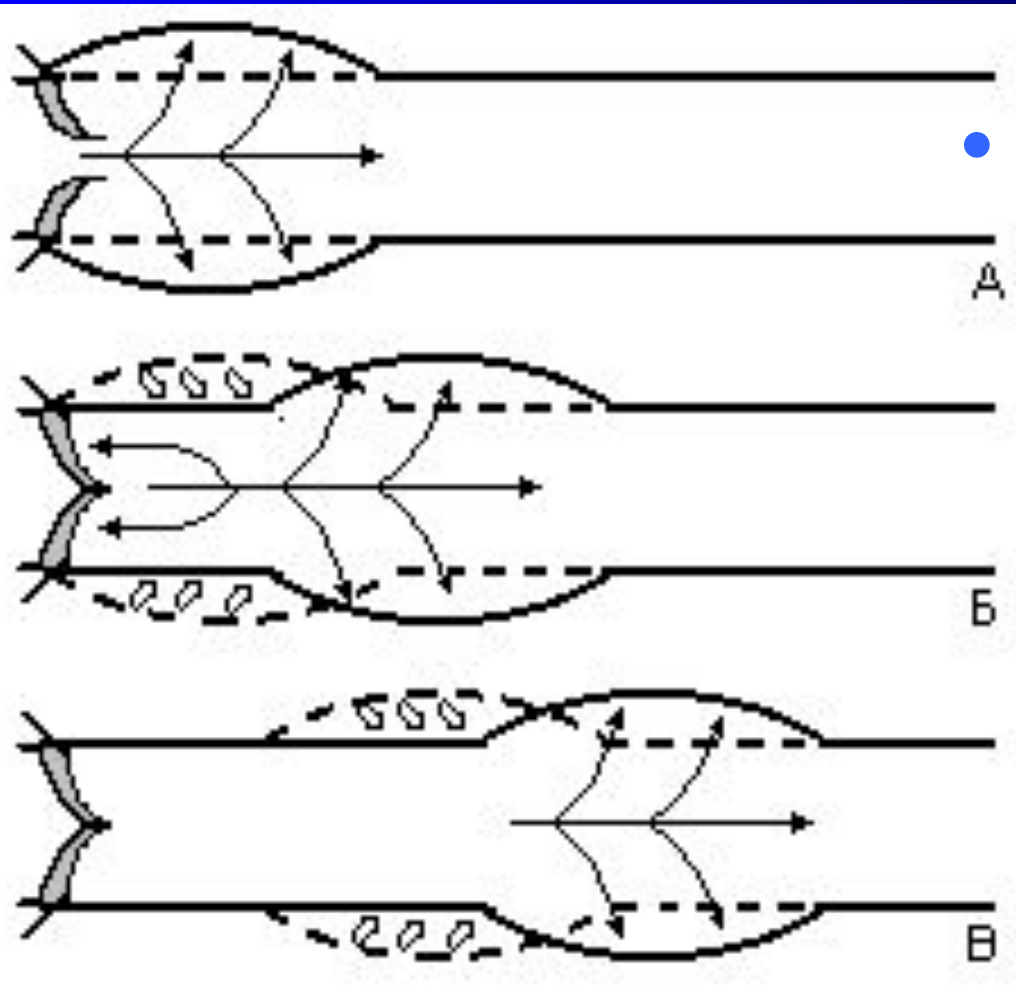
Соотношение развития ПД, сокращения и кривая изменения возбудимости (внизу):  
5 - стадия абсолютной рефрактерности,  
6 - относительной рефрактерности,  
7 - экзальтации.



# Клапаны сердца и направление тока крови

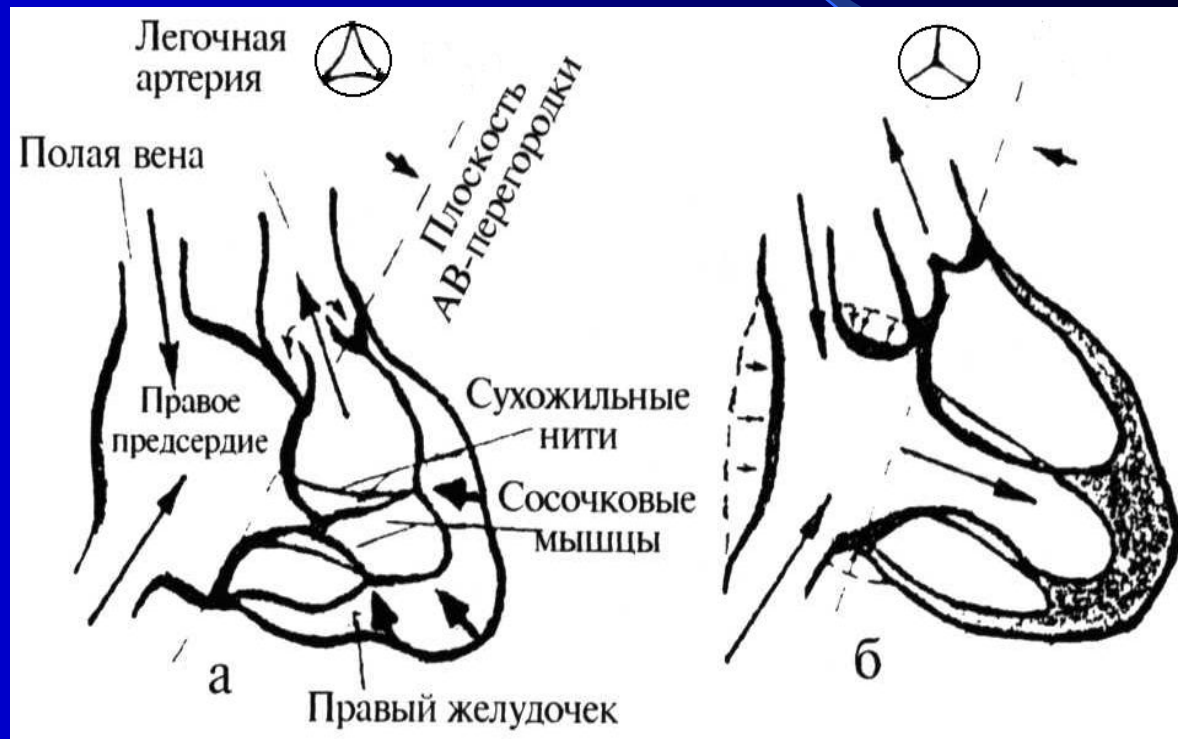


# Механизм закрытия аортальных клапанов



- Обратный ток крови и закрытие клапанов (**Б**)

- Сердечный цикл и механизм присасывающего действия при смещении атриовентрикулярной перегородки в период систолы желудочка.



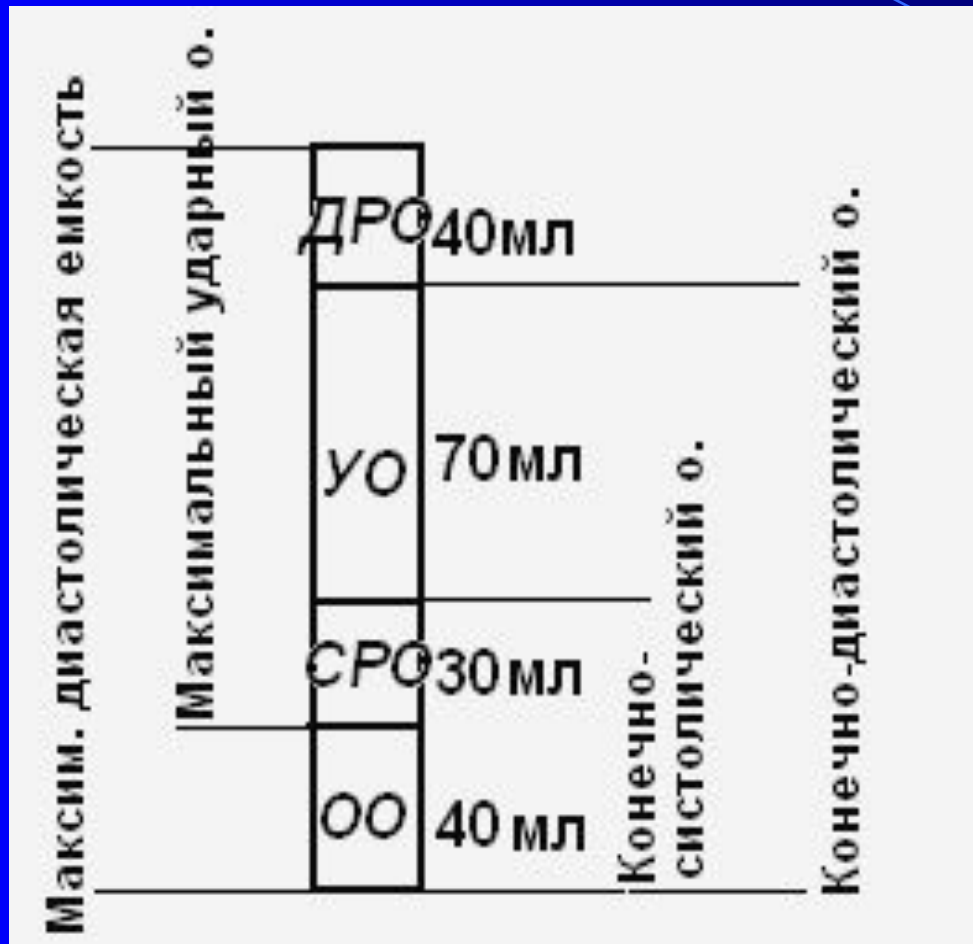
# Сердечный цикл

(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. клапанв,
- В-Г – быстрое изгнание,
- Г-Д – медленное изгнание,
- Д – закрытие аорт. клапанов.

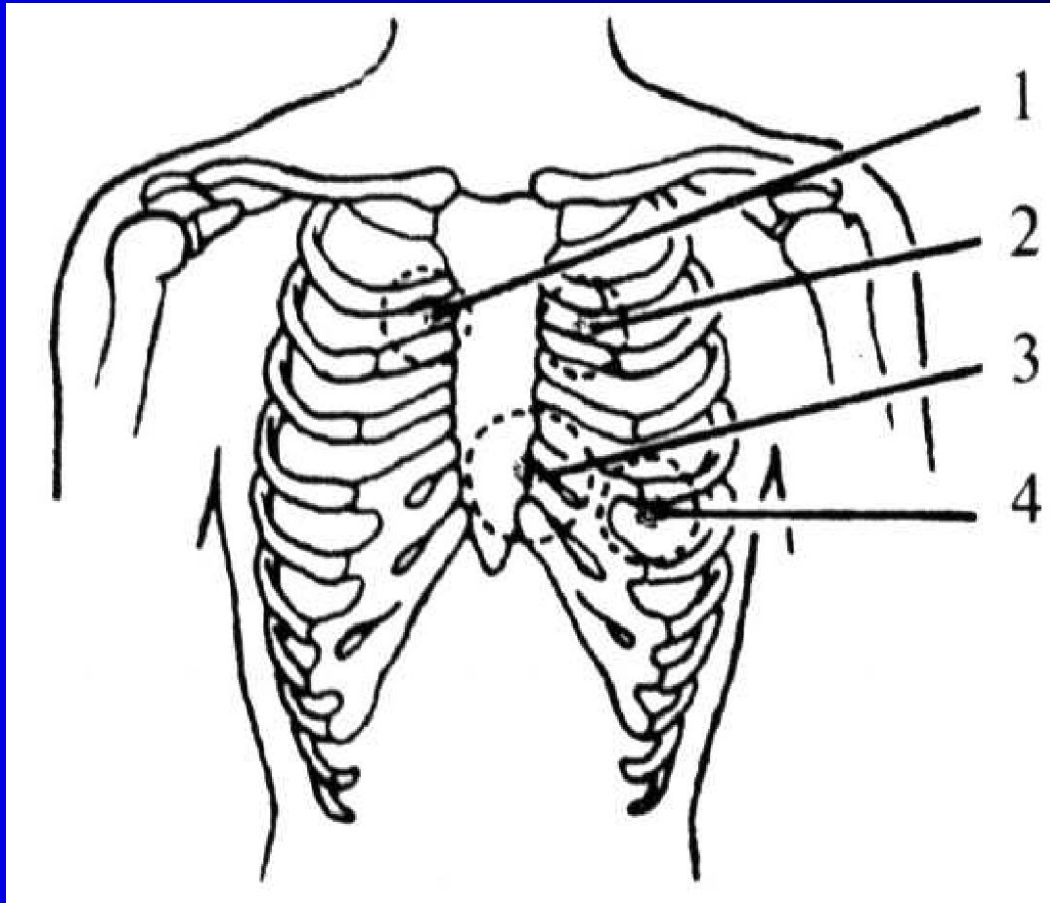
# Показатели работы сердца



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

**Точки грудной клетки, где хорошо слышны тоны сердца:**

**1 - аортальная, 2 - легочная артерия, 3 - трехстворчатый клапан, 4 - митральный клапан.**



# 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

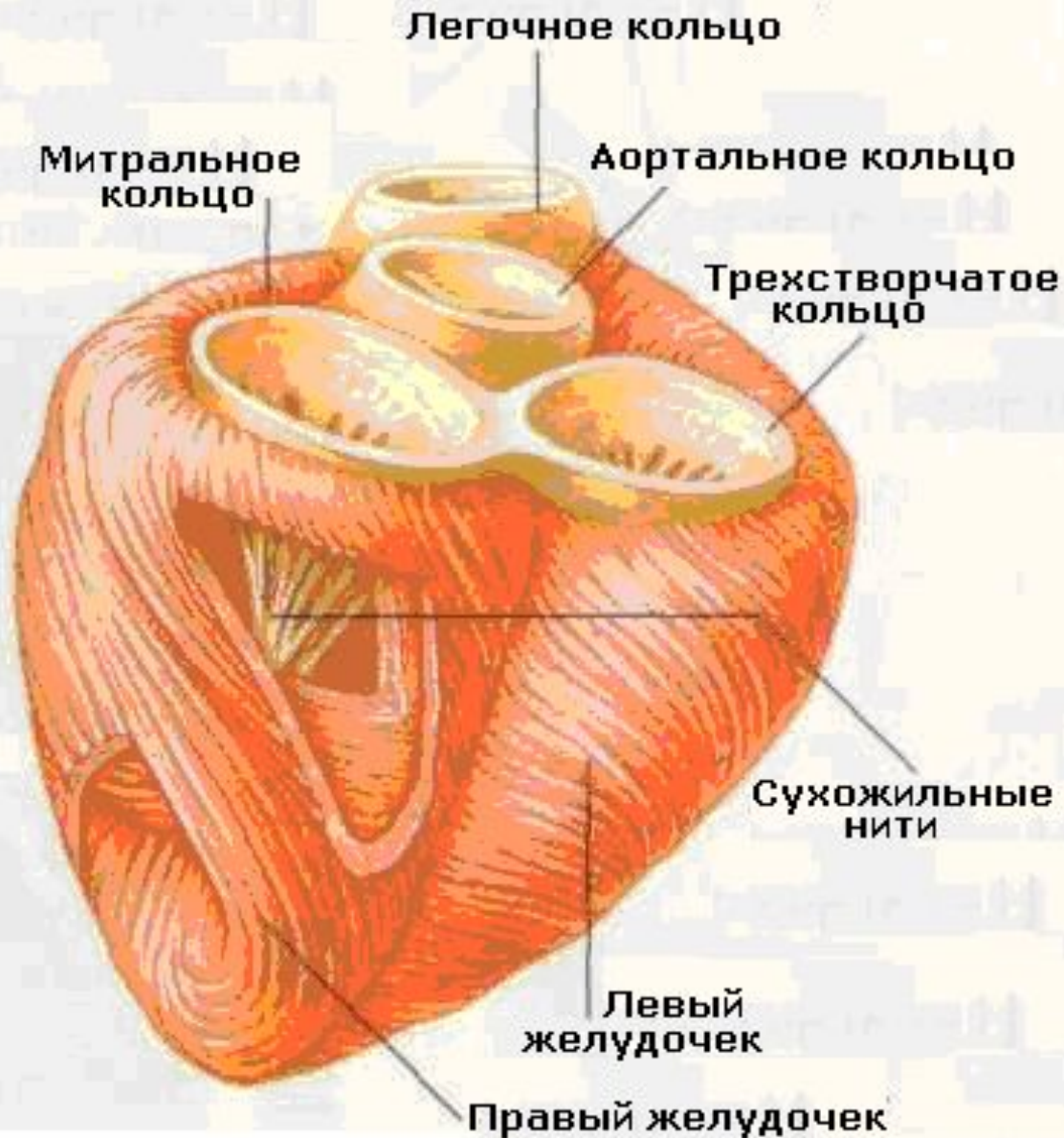


Б - вид сверху  
(удалены предсердия)

Основные отделы — желудочки.

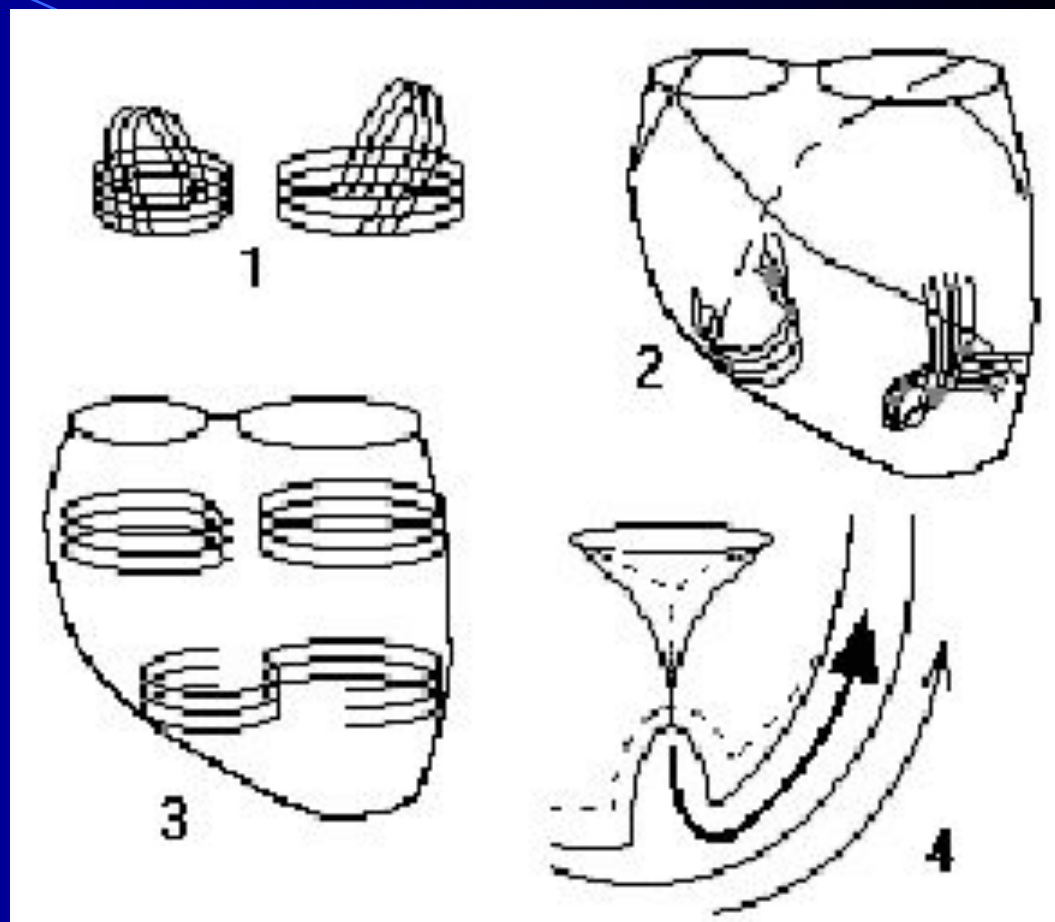
Предсердия играют вспомогательную функцию: в них поступает кровь в то время, когда происходит систола желудочков.

# Направление волокон кардиомиоцитов

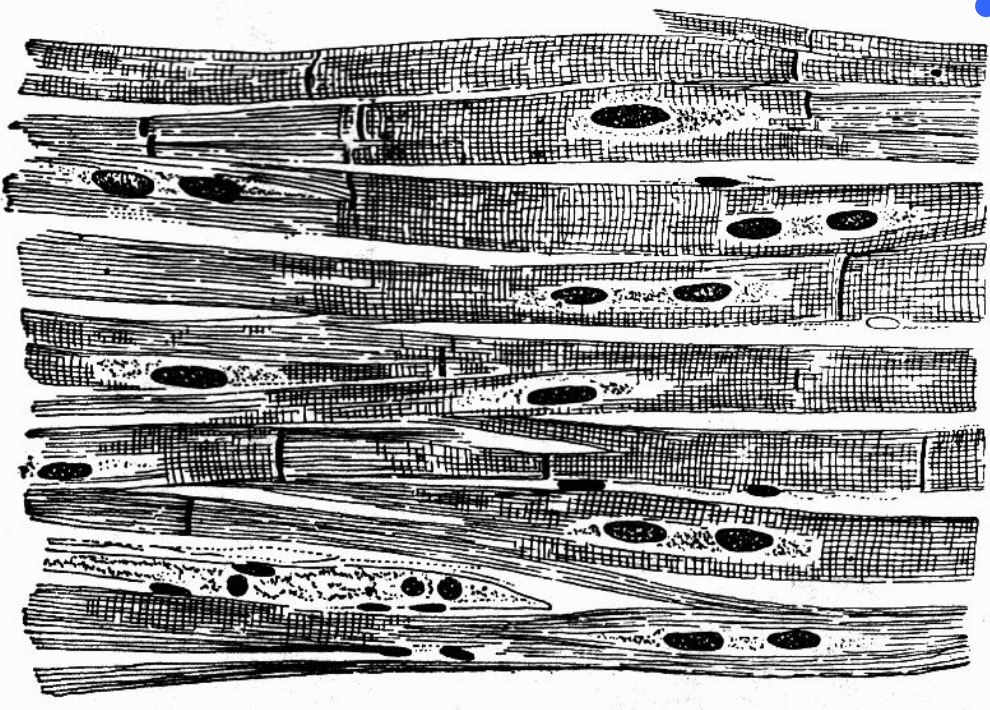


- Стенка левого желудочка взрослого человека значительно толще, чем правого, так как он обеспечивает циркуляцию крови по большому кругу кровообращения.

- **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**



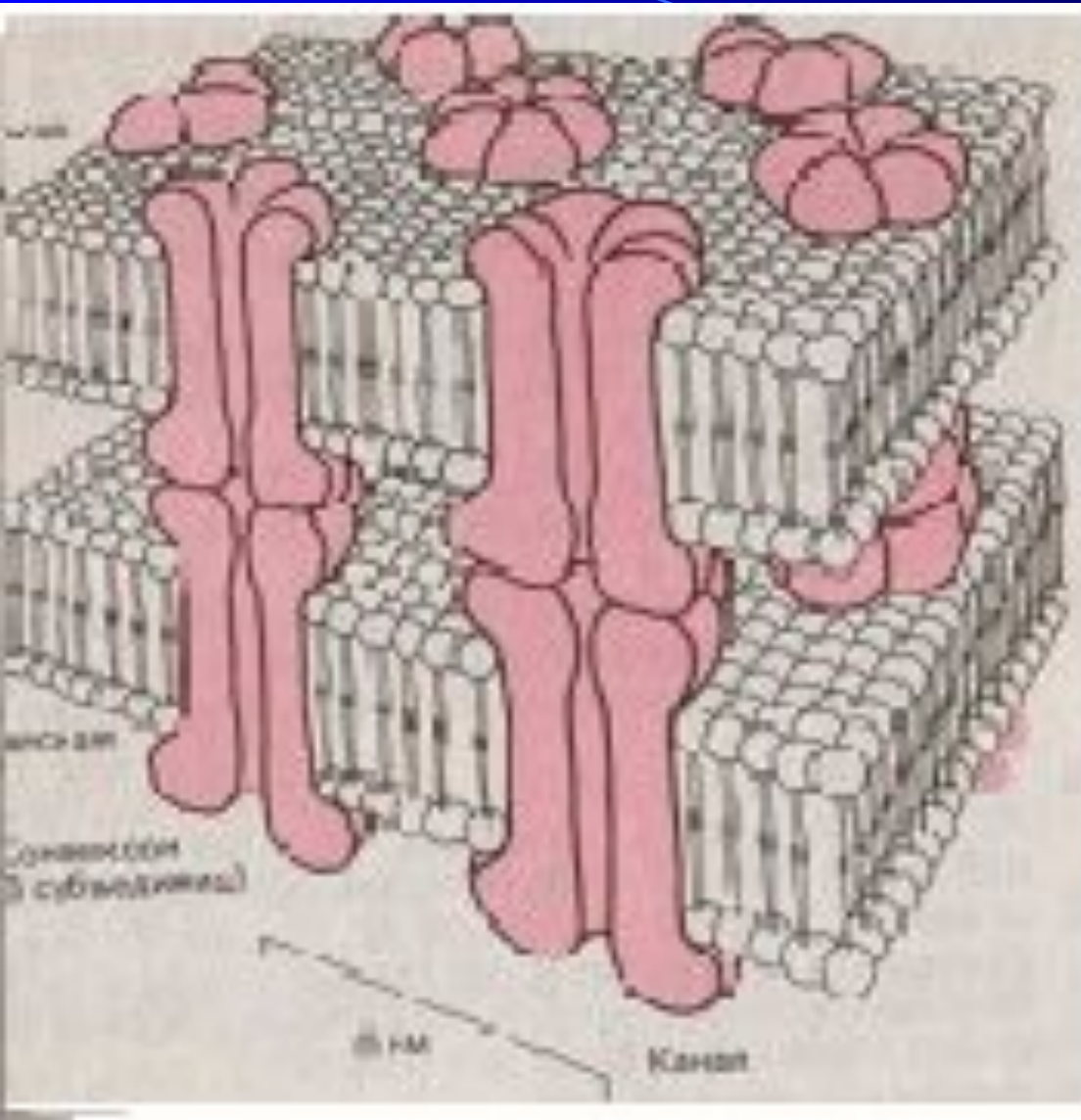
# Кардиомиоциты



• 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

# Каналы

Ионные каналы и насосы сократимых кардиомиоцитов

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)**

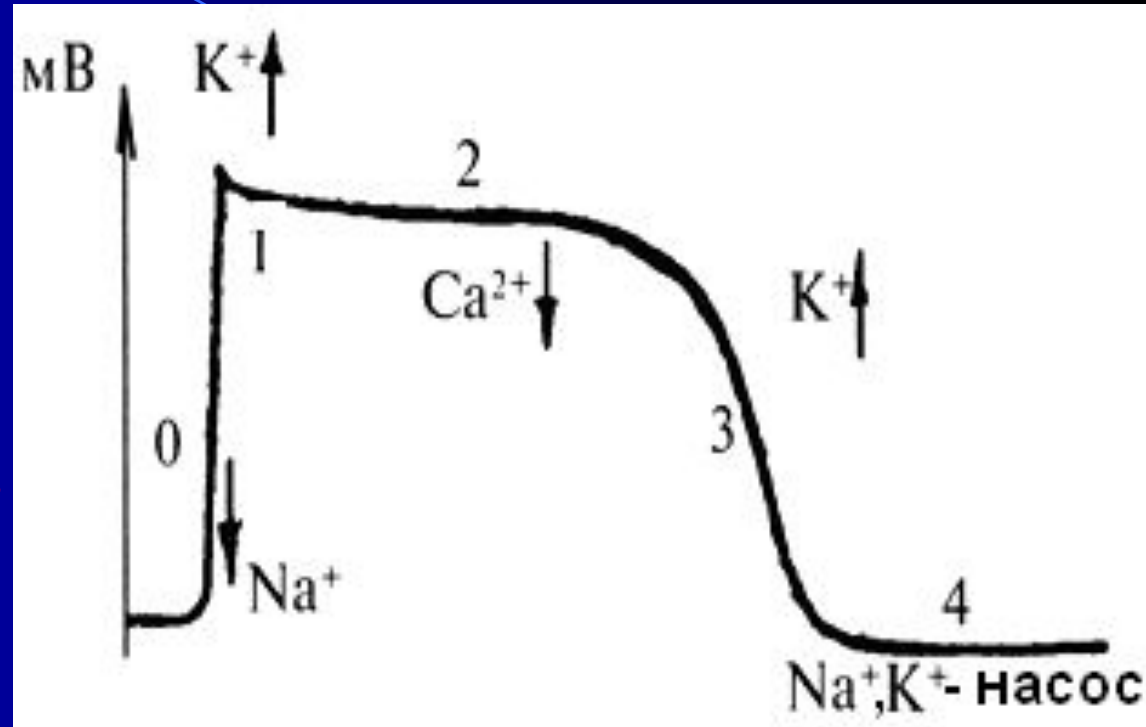
**Потенциалозависимые  
(K)**

**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.*



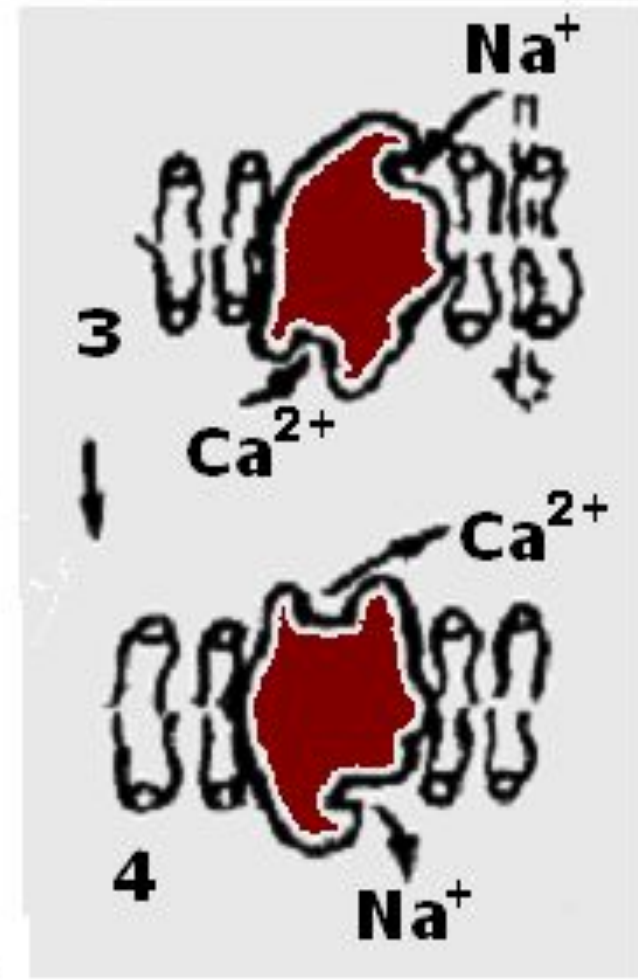
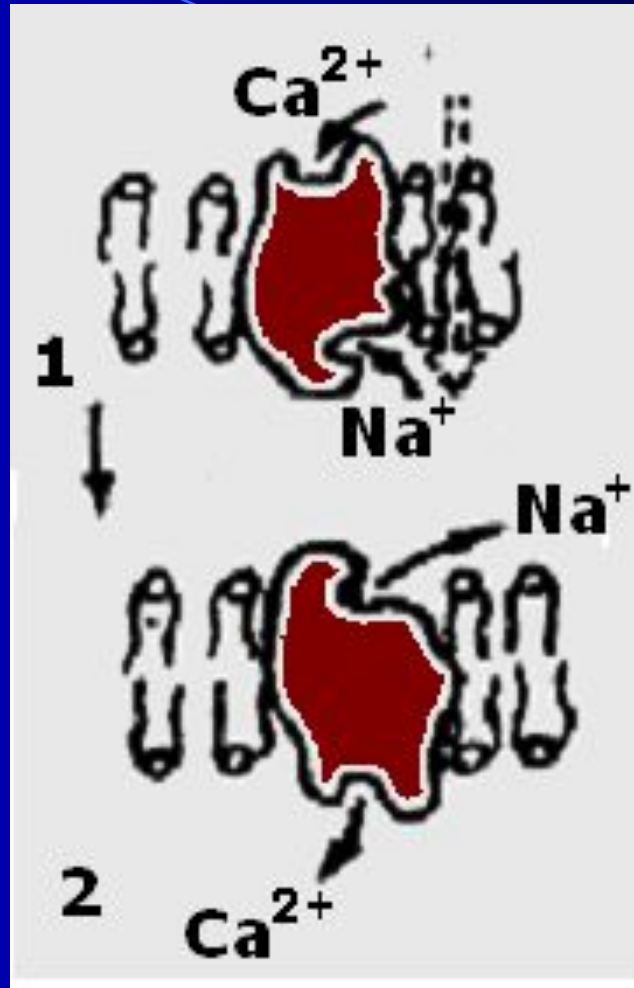
# Натрий-кальциевое сопряжение

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

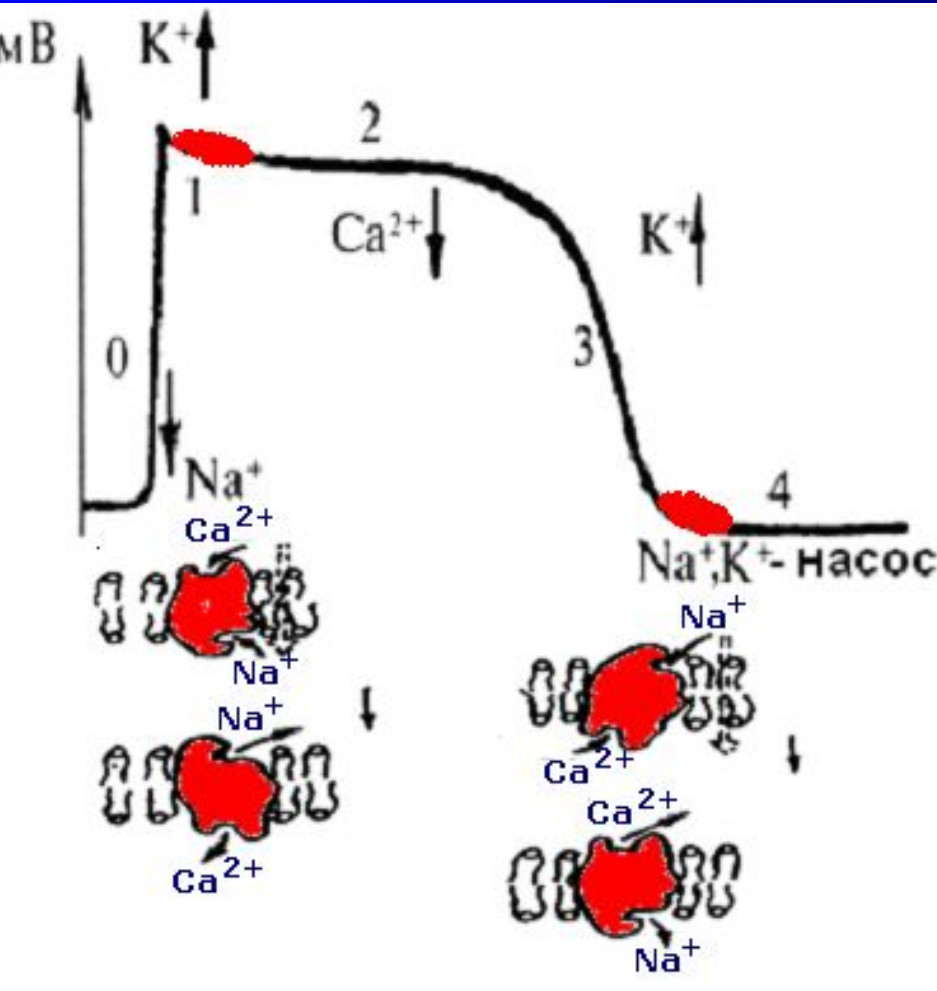
*По концентрационному градиенту кальция.*

- 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:

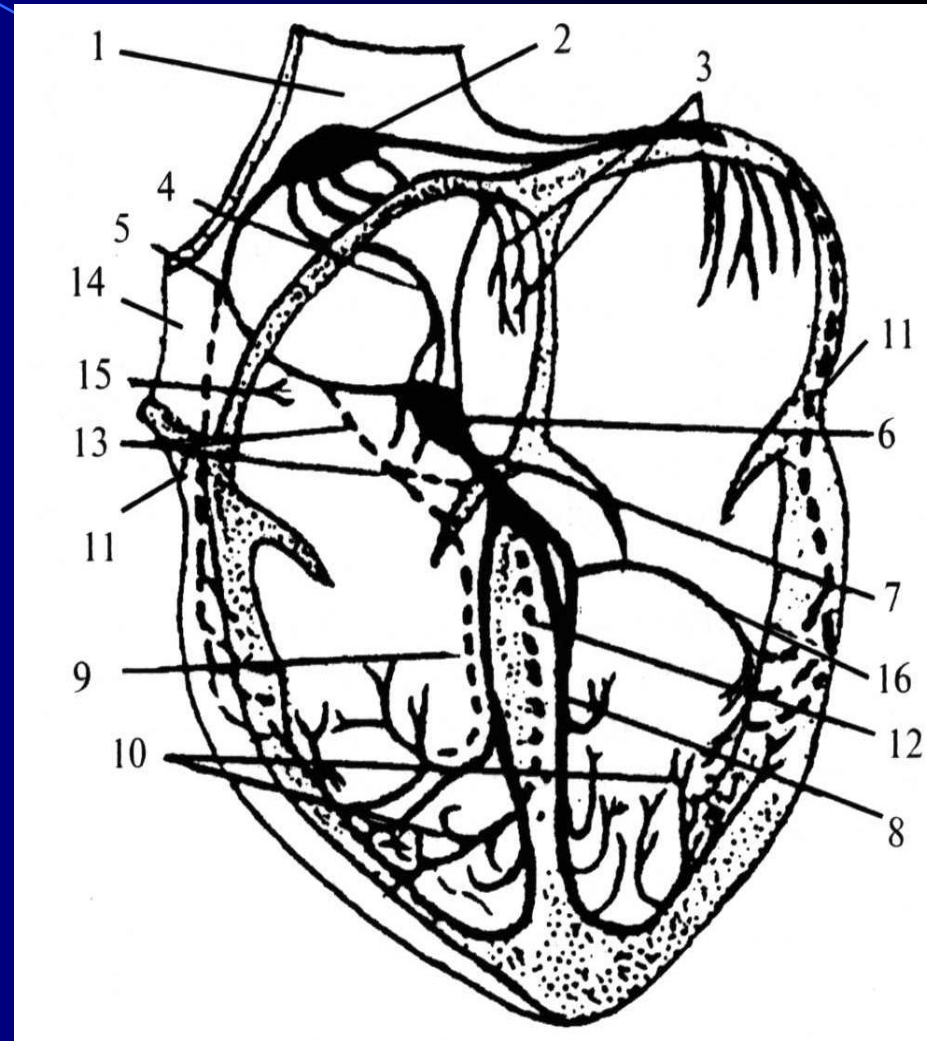
а) в цитоплазму Na (что бы включался Na-K- насос),

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,**



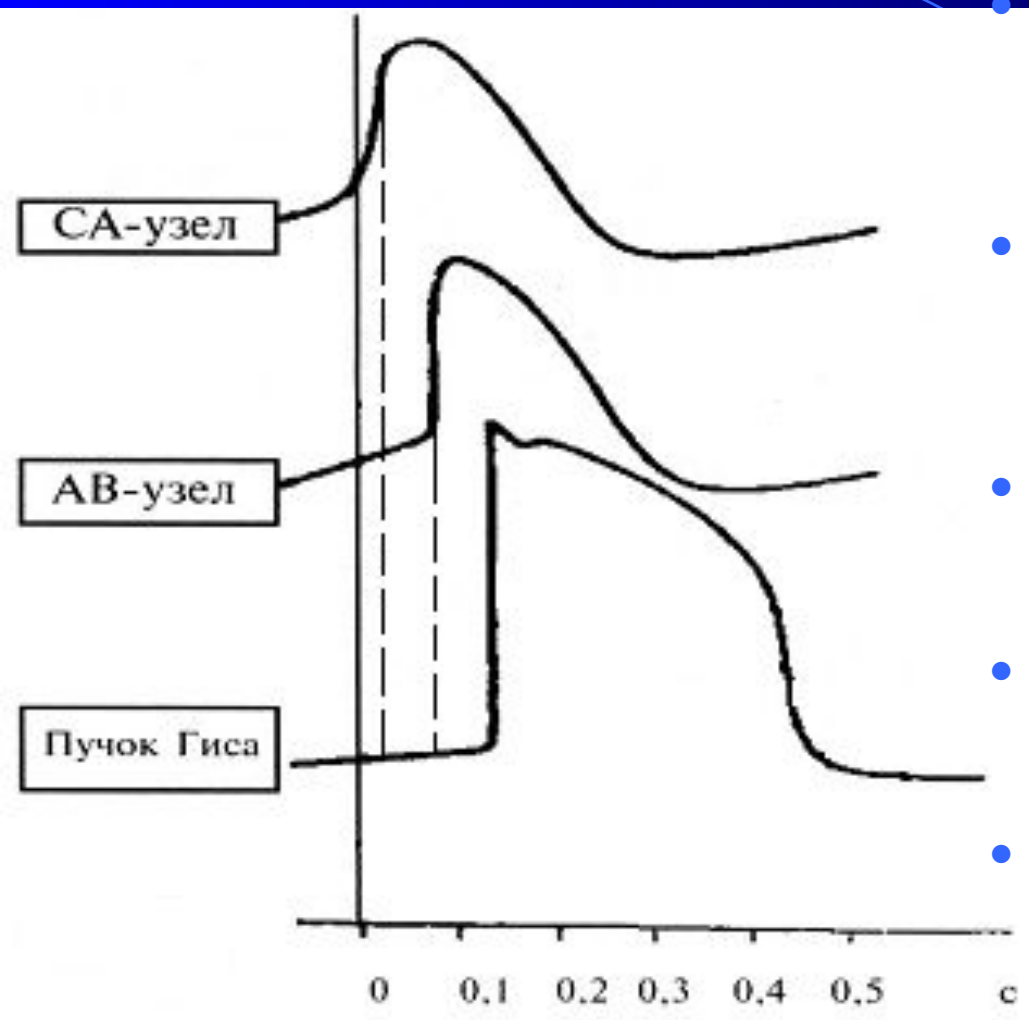
# Узлы проводящей системы

- *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)

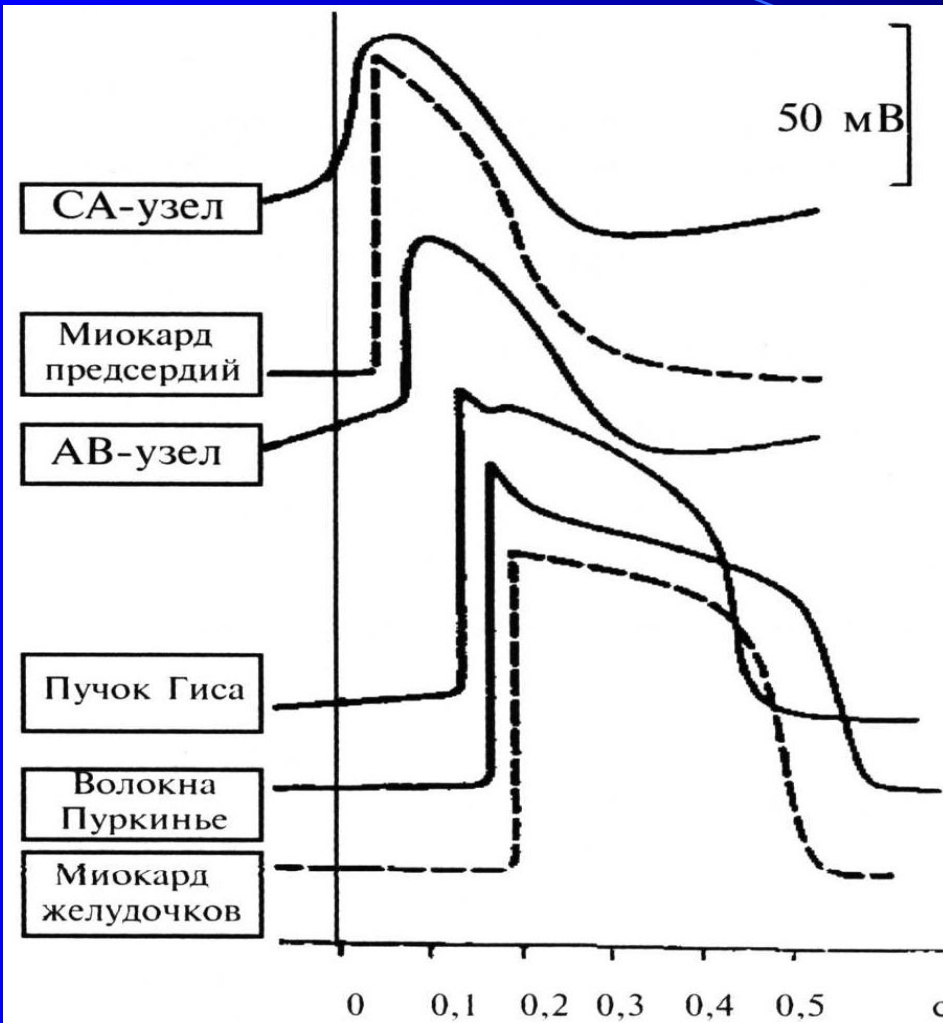


- *Отдельные структуры проводящей системы сердца обладают разным уровнем пейсмекерной активности:*
- **Спонтанная проницаемость мембран к ионам  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{Na}^+$ ) у клеток синусного узла, наиболее высокая.**
- **В клетках атриовентрикулярного узла она в 1,5-2 раза ниже, еще ниже в волокнах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

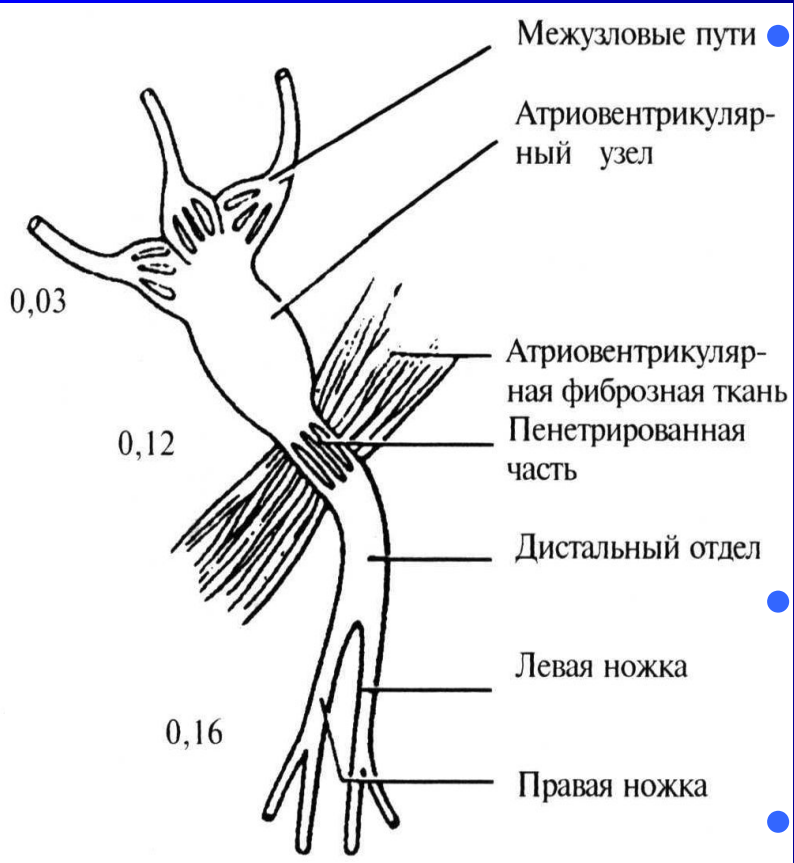
- по предсердиям со скоростью 0,8-1,0 м/с,
- в верхней части атриовентрикулярного узла очень медленно (около 0,02 м/с) - *атриовентрикулярная задержка*
- в волокнах Пуркинье 3-5 м/с,
- в сократимых кардиомиоцитах желудочков 0,3-1,0 м/с.

## 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

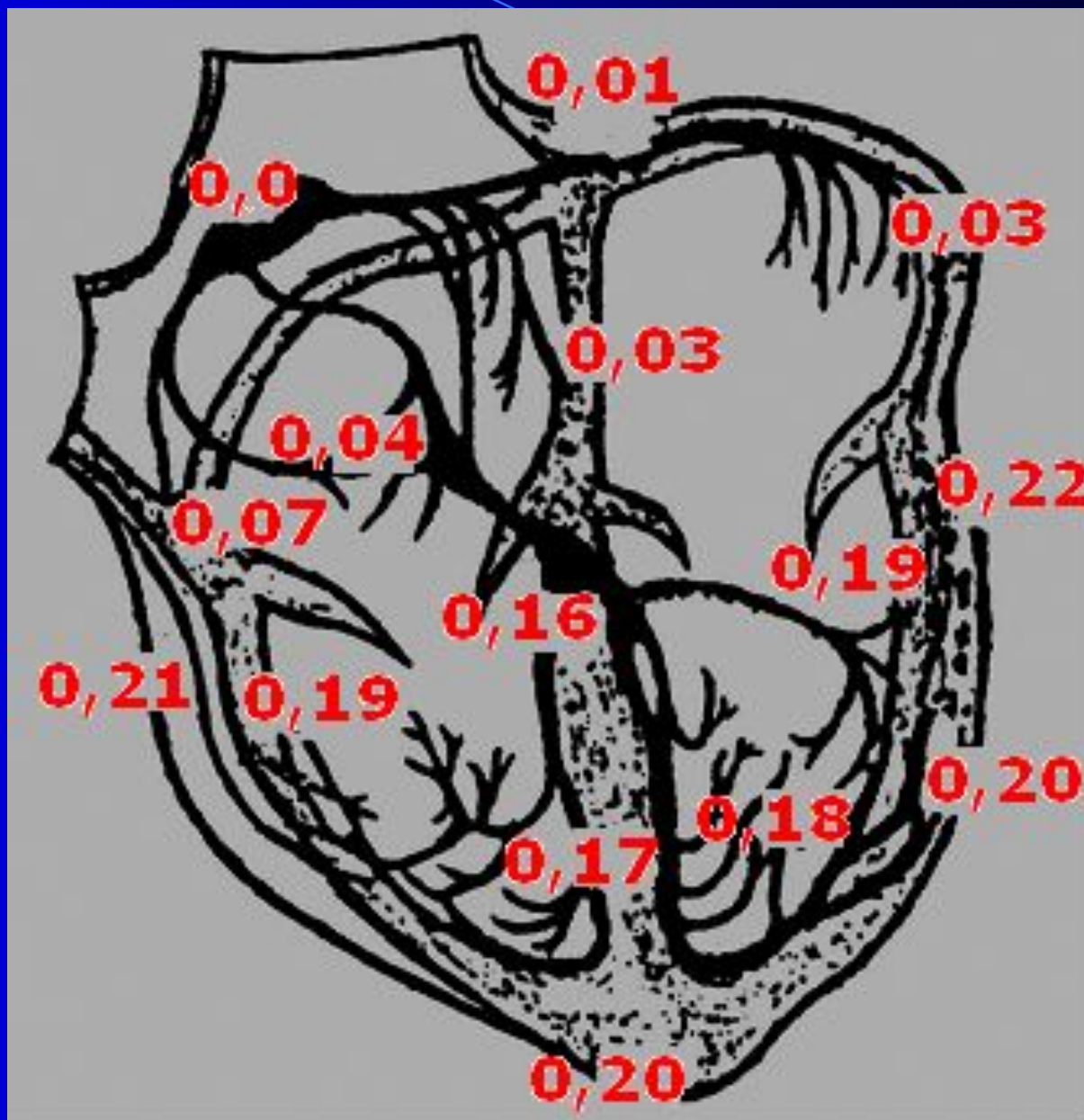
# Организация атриовентрикулярного узла (цифрами показано время возникновения ПД по отношению к синусному узлу)



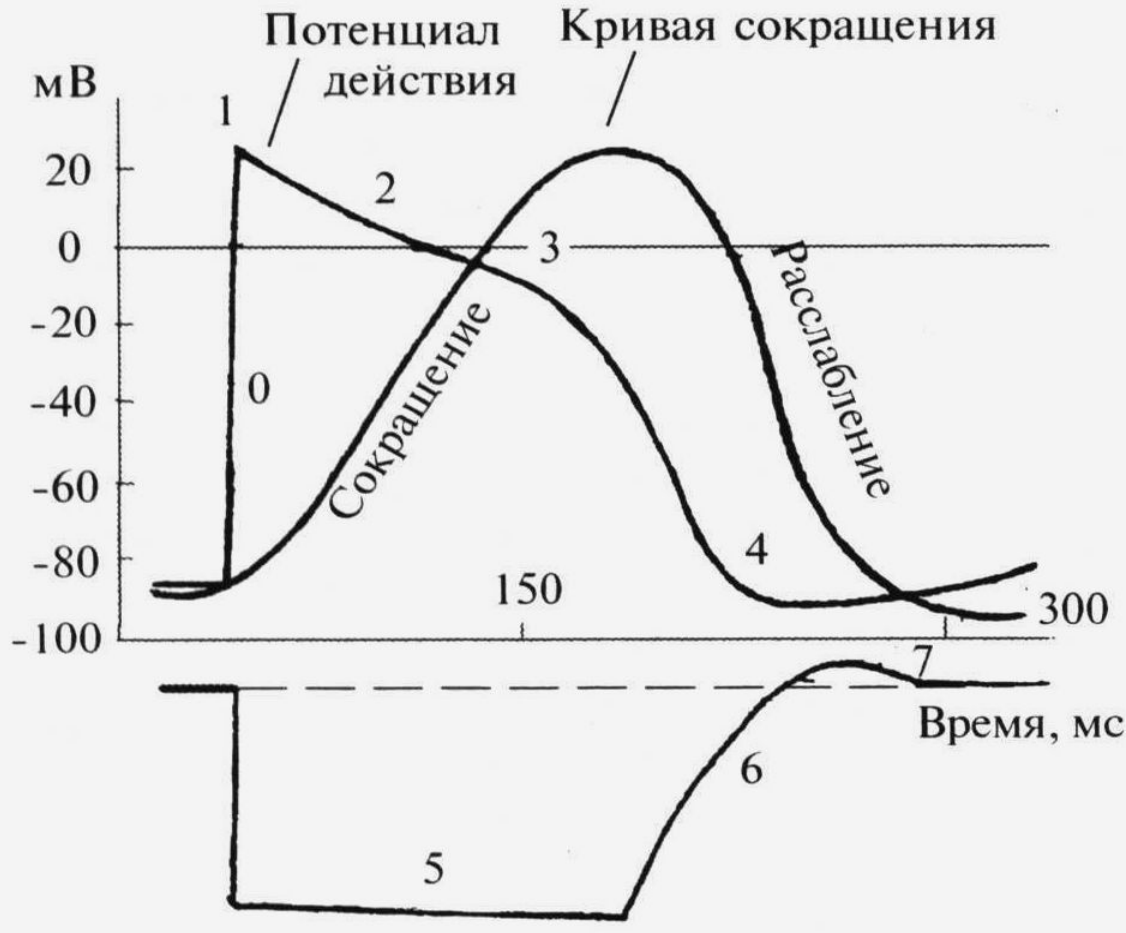
Передача возбуждения с предсердий на желудочки по волокнам трактов *Венкенбаха*, *Торела* и частично *Бахмана* к атриовентрикулярному узлу в его верхней части происходит очень медленно (около 0,02 м/с) - атриовентрикулярная задержка.

- 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

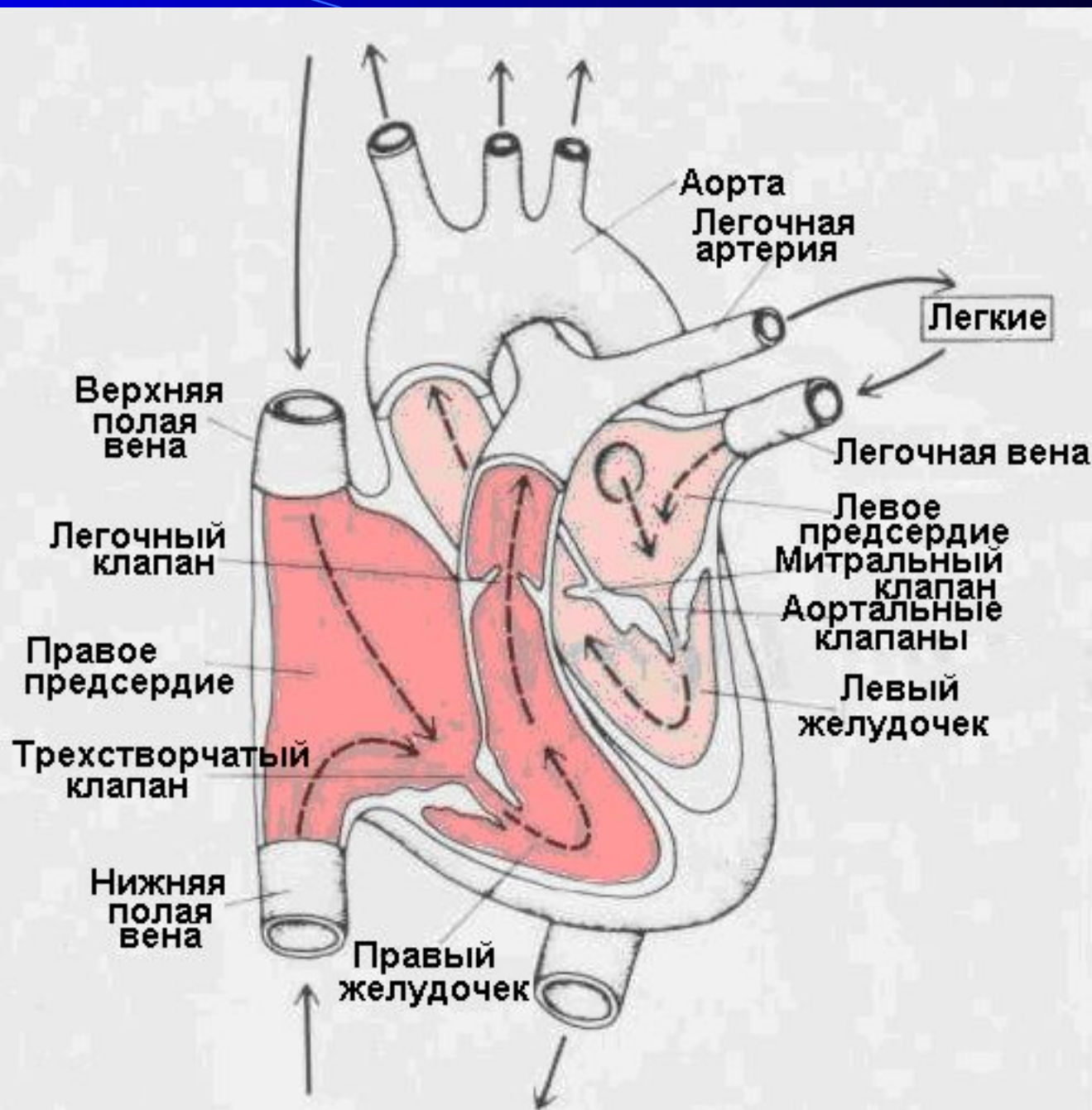


## Рефрактерность



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 (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

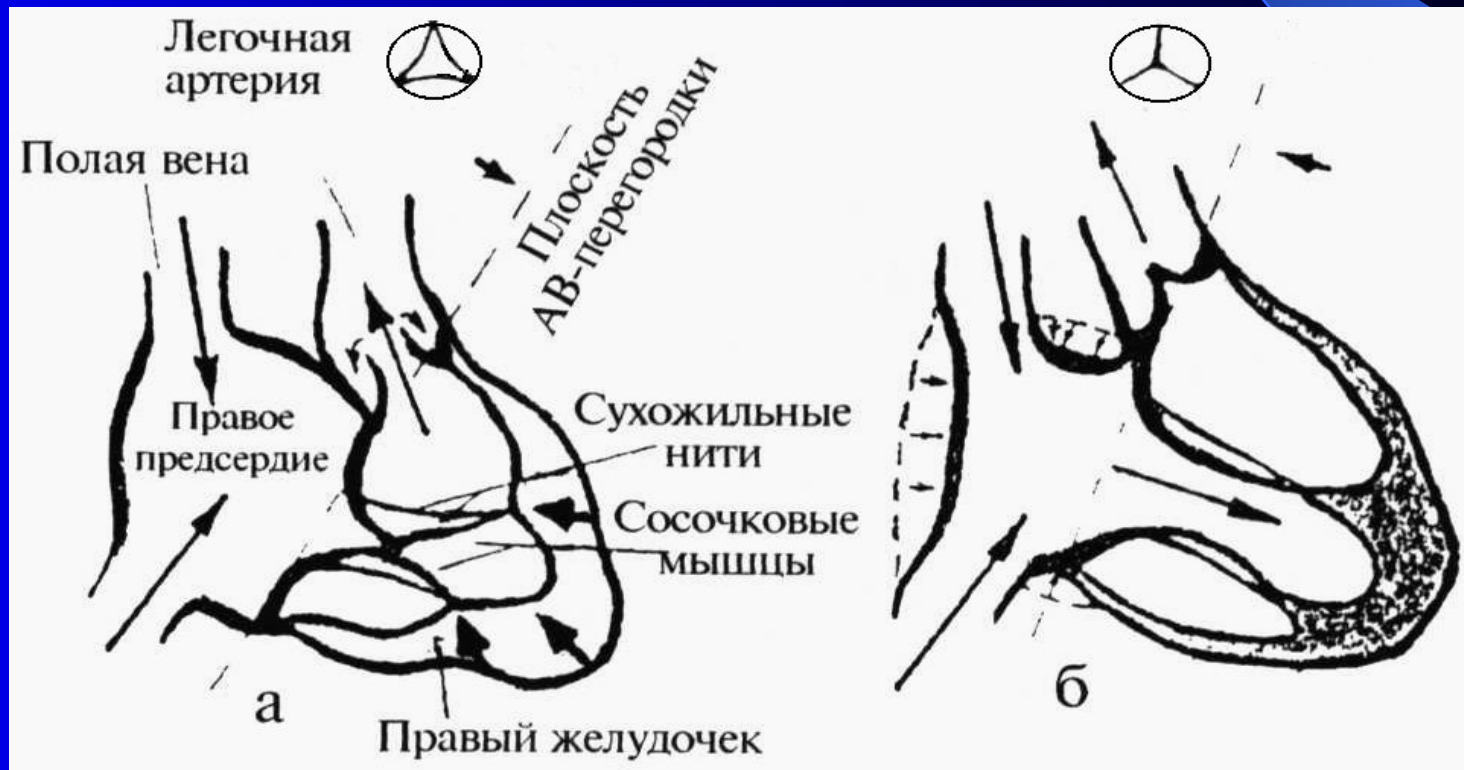
(кривая соотношения объема и давления в левом желудочке)



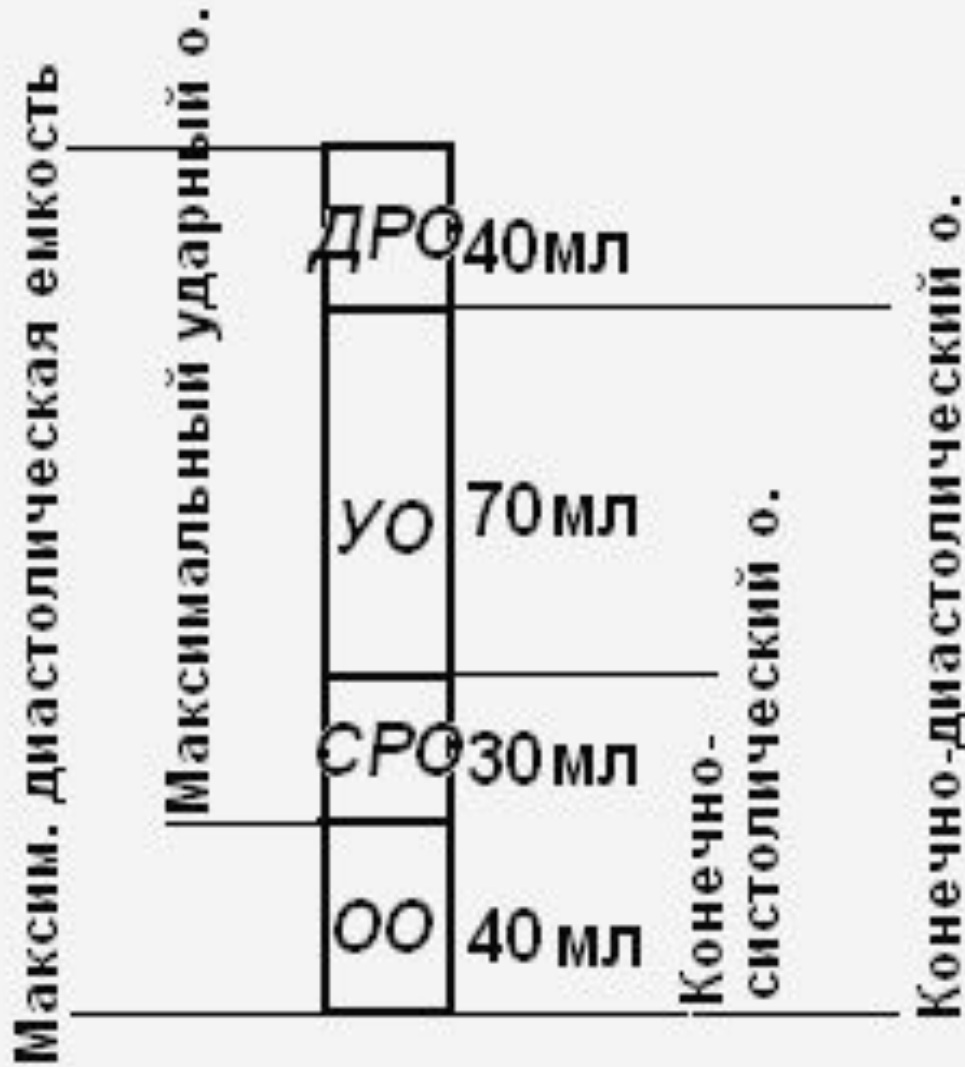
А — конец систолы,  
А-Б — диастола желудочка,  
Б — начало систолы ж.,  
Б-В — фаза напряжения,  
В — открытие аорт. клапанов,  
В-Г — быстрое изгнание,  
Г-Д — медленное изгнание,  
Д — закрытие аорт. клапанов.

# 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

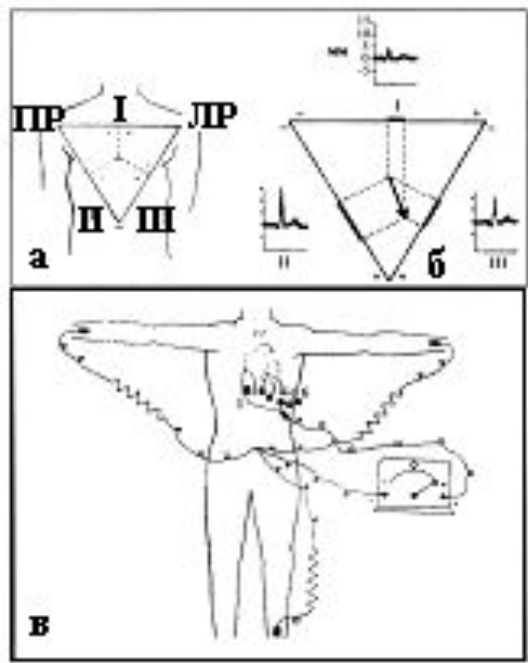


- УО – ударный объем,
- ДРО – диастолический резервный объем
- СРО – систолический резервный объем
- ОО – остаточный объем
- МОК – минутный объем,  
МОК = УО x ЧСС
- ЧСС – «пульс».

# Показатели сердечной деятельности

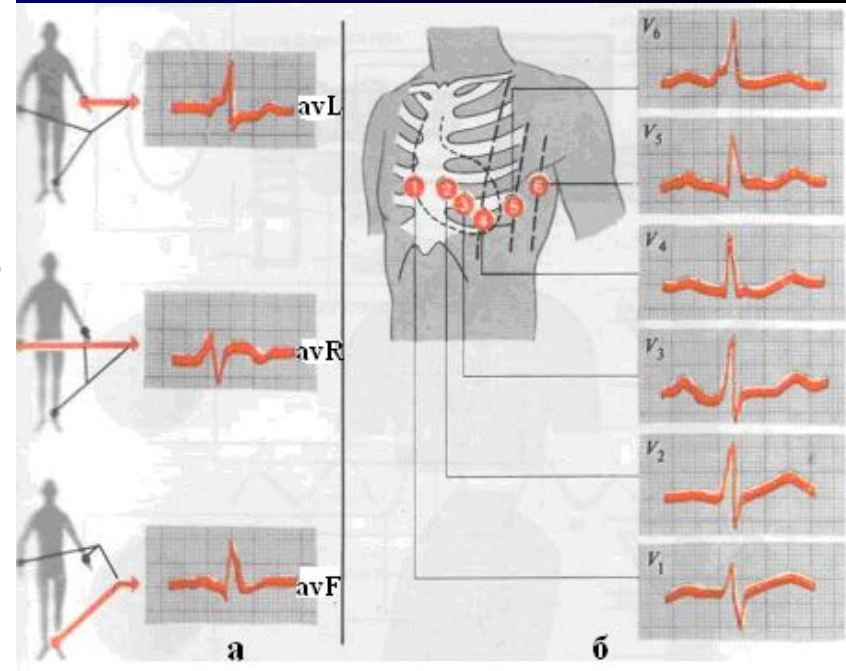
- Электрокардиография – характеризует возбудимость и проводимость.
- Определение сердечного выброса.
- Тоны сердца.
- *Электрокардиография* - запись изменения электрических потенциалов сердца позволяет получить представление о *возбудимости и проводимости миокарда*. При одновременном возбуждении огромного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



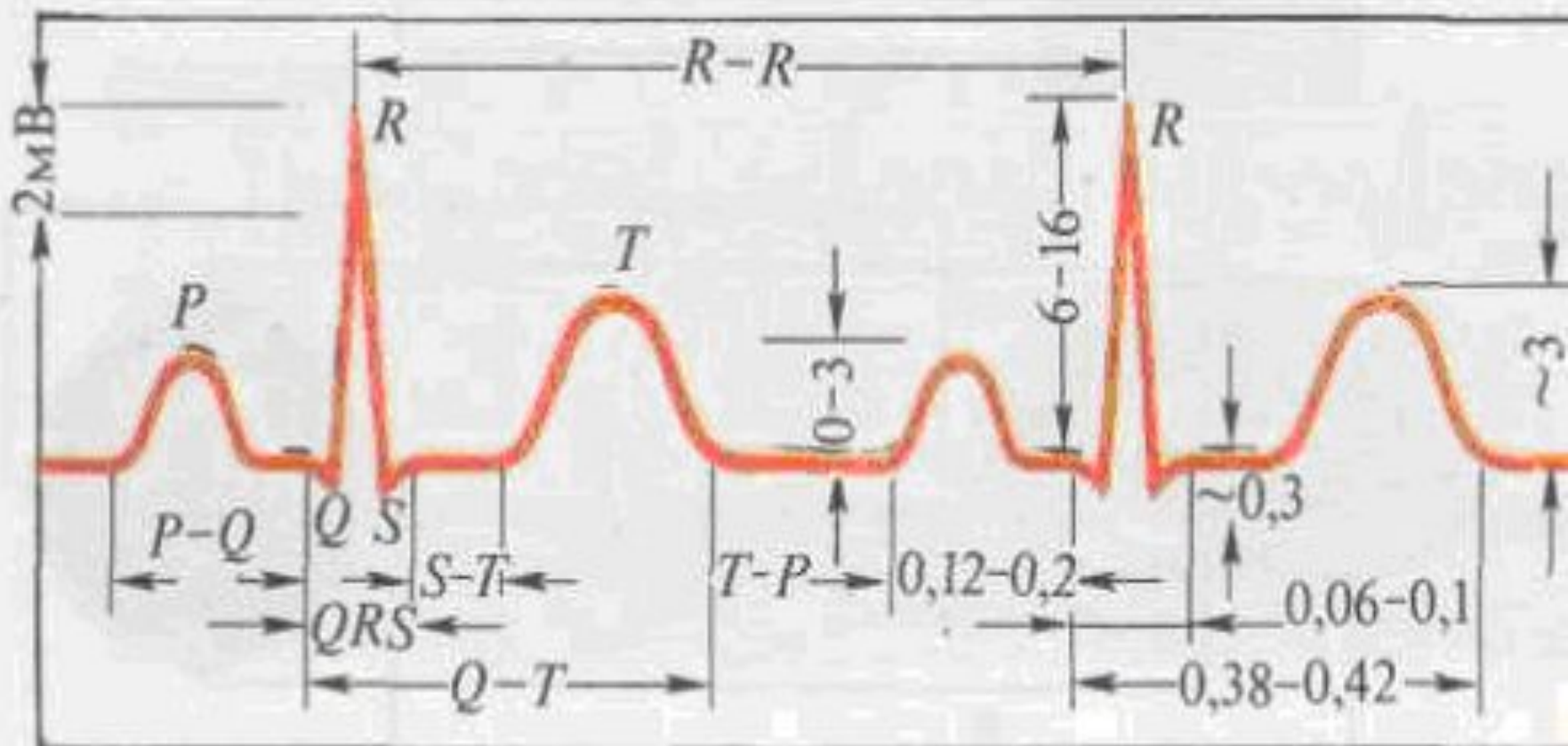
**а - три стандартных отведения:**  
**I - верхние конечности**  
**II - правая рука - левая нога**  
**III - левая рука и нога**  
**б - треугольник Эйнтховена**

**в - грудные отведения**



# ЭКГграмма

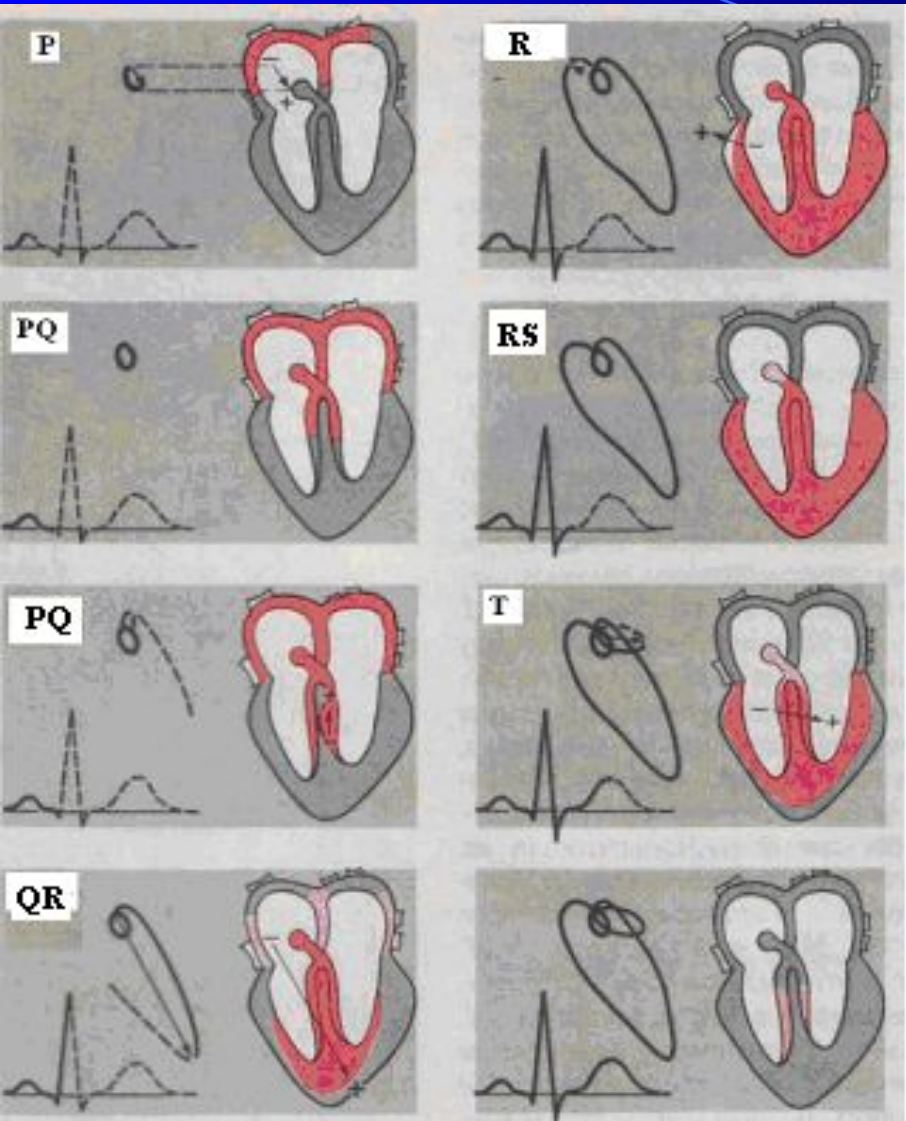
Амплитуда зубцов ЭКГ, мВ



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.

# Система кровообращения. Л № 2

## *Физиология кровеносных сосудов*

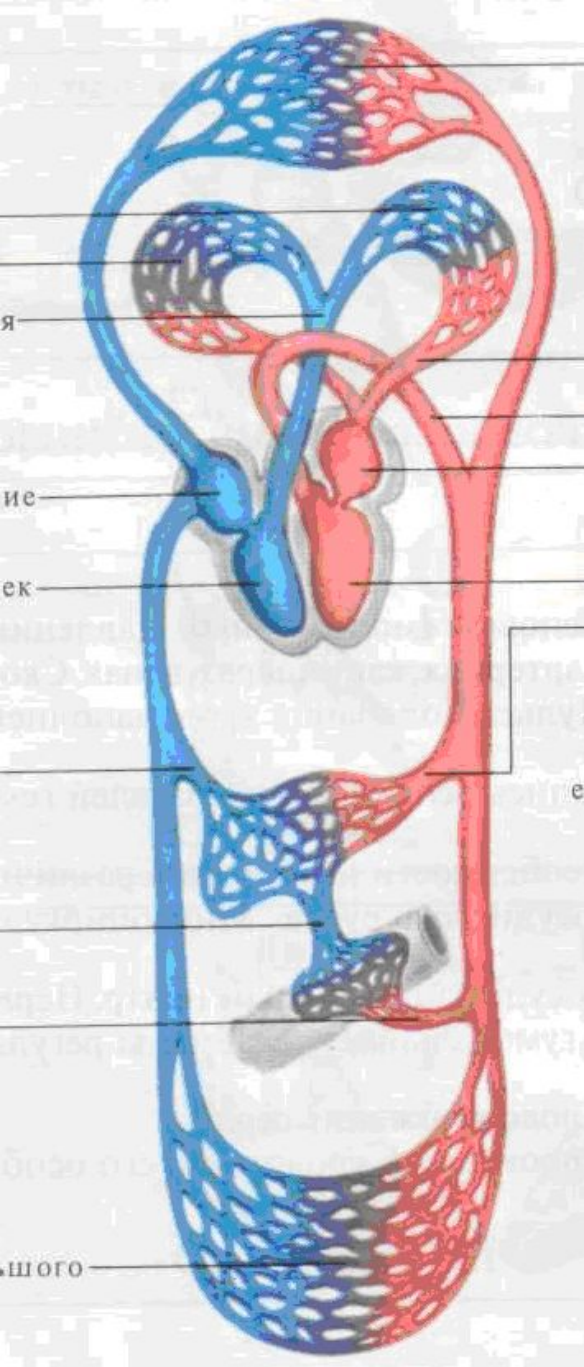
1. Основы гемодинамики (законы гидродинамики)
2. Физиологическая классификация сосудистого русла
3. Особенности кровотока в сосудах различного типа

# Сосудистая система

В большинстве сосудов крови находится больше, чем их емкость, что создает давление крови на стенку сосуда - *кровенное давление (P)*. Его измеряют в мм рт. ст. по отношению к атмосферному: «+» - означает выше атм.

По сосудам кровь движется благодаря *градиенту давления* - из большего в меньшее:  $\Delta P = P_1 - P_2$ .

Начальное давление создается работой сердца. Поэтому самое высокое давление в отходящих от сердца артериях, а самое низкое - в приходящих венах.



# Показатели гидродинамики

- Давление крови (гидродинамическое) зависит от соотношения емкости сосуда и протекающего по нему объема крови (1), где:

$$P = F/S \quad 1$$

$$Q = (P_1 - P_2)/R \quad 2$$

**F** – сила, действующая на стенку,  
**S** – площадь стенки.

- Объем крови, протекающий через сосуд можно вычислить по следующей формуле (2) где:

**Q** - объемный кровоток,

**P<sub>1</sub>** - давление в начальном отделе сосуда,

**P<sub>2</sub>** - давление на выходе из сосуда,

**R** - сопротивление кровотоку.

(продолжение)

- Гидродинамическое сопротивление, которое каждый сосуд оказывает движущейся крови, вычисляется по формуле Пуазейля (3) где:

$$R = 8 \cdot l \cdot \eta / \pi \cdot r^4 \quad 3$$

$$V = Q / \pi \cdot r^2 \quad 4$$

$$R = Q : P_1 - P_2 \quad 5$$

- l - длина сосуда,
- $\eta$  - вязкость крови,
- r - радиус сосуда.

- Среднюю линейную скорость кровотока можно определить по формуле (4).

- Общее периферическое сопротивление - (5).

У молодого человека  
общее периферическое  
сопротивление (ОПС):  
 $R = 13300 : 95$  Па/мл/с  
около 140 Па/мл/с

# Объем крови и диаметр сосуда



- Соотношение объема крови, поступающего в сосуд при его разветвлении, в зависимости от диаметра сосуда.

Если диаметр меньше лишь в 2 раза, то объем уменьшается в 16 раз.

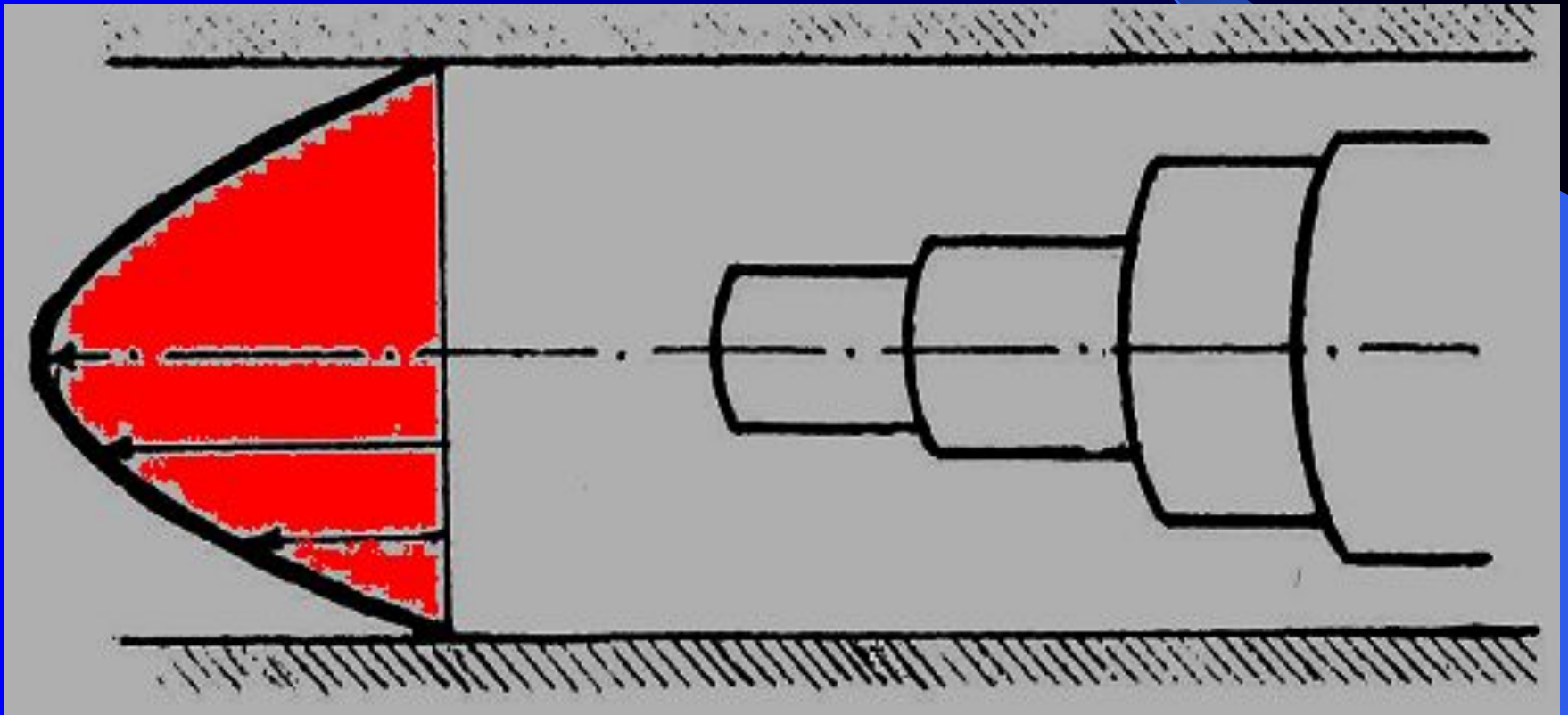
# Законы гидродинамики и реальная стенка

## сосуда

- Кровоток в конкретных сосудах во многом определяется свойствами их: *эластичностью, растяжимостью и сократимостью.*
- Так, зависимость объемной скорости от давления больше проявляется в сосудах с эластичной стенкой, чем в жестких трубках. Под влиянием давления крови сосуд растягивается, что с одной стороны уменьшает давление, а с другой - увеличивает объемный кровоток.
- В отличие от этого сосуды мышечного типа при возрастании давления могут активно препятствовать изменению кровотока. Так, например, за счет одной лишь реакции гладкомышечных волокон стенки может измениться объем протекающей по сосуду крови: при быстром нарастании давления и быстром растяжении гладких мышц они сокращаются, что уменьшает просвет, а значит - снижается и кровоток.

# Параболический ток крови в артериальном кровеносном сосуде

- Кровь течет слоями: у стенки сосуда скорость тока наименьшая (трение о стенку).
- В центре потока кровь течет быстрее всего.

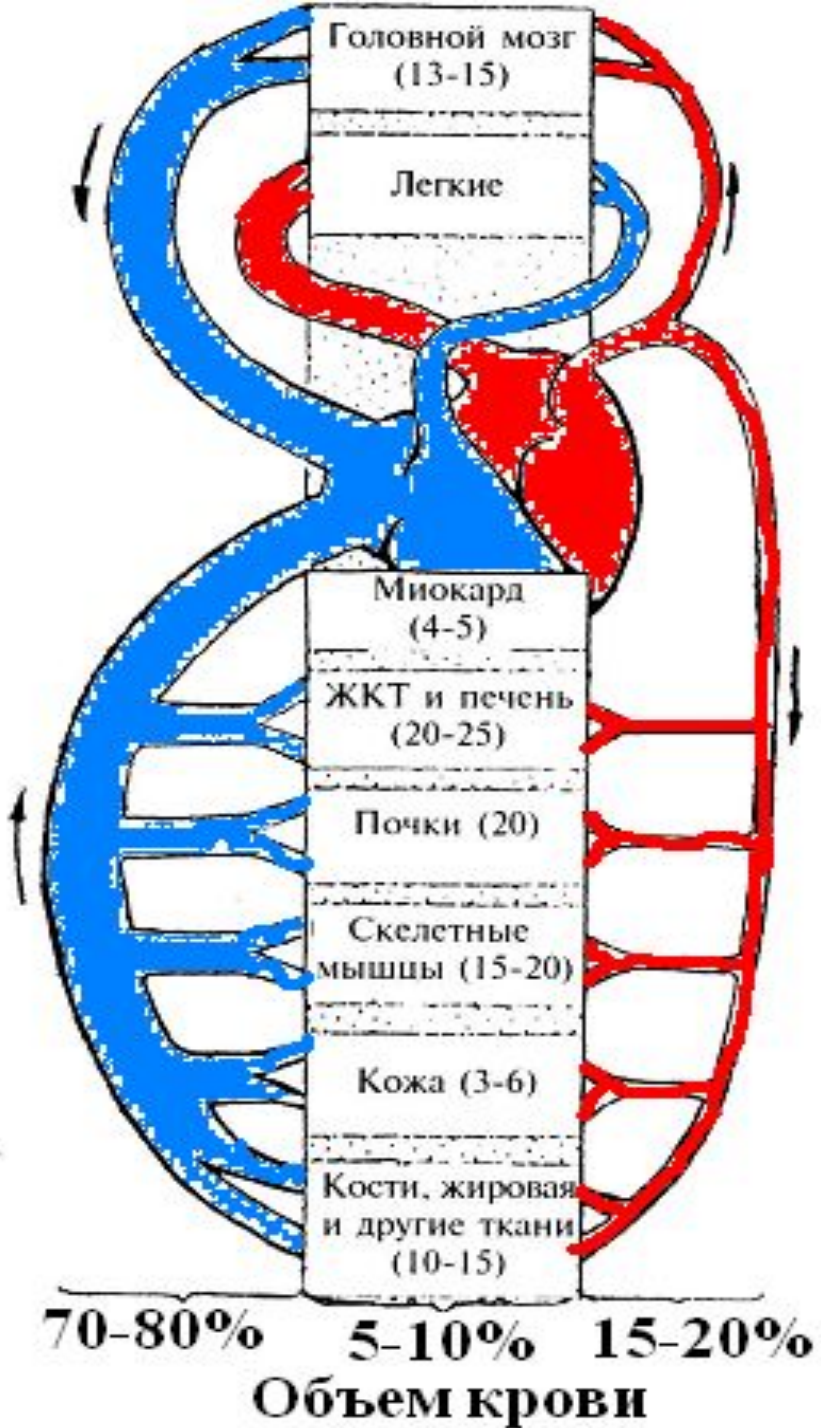




# Изменение потока крови при появлении препятствия



Появление турбуленций приводит к росту сопротивления кровотоку и замедлению линейной и объемной скорости.



- Функциональная схема сердечно-сосудистой системы
- (цифры - % крови от МОК)
- Сосудистое русло (функционально) подразделяется на:
  - А – амортизирующие,
  - Б – обменные,
  - В – емкостные.

# Давление крови

```
graph TD; A[Давление крови] --- B[Гидродинамическое]; A --- C[Гидростатическое]; A --- D[Трансмуральное];
```

Гидродина-  
мическое

Гидроста-  
тическое

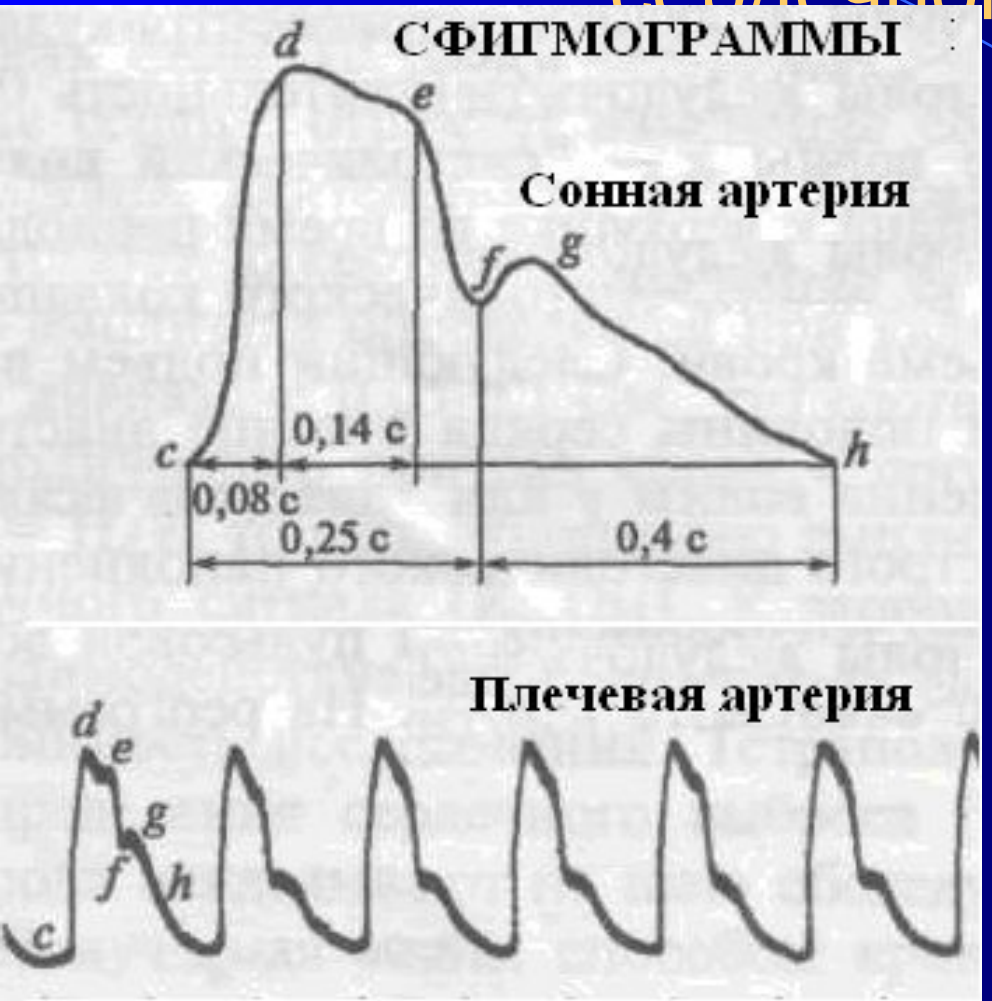
Транс-  
муральное

# Гидродинамическое давление крови – создается сердцем

$$P = F/S$$

- 1 – Артериальное:  
систолическое -  $P_c$ , (120 мм рт.ст)  
диастолическое -  $P_d$ , (70 мм рт.ст)  
пульсовое –  $P_p = P_c - P_d$ , (50 мм рт.ст)
-

# Сфигмография — запись изменений артериального давления в динамике сердечного цикла



- Среднее давление -  $P_{ср}$ .
- Расчет среднего давления:

Для аорты

$$P_{ср} = P_{д} + (P_{с} - P_{д}) / 2$$

[100 мм рт.ст.]

Для перифер. артерий

$$P_{ср} = P_{д} + (P_{с} - P_{д}) / 3$$

[86 мм рт.ст.]

# Динамика давления и объемного кровотока

- Градиент уровней *среднего давления* по ходу сосудистого русла определяет направленность тока крови из аорты в артерии и далее до предсердий: в каждом последующем отделе среднее давление меньше предыдущего.
- При переходе артерий в артериолы в связи с резким увеличением сопротивления в них (артериолы называют *прекапиллярными сосудами сопротивления* – 50% ОПС) объемный кровоток снижается. В результате давление, особенно систолическое, резко падает и приближается к диастолическому, что приводит к уменьшению пульсового давления.
- В капилляры большинства органов кровь поступает почти под постоянным давлением.

# Пульс

Когда порция крови выбрасывается из сердца, то она, ударяясь о находящуюся в аорте кровь, порождает *ударную волну - пульс*. Эта волна распространяется на периферию по крови и стенке артерий.

Скорость распространения пульсовой волны зависит:  
г отношения толщины стенки к радиусу,  
г эластичности сосуда.

Чем эластичнее и шире сосуд, тем меньше скорость. Так, в аорте она составляет 4-6 м/с, а в менее эластичных артериях мышечного типа - 8-12 м/с.

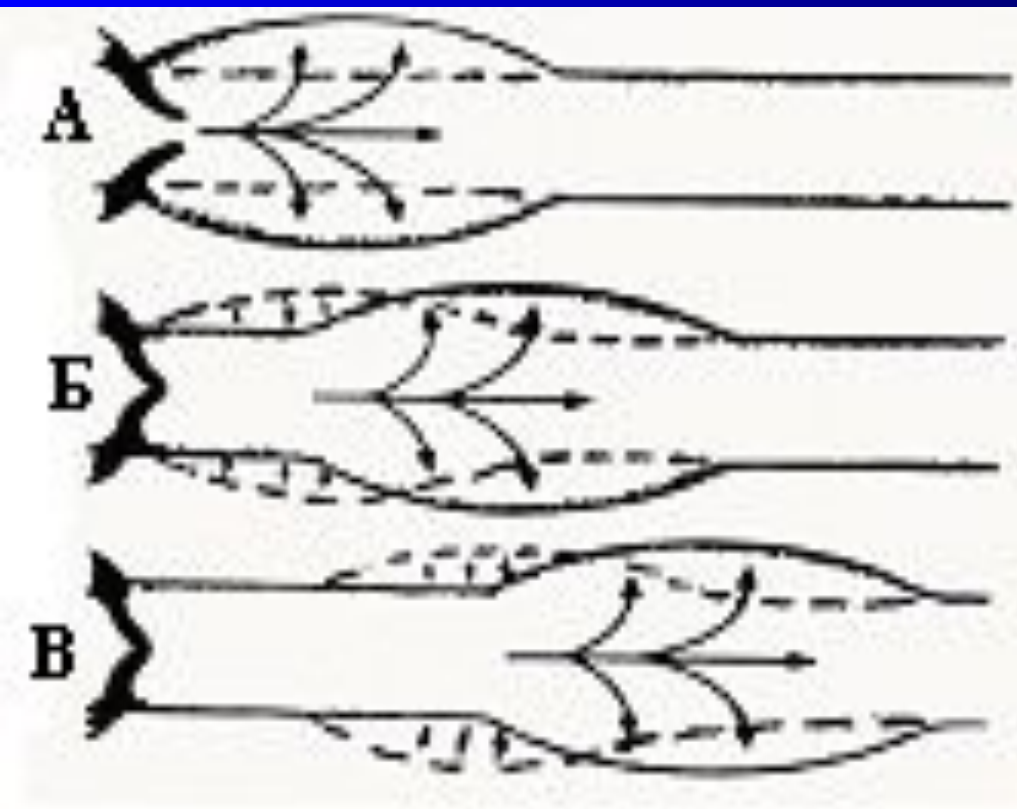
С возрастом, в связи с развитием склеротических изменений стенки сосуда, скорость распространения пульсовой волны возрастает.

# Пульс

- **Характер *пульса*, позволяет врачу путем простой пальпации получить важные сведения об особенностях состояния сердечно-сосудистой системы:**
- **частоте средних сокращений,**
- **ритмичности,**
- **по высоте пульсовой волны можно судить о величине ударного объема и эластичности сосудов: при одинаковом объеме амплитуда пульса тем меньше, чем больше эластичность сосудов;**
- **по скорости нарастания пульсовой волны можно сказать как о состоянии сосудов, так и об активности сокращения сердца,**
- **и т. д. (КИТАЙСКАЯ МЕДИЦИНА!).**



# Появление пульса – следствие распространения ударной волны по стенке сосуда и крови

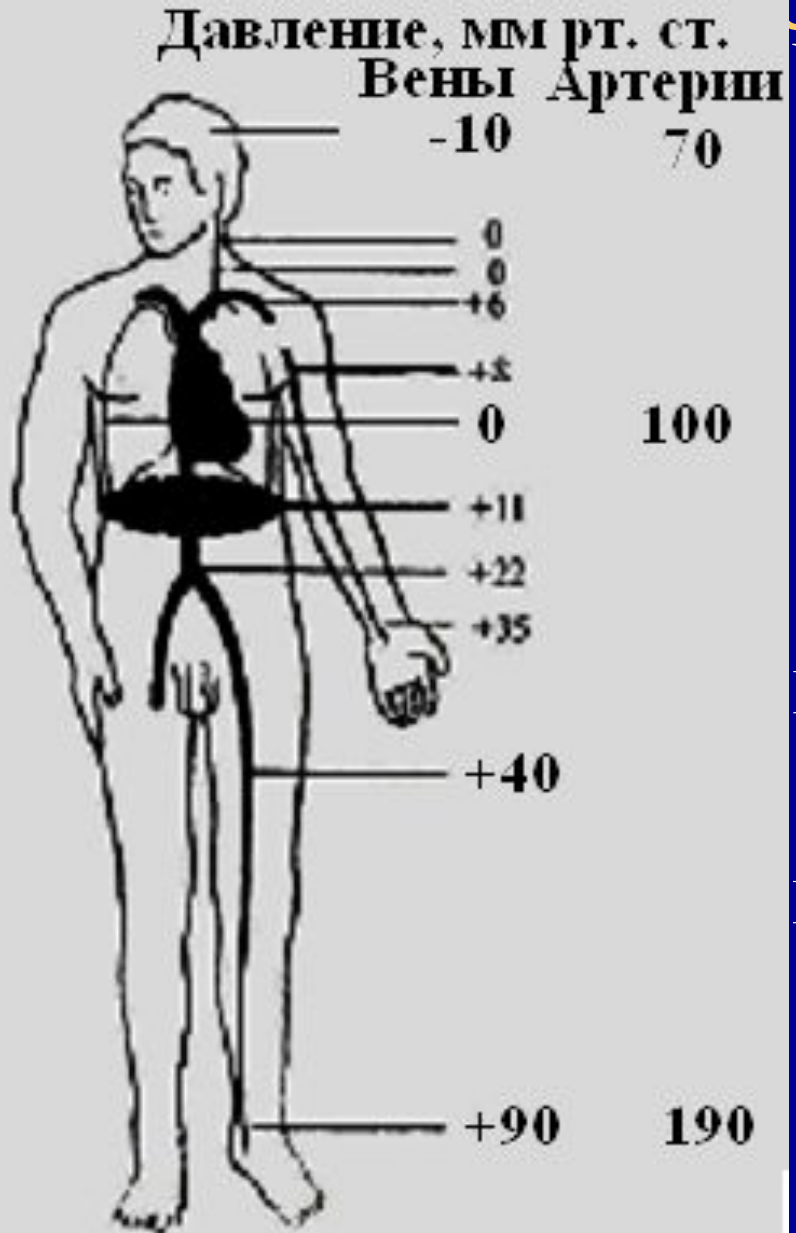


последовательные  
этапы распространение  
объема крови по  
начальному отделу  
аорты

## Функции амортизирующих сосудов:

- Амортизация (сглаживание) ударного объема крови (в период систолы желудочков он весь поступить в следующие сосуды не может), часть его растягивает эластические сосуды, которые затем проталкивают кровь дальше (роль сердца при его диастоле).
- Амортизация давления крови (в обменные сосуды кровь должна поступать под постоянным давлением).
- Амортизация неравномерной линейной скорости кровотока.

# Трансмуральное давление (ТТр): разность давления крови на стенку сосуда изнутри и снаружи



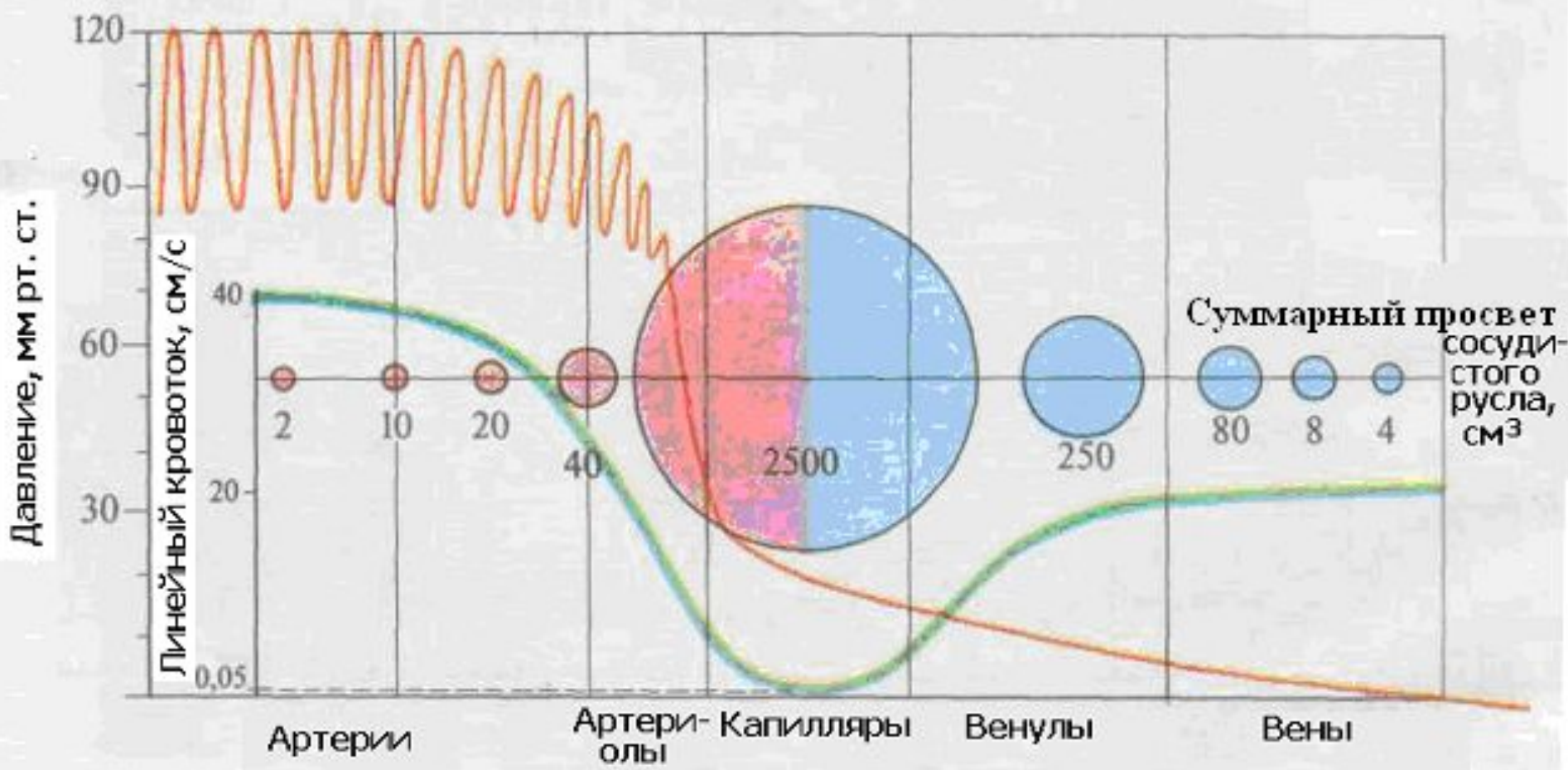
## снаружи

У вертикально стоящего человека под влиянием сил гравитации создается дополнительно давление столба крови на ее стенку это *гидростатическое давление*). Оно изнутри суммируется с гидродинамическим давлением. А снаружи на стенку сосуда же действуют силы (органы, ткани и т.д.).

Результирующая сила и составляет *трансмуральное давление*.

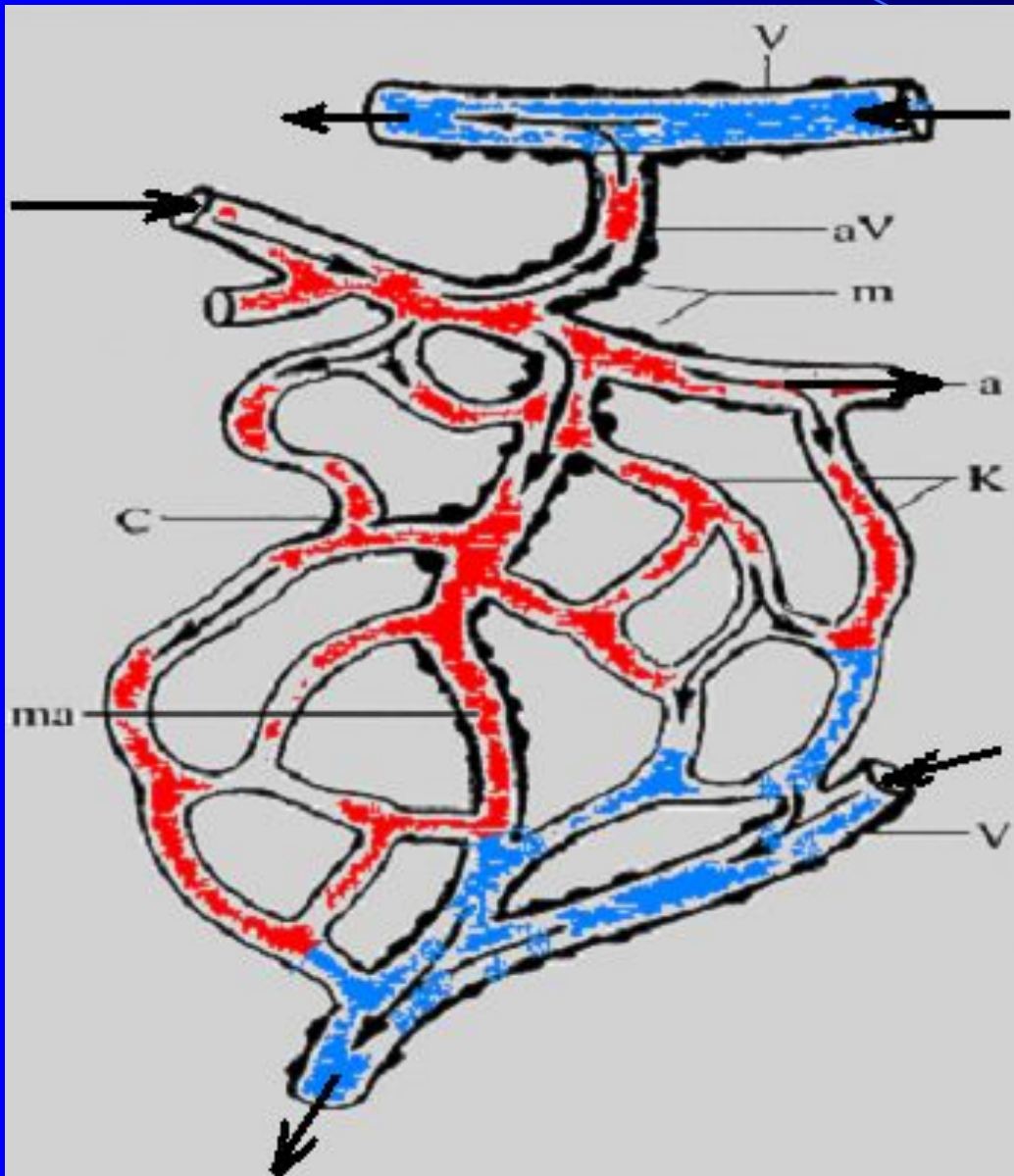
На рис. показано изменение уровня трансмурального давления в сосудах в зависимости от гидростатического давления.

# Емкость отделов сосудистого русла



# ОБМЕННЫЕ СОСУДЫ

## Микроциркуляторное русло

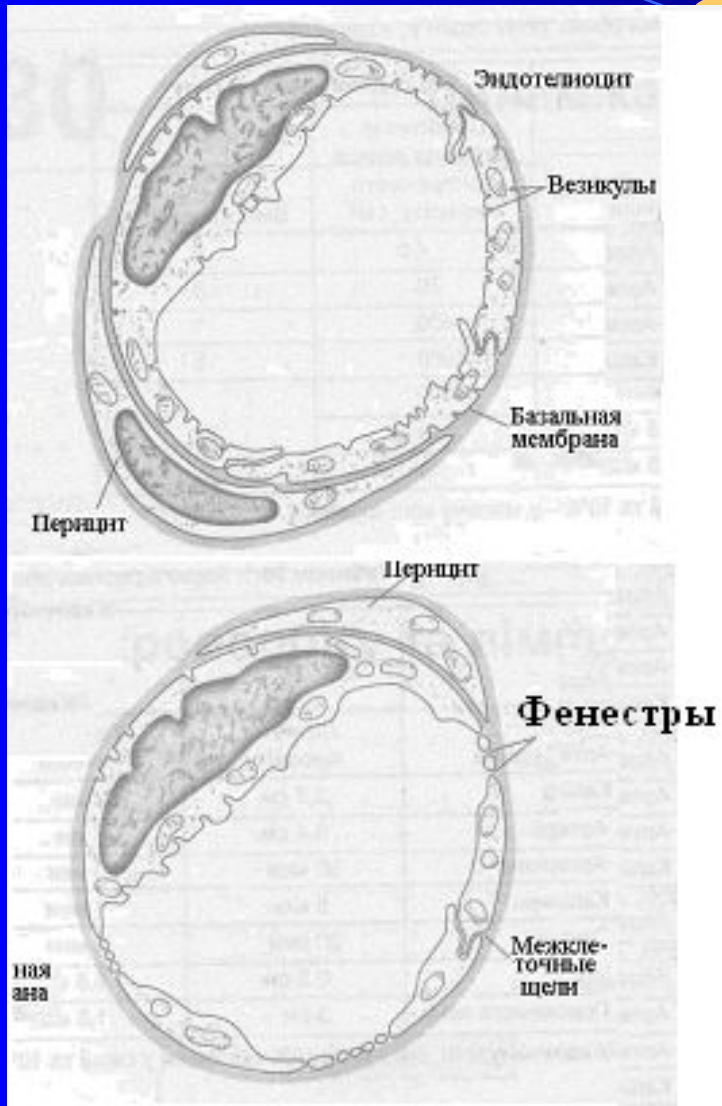


- v - венула
- av – артериоло-венозный шунт
- к - капилляр
- а – артериола
- m - гл. мышцы
- С - сфинктер

# Функциональные группы обменных сосудов

- *резистивные (сопротивление) прекапилляры,*
- *сфинктеры,*
- *капилляры,*
- *резистивные посткапилляры,*
- *а в некоторых органах и тканях есть еще и сосуды-шунты.*

# Стенка капилляра – обеспечение обмена



- Стенка капилляра состоит из одного слоя эндотелиоцитов.
- Средний капилляр имеет радиус от 6 до 2-3 мкм, длину - 750 мкм.

При площади поперечного сечения капилляра  $30 \text{ мкм}^2$ , обменная площадь составляет около  $14000 \text{ мкм}^2$ .

- Скорость кровотока в капилляре самая малая -  $0,3 \text{ мм/с}$ , что позволяет каждой частице крови (например, эритроциту) находиться в капилляре 2-3 с.

# Регуляция состояния капиллярного кровотока

- Объем крови, поступающей к капиллярам, зависит от просвета предшествующих и последующих сосудов.
- Расширение предшествующих артериол, интенсифицирует кровоток, повышает давление у устья капилляров. В результате капилляры пассивно открываются. Напротив, сужение указанных образований, уменьшая кровоток, обеспечивает закрытие капилляров.



# Регуляция состояния капилляров



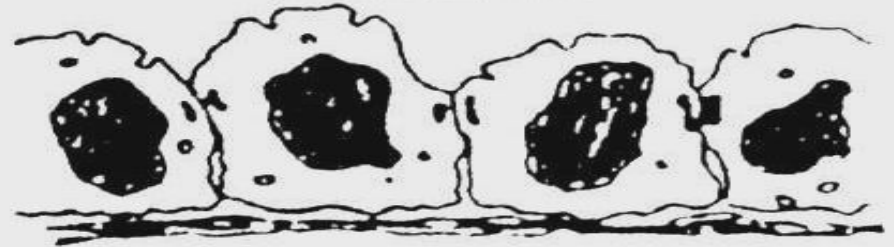
- В большом круге кровообращения закрытие капилляра происходит при давлении крови у устья капилляра около 5-10 мм рт.ст.

# Особенности строения стенки капилляров в различных органах

Низкий



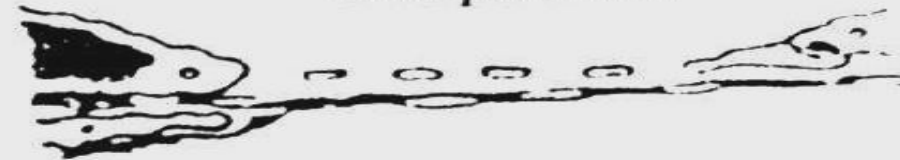
Высокий



Закрытый



Открытый



Печень, костный мозг



Селезенка



# Условия обмена воды в капилляре

- Фильтрация: разность сил выталкивающих воду (давления – изнутри и снаружи) и удерживающих (онкотическое давление – изнутри и снаружи). Фильтрация происходит при «+» этой разности.
- Реабсорбция (возврат) – взаимодействие тех же сил. Реабсорбция происходит при «-» этой разности.

# Схема обмена воды между кровью и тканями в капилляре



$P_{ок}$  - онкотическое давление

$P_{гт}$  - гидростатическое д. в тканях

$P_{гк}$  - гидростатическое д. крови

В артериальном конце капилляра:

$$(32,5 + 4,5) - (25 + 3) = \underline{+9 \text{ мм рт.ст.}}$$

В венозном конце капилляра:

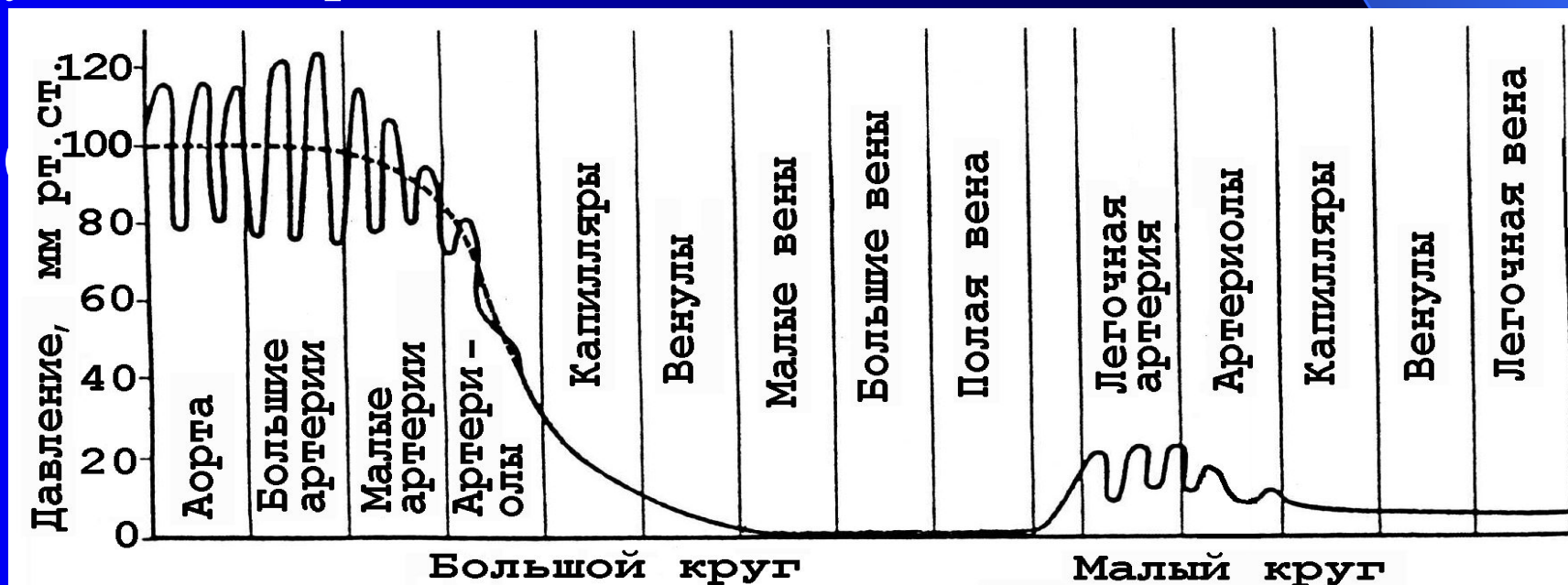
$$(17,5 + 4,5) - (25 + 3) = \underline{-6 \text{ мм рт.ст.}}$$

- В сутки фильтруется
- 20 л воды,
- а реабсорбируется 18 л.
- 2 л –возвращается лимфой.

# Распределение давления в сосудах

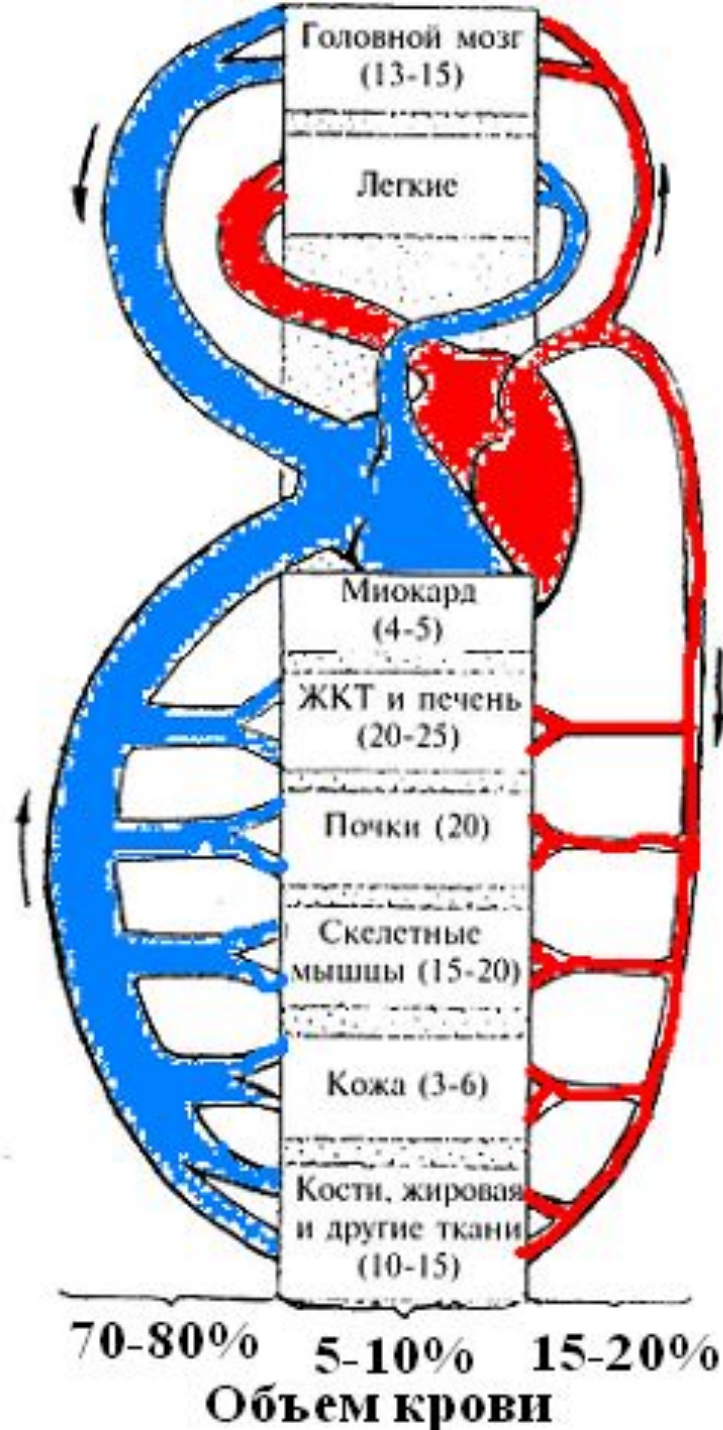
- Давление в крупных и средних артериях падает всего на 10%, а в артериолах и капиллярах на 85%, т.к. именно эти сосуды обладают наибольшим сосудистым сопротивлением, на преодоление которого и тратится основная часть энергии сокращающегося сердца.

- После капилляров давление продолжает снижаться, но уже не так резко.

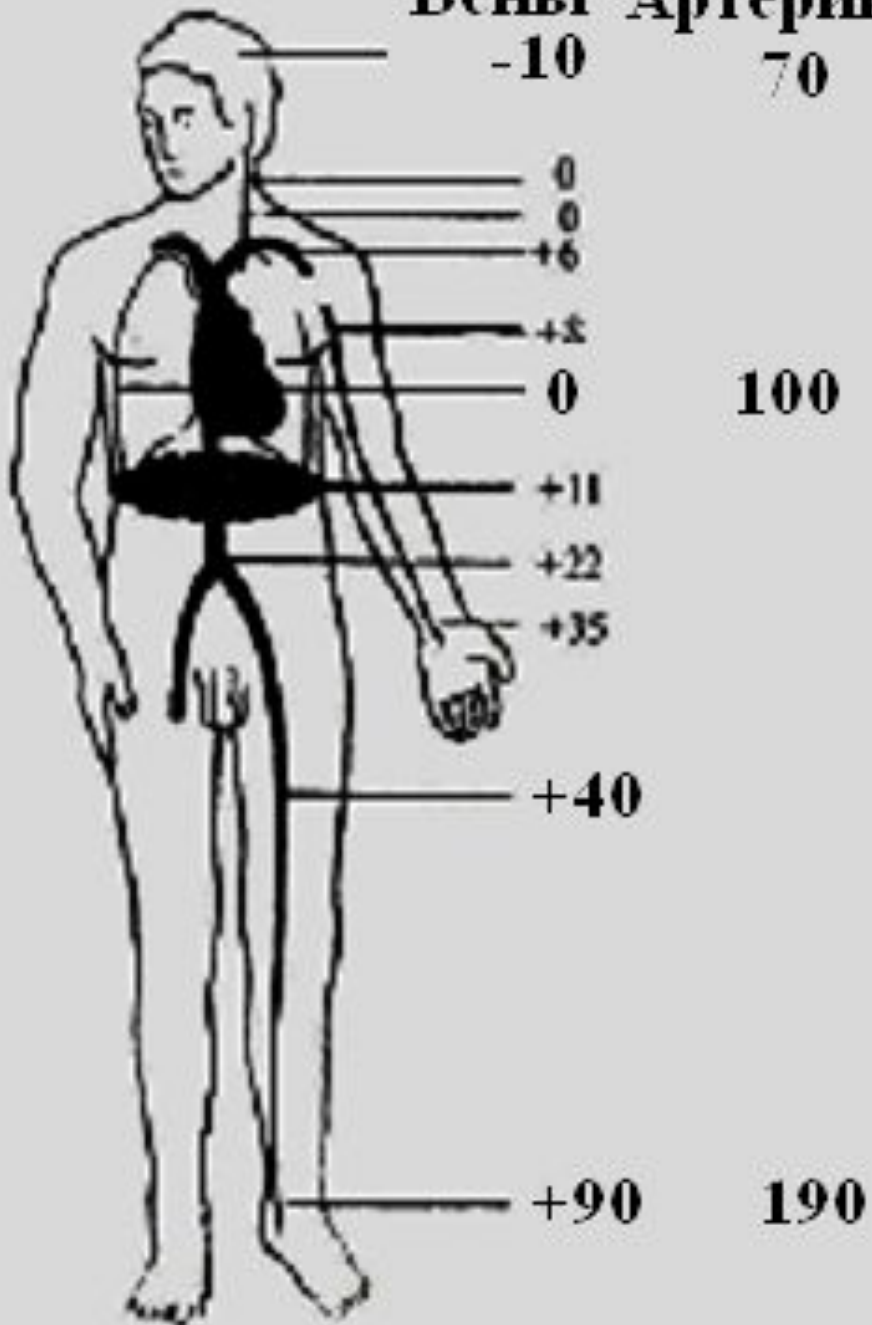


## Емкостные сосуды

- В крупных венах, расположенных вне грудной клетки, давление составляет 5-6 мм рт.ст.
- в венах грудной полости давление колеблется в достаточно широких пределах в ритме дыхательных движений: *при вдохе давление уменьшается, а при выдохе увеличивается.*

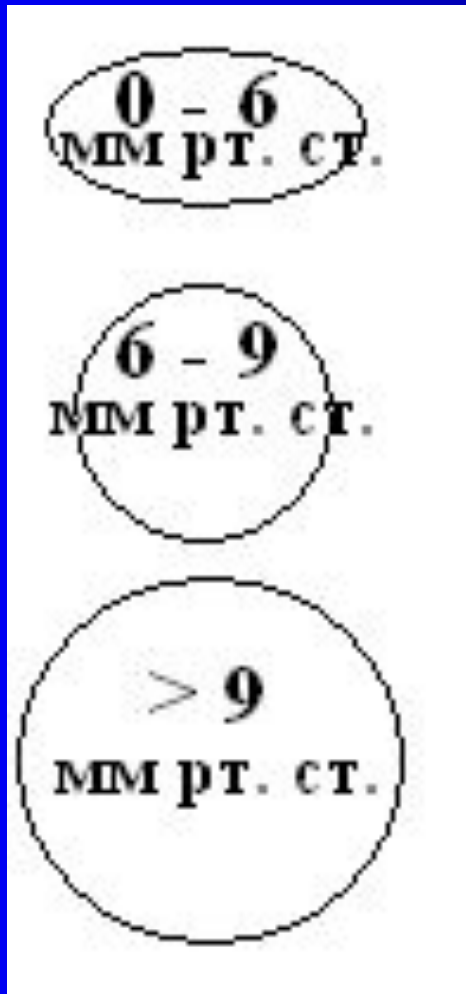


Давление, мм рт. ст.  
Вены Артерии



Трансмуральное  
давление и  
Вены

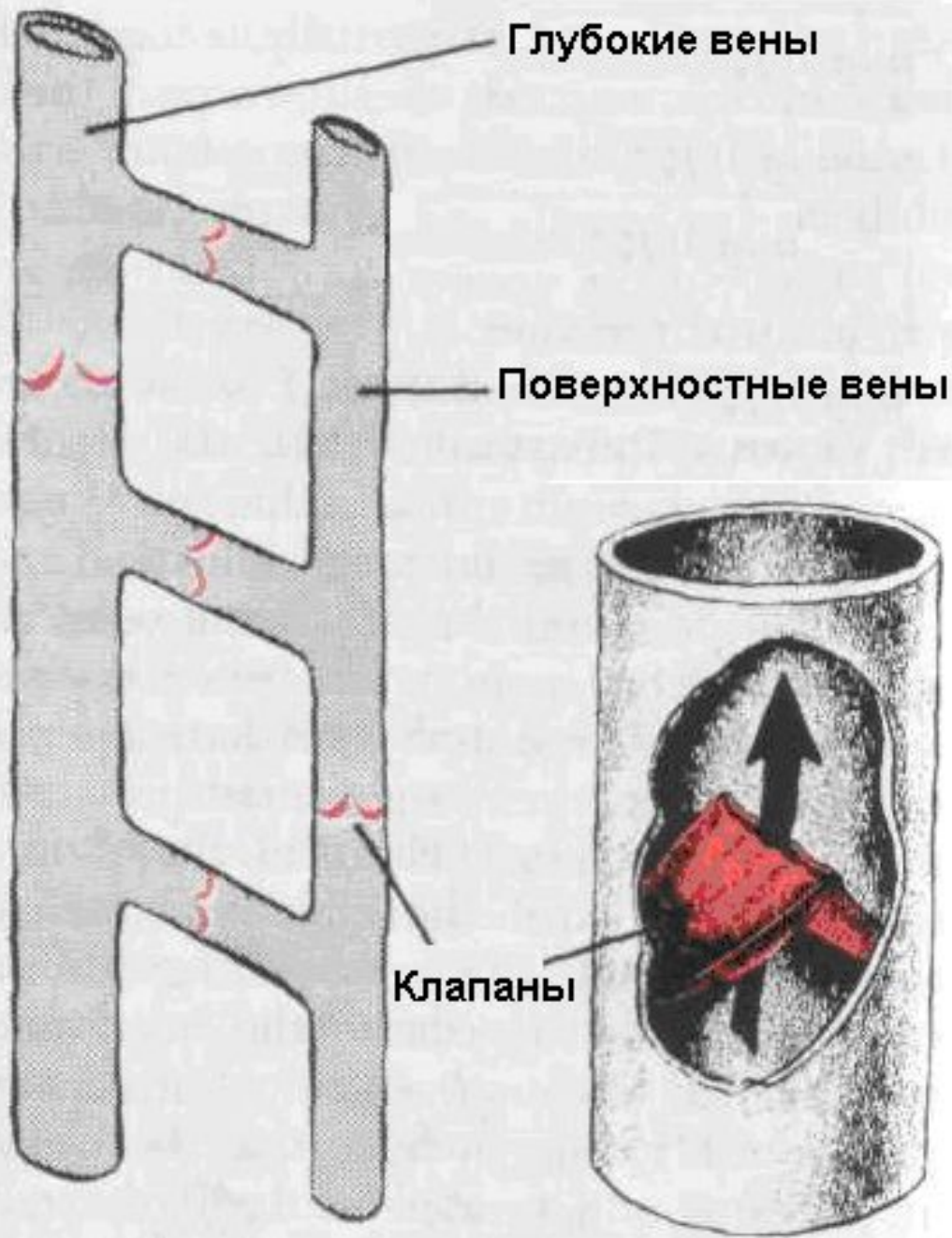
# Состояние просвета вен в зависимости от уровня трансмурального давления



- При нулевом трансмуральном давлении вены спадаются.
- Изменение давления в пределах от 0 до 6-9 мм рт.ст. происходит при эллипсоидном просвете вен.
- Вены, начиная с давления 6-9 мм рт.ст., приобретают округлое поперечное сечение, то есть полностью расправляются.
- Более высокое давление растягивает вены.



# Клапаны и венозный кровоток



- Благодаря клапанам снижается величина трансмурального давления (столб разбивается на отдельные фрагменты).
- Но ... при затруднении оттока крови из вен нижней конечности у клапанов возможно развитие варикозных расширений.

## Вены и депо крови

- **Емкостная функция вен обусловлена суммарно большим просветом данного отдела сосудистого русла, их высокой растяжимостью. В то же время наличие в стенках вен гладкомышечных клеток при низком уровне гидродинамического давления создает благоприятные условия для уменьшения их просвета при сокращении. Это дает возможность *перераспределять объем крови между венами и другими отделами сосудистого русла.***

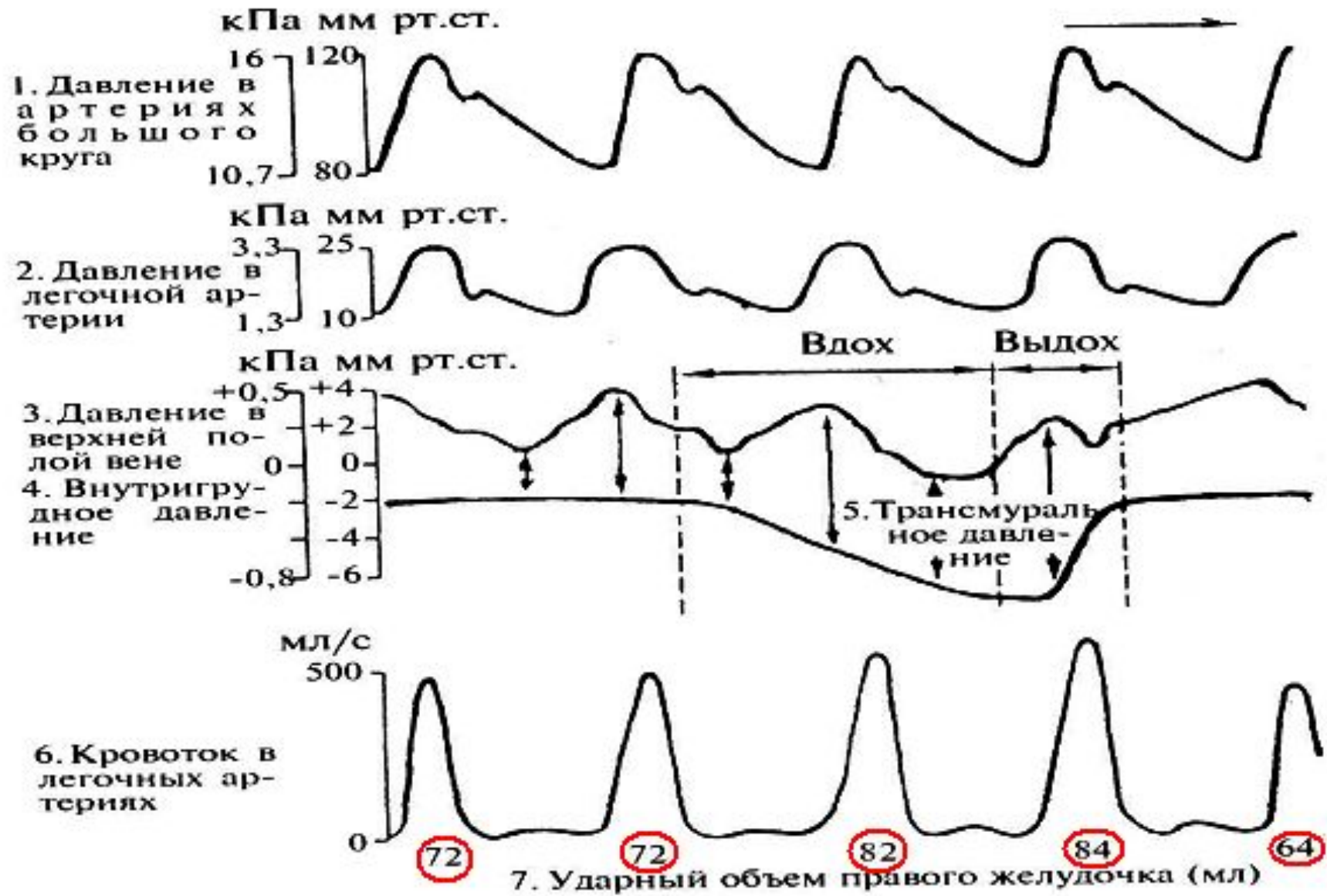
# Функции (относительного) депо крови

- В замкнутой сосудистой системе изменение емкости какого-либо одного отдела обязательно должно сопровождаться перераспределением объема крови в другой. Сокращение гладких мышц венозной стенки легко изменяет ее просвет, так как противодействующая сила давления крови невелика. Если, к примеру, емкость вен уменьшится лишь на 2-3 %, то венозный возврат к сердцу возрастет практически вдвое.
- И эта кровь используется для перераспределения кровотока при выполнении физической нагрузки к мышцам или после кровопотери к мозгу и миокарду.

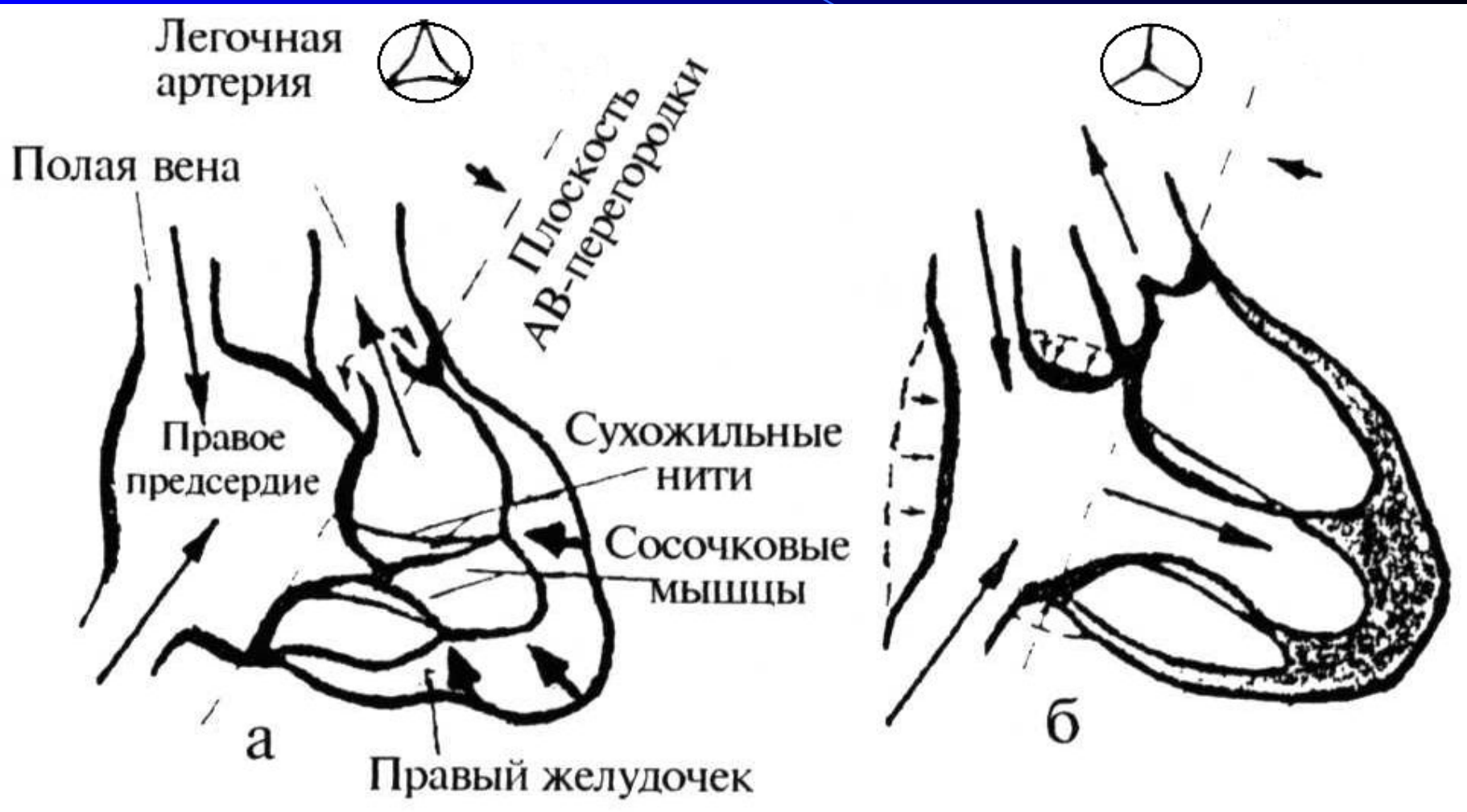
# Возврат крови к сердцу

- 1. Градиент давления в венозной системе (вначале около 10, а у предсердия – 0 мм рт.ст.)
- 2. Присасывающее влияние грудной полости, где внутриплевральное давление отрицательное.
- 3. Сокращение скелетных мышц, которые выдавливают кровь из вен.
- 4. Присасывающее влияние сокращающегося желудочка (см. рис. далее).

# Влияние дыхательных движений на кровотоки



# Влияние систолы желудочка на поступление крови в предсердие



Присасывающее действие сокращающегося желудочка (а).