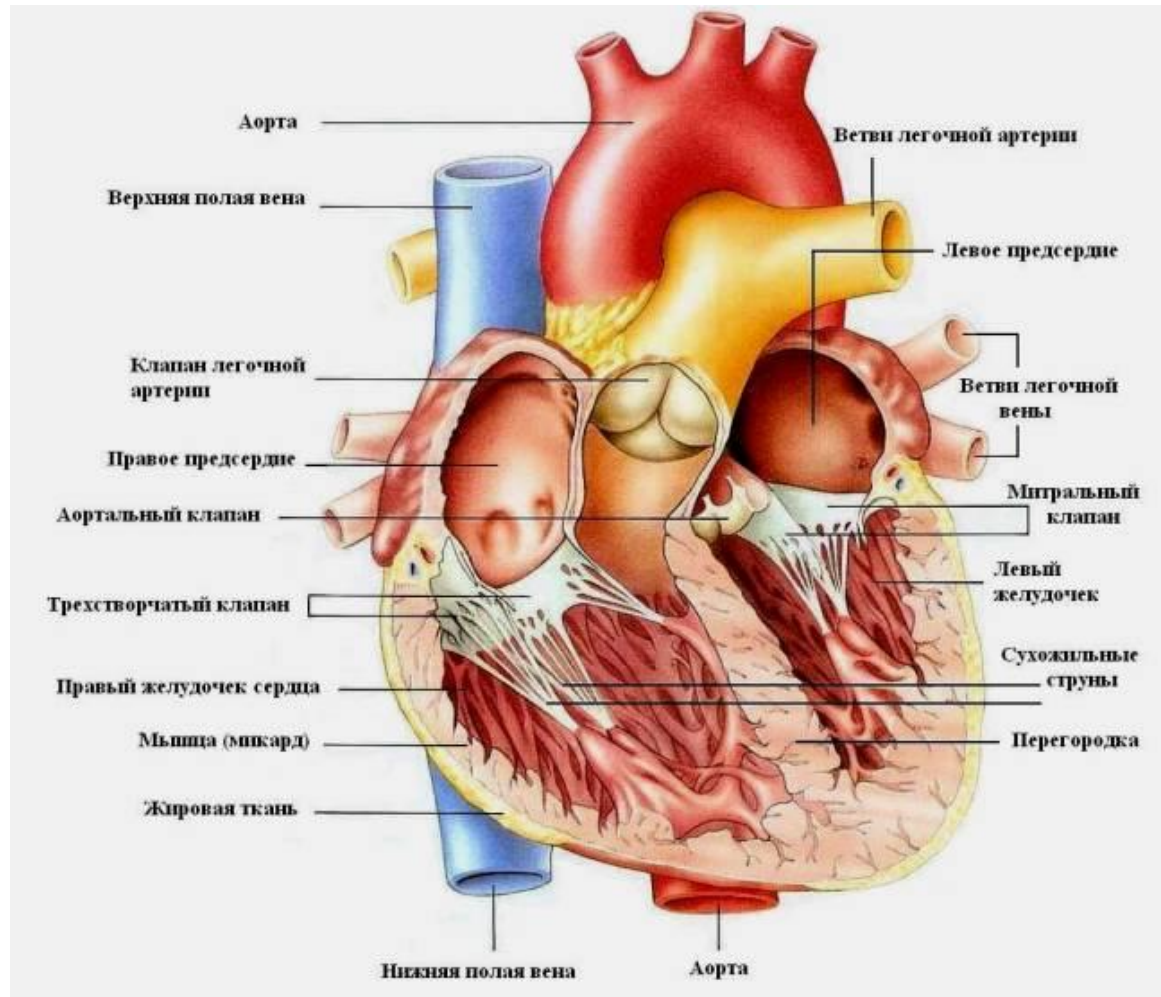
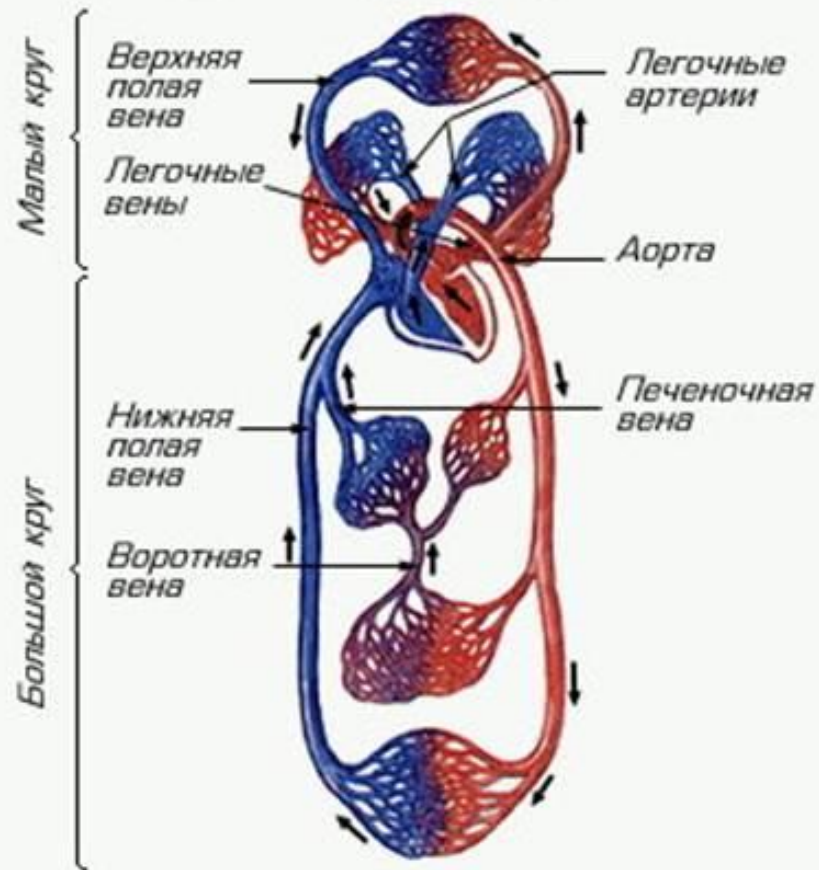


# Физиология сердца

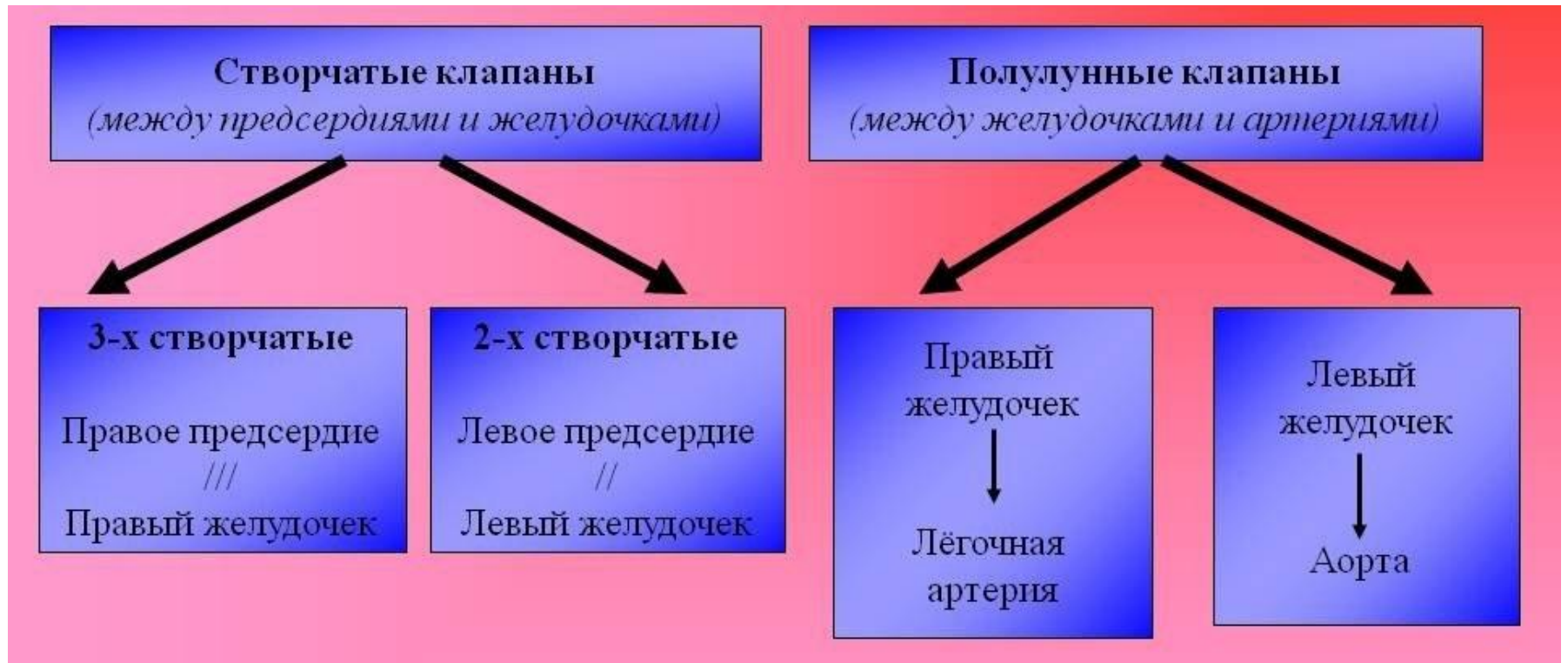


*Сосуды головы, шеи и верхних конечностей*

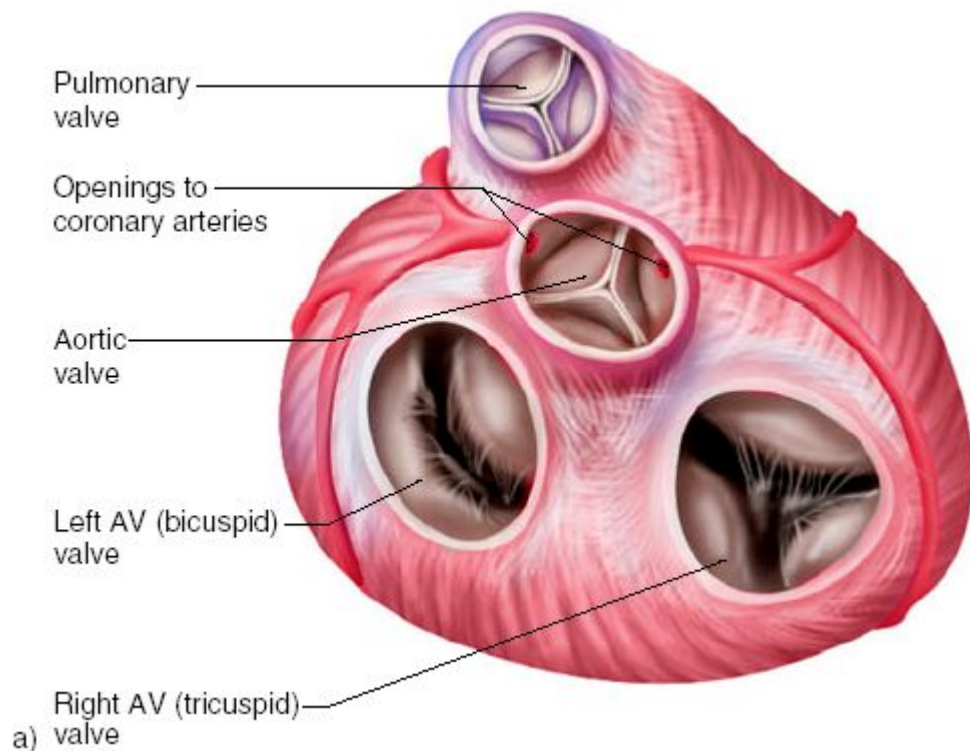
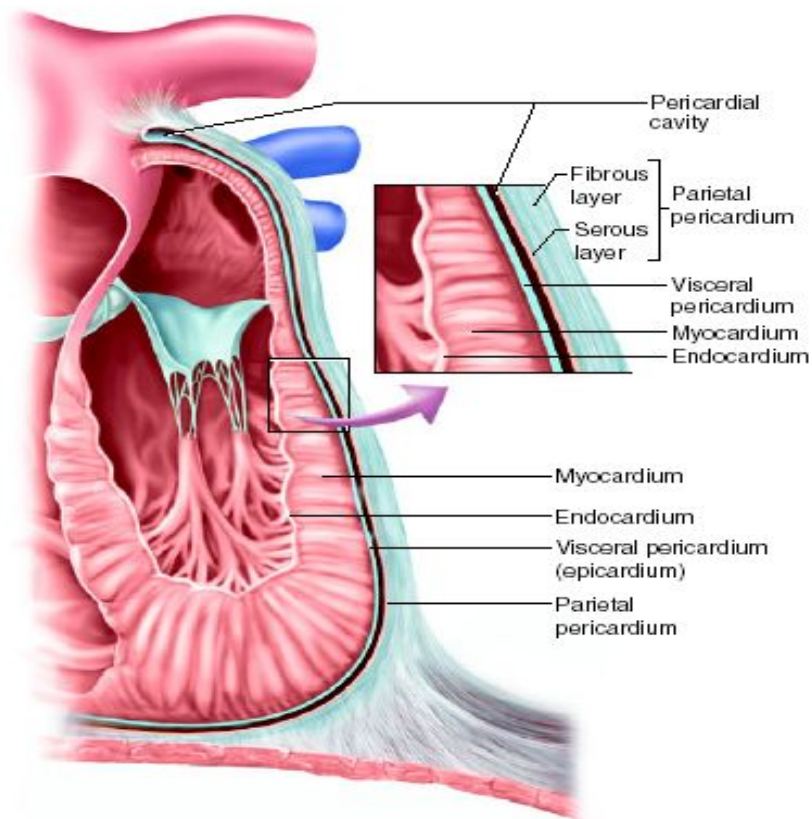


*Сосуды нижних конечностей*

# Клапанный аппарат



# Клапанный аппарат



a)

# Проводящие сердечные МИОЦИТЫ

- Атипичные кардиомиоциты, обеспечивают ритмичное координированное сокращение различных отделов сердца благодаря своей способности к генерации и быстрому проведению электрических импульсов
- Совокупность атипичных кардиомиоцитов формирует так называемую **проводящую систему сердца.**

# Секреторные кардиомиоциты

- Встречаются преимущественно в правом предсердии и ушках сердца.
- В цитоплазме этих клеток располагаются гранулы, содержащие пептидный гормон - предсердный натрийуретический фактор (ПНУФ).
- При растяжении предсердий секрет поступает в кровь и воздействует на собирательные трубочки почки, клетки клубочковой зоны коры надпочечников, участвующие в регуляции объема внеклеточной жидкости и уровня артериального давления (расширяет сосуды, снижает АД).

# Сократительные кардиомиоциты

- Образуют основную часть миокарда. Они содержат 1-2 ядра в центральной части клетки, а миофибриллы расположены по периферии.
- Места соединения кардиомиоцитов называются вставочные диски, в них обнаруживаются щелевые соединения (нексусы) и десмосомы. Форма клеток в желудочках - цилиндрическая, в предсердиях - неправильная, часто отростчатая.
- Кардиомиоциты покрыты сарколеммой, состоящей из плазмолеммы и базальной мембраны, в которую вплетаются тонкие коллагеновые и эластические волокна, образующие "наружный скелет" кардиомиоцитов - эндомизий.

# Физиологические свойства миокарда

**Автоматизм** — способность самостоятельно генерировать ПД для сокращения миокарда всего сердца; денервированное сердце продолжает сокращаться, так как автоматизмом обладают даже рабочие кардиомиоциты, однако скорость **спонтанной диастолической деполяризации** у них минимальна.

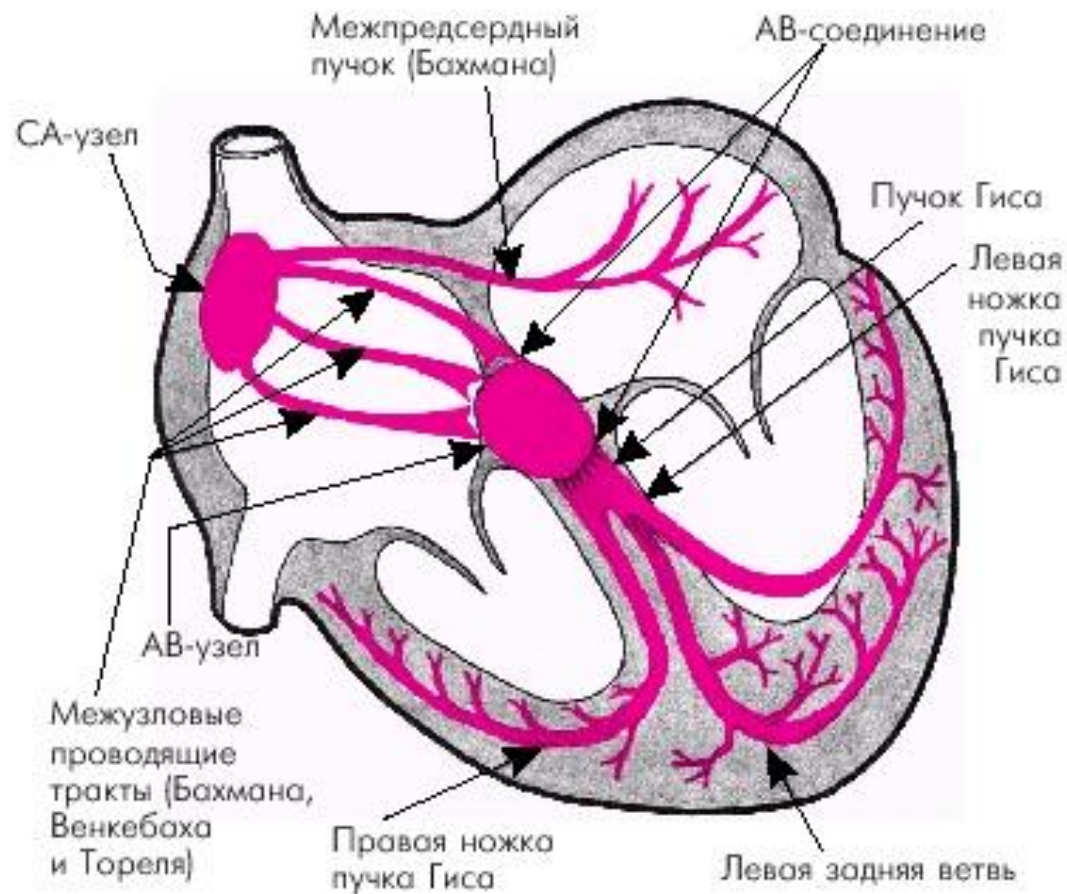
**Проводимость** — способность проводить ПД; проводимостью обладает каждый кардиомиоцит.

**Возбудимость** — способность возбуждаться (генерировать ПД) в ответ на воздействие раздражителя.

**Сократимость** — способность сокращаться, реализуя тем самым насосную функцию сердца.

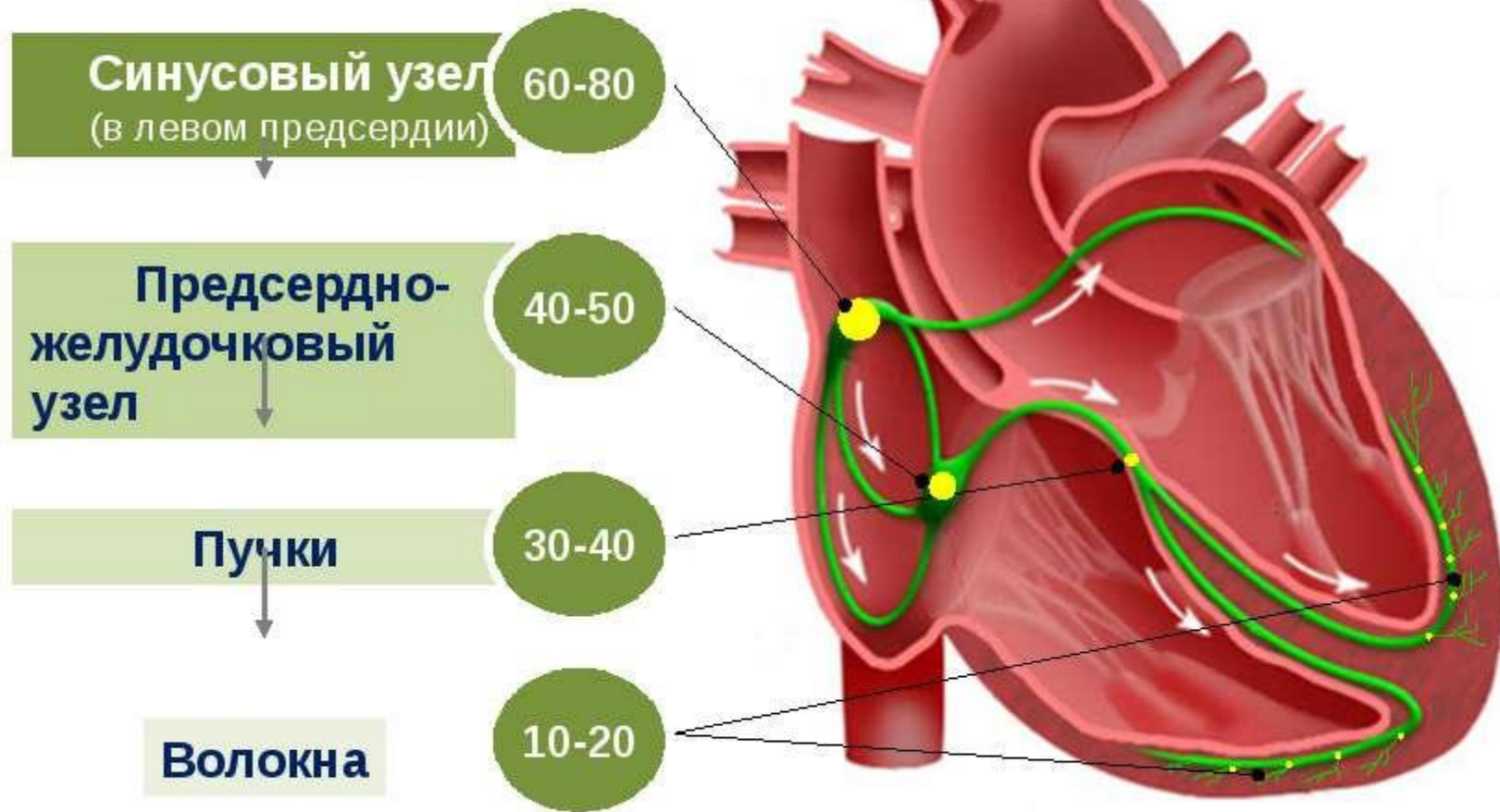


# Проводимость. Проводящая система сердца



## Градиент автоматии сердца

уменьшение способности к автоматии у клеток проводящей системы сердца по мере удаления от синусового узла



# Градиент автоматии

- САУ=60-80 уд/мин
- АВУ=40-50 уд/мин
- Пучок Гиса 30-40 уд/мин
- Волокна Пуркинье =20 уд/мин

# Проводящая система сердца

Различают три типа мышечных клеток, которые в разных соотношениях находятся в различных отделах этой системы

# Проводящая система сердца

Первый тип проводящих миоцитов - это **P-клетки**, или пейсмейкерные миоциты, - водители ритма.

Они светлые, мелкие, отростчатые.

Эти клетки встречаются в синусном и предсердно-желудочковом узле и в межузловых путях.

Высокое содержание свободного кальция в цитоплазме этих клеток при слабом развитии саркоплазматической сети обуславливает способность клеток синусного узла генерировать импульсы .

Поступление необходимой энергии обеспечивается преимущественно процессами анаэробного гликолиза.

Второй тип проводящих миоцитов - это **переходные клетки**.

Они составляют основную часть проводящей системы сердца. Это тонкие, вытянутые клетки, встречаются преимущественно в узлах (их периферической части), но проникают и в прилежащие участки предсердий. Функциональное значение переходных клеток состоит в передаче возбуждения от Р-клеток к клеткам пучка Гиса и рабочему миокарду.

Третий тип проводящих миоцитов - это **клетки Пуркинье**, часто лежат пучками.

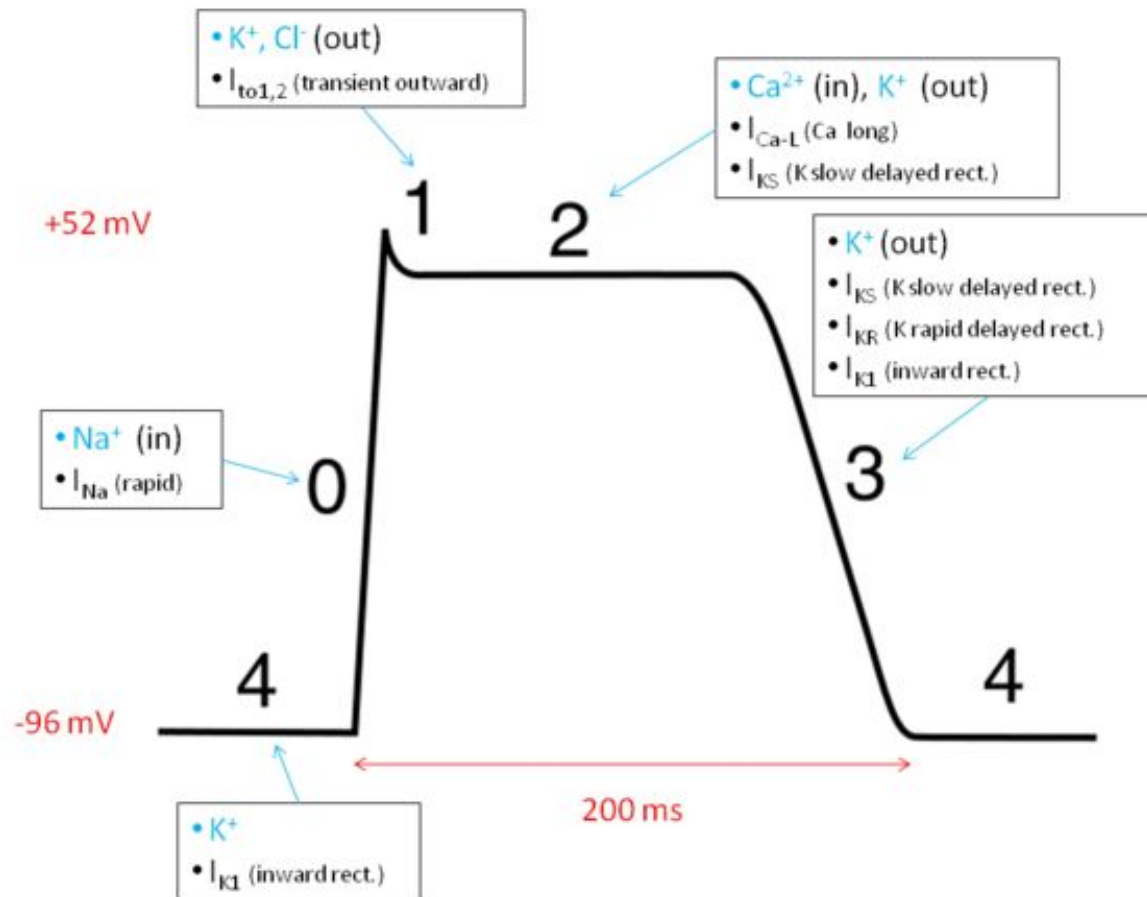
Они светлее и шире сократительных кардиомиоцитов, содержат мало миофибрилл.

Эти клетки преобладают в пучке Гиса и его ветвях. От них возбуждение передается на сократительные кардиомиоциты миокарда желудочков.

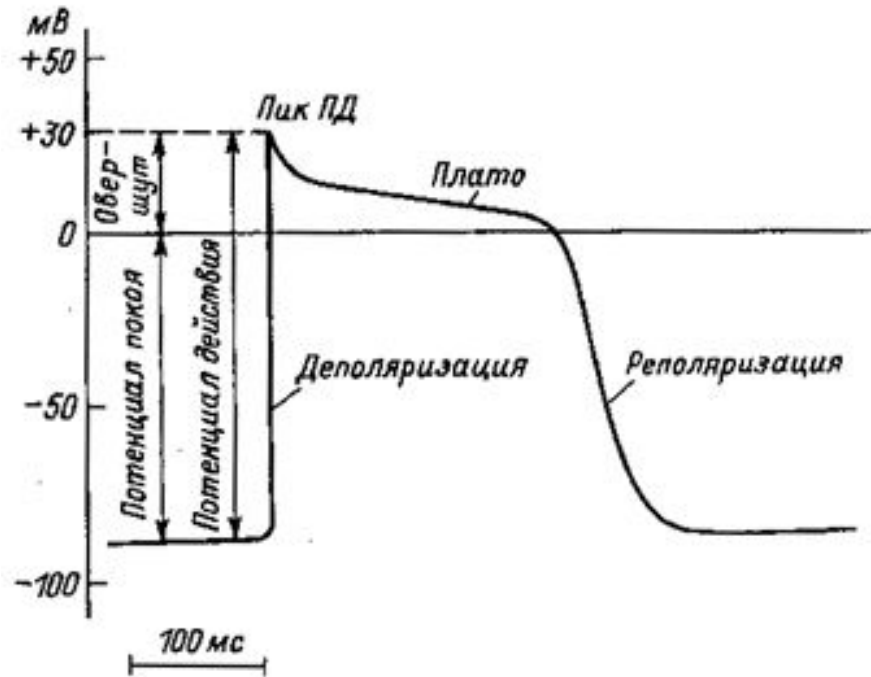




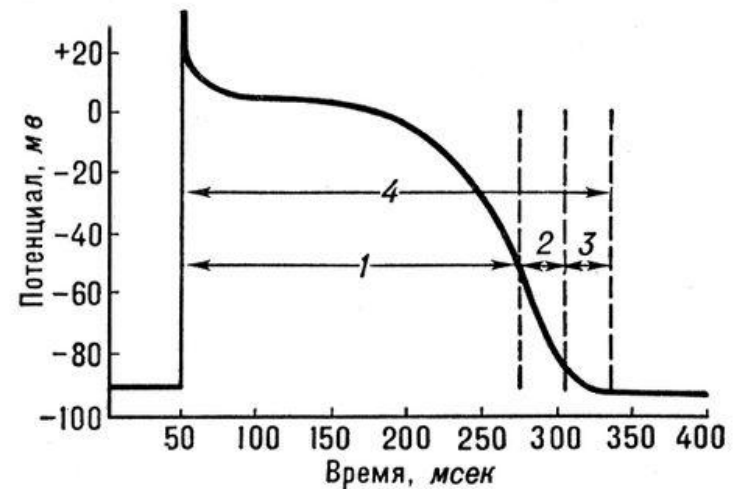
# Потенциал действия кардиомиоцита



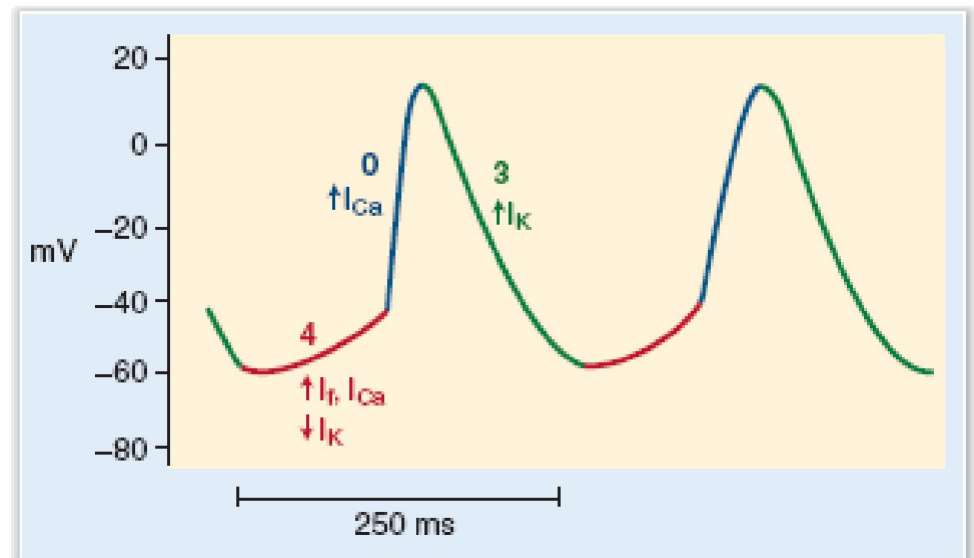
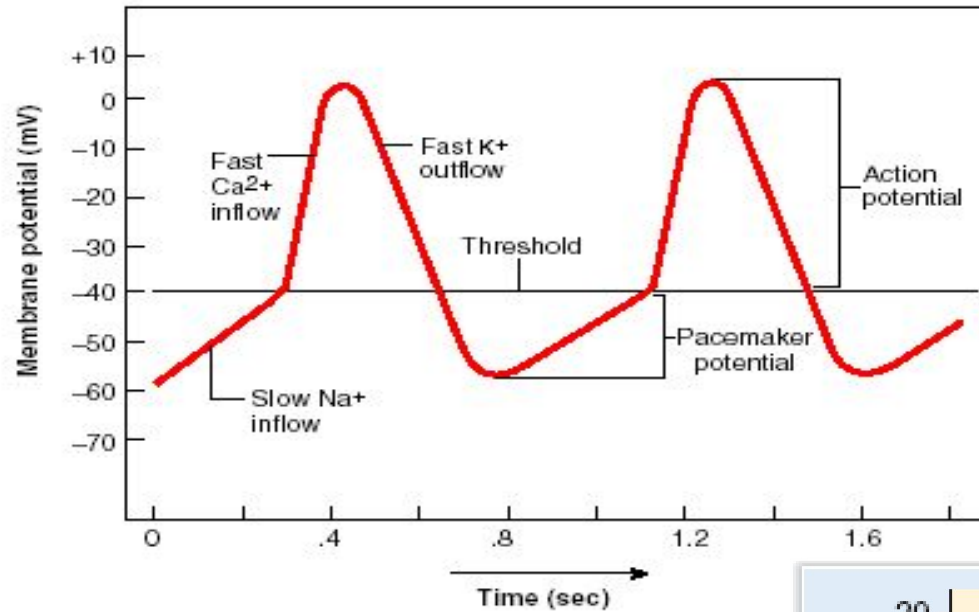
# ПД кардиомиоцита



- 1- период абсолютной рефрактерности
- 2 – период относительной рефрактерности
- 3- период супернормальности



# ПД атипического миоцита узлов автоматии



# Характеристика сократительной деятельности сердца

Сокращения происходят по типу одиночных сокращений.

Суммации сокращений никогда не происходит.

Цикл работы сердца состоит из систолы и диастолы

- Систола – сокращение
- Диастола – расслабление

# Цикл работы сердца

При ЧСС 75 в минуту составляет:

Предсердий -  
0,8с

Систола - 0,1с

Диастола - 0,7  
с

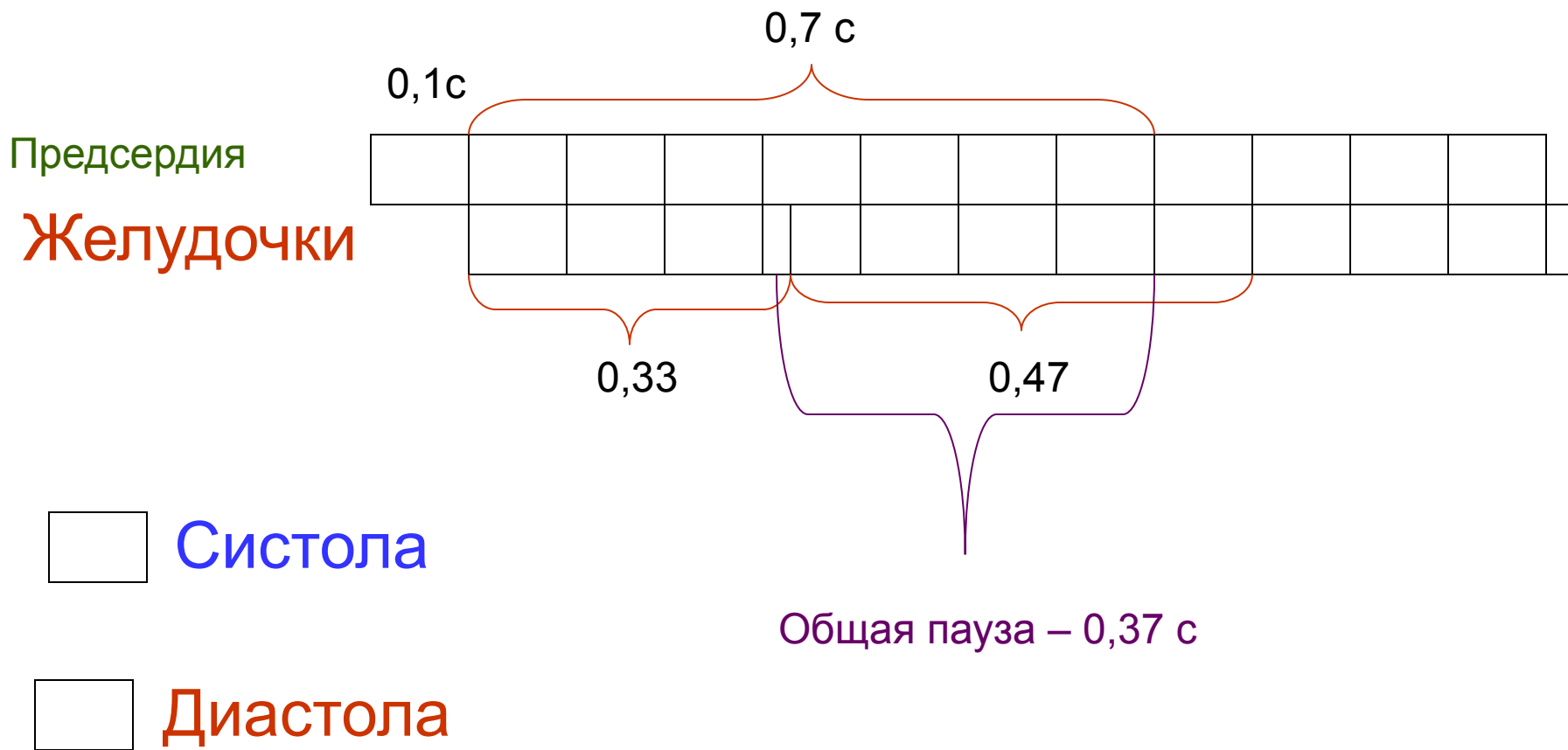
Желудочков - 0,8  
с

Систола - 0,33  
с

Диастола -  
0,47с

Общая пауза - 0,37с

# Графическое изображение сердечного цикла

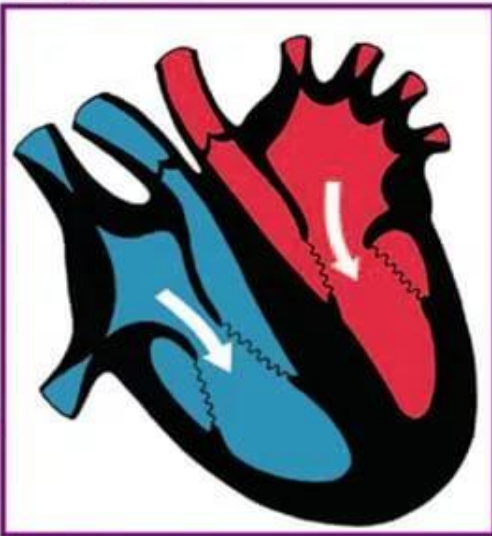


# Сердечный цикл

## 1. Сокращение (систола) предсердий

Длится около 0.1 с.

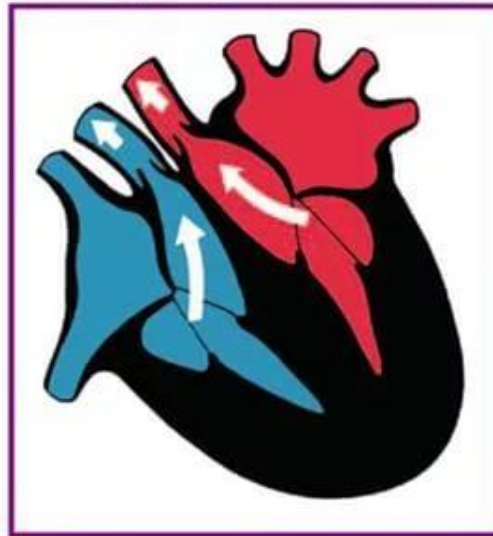
Желудочки расслаблены, створчатые клапаны открыты, полулунные – закрыты. Кровь из предсердий поступает в желудочки.



## 2. Сокращение (систола) желудочков

Длится около 0.3 с.

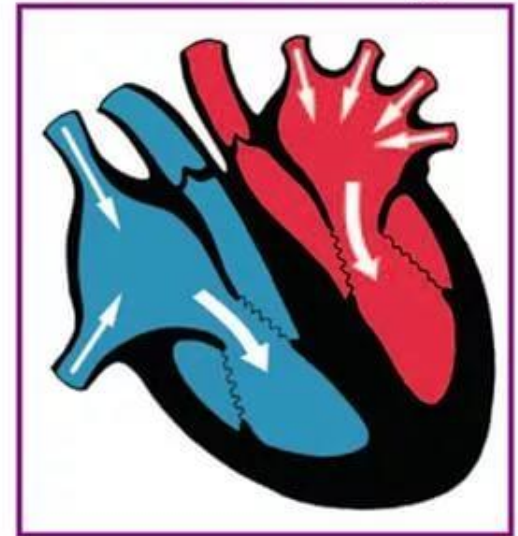
Предсердия расслаблены, створчатые клапаны закрыты, полулунные клапаны открыты. Кровь из желудочков поступает в легочную артерию и аорту.



## 3. Пауза. Расслабление предсердий и желудочков (диастола)

Длится около 0.4 с.

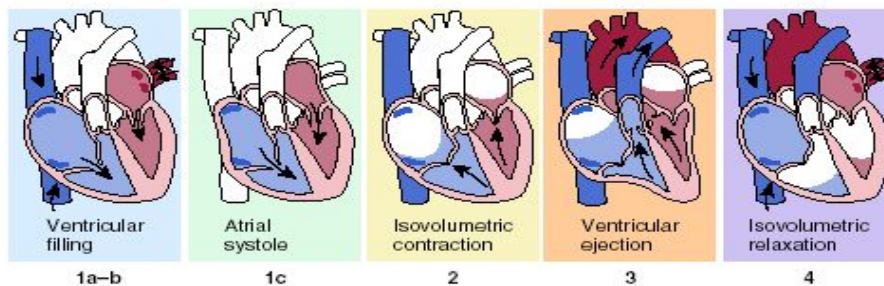
Створчатые клапаны открыты, полулунные закрыты. Кровь из вен попадает в предсердие и частично стекает в желудочки.



## Оптимальный режим работы сердца:

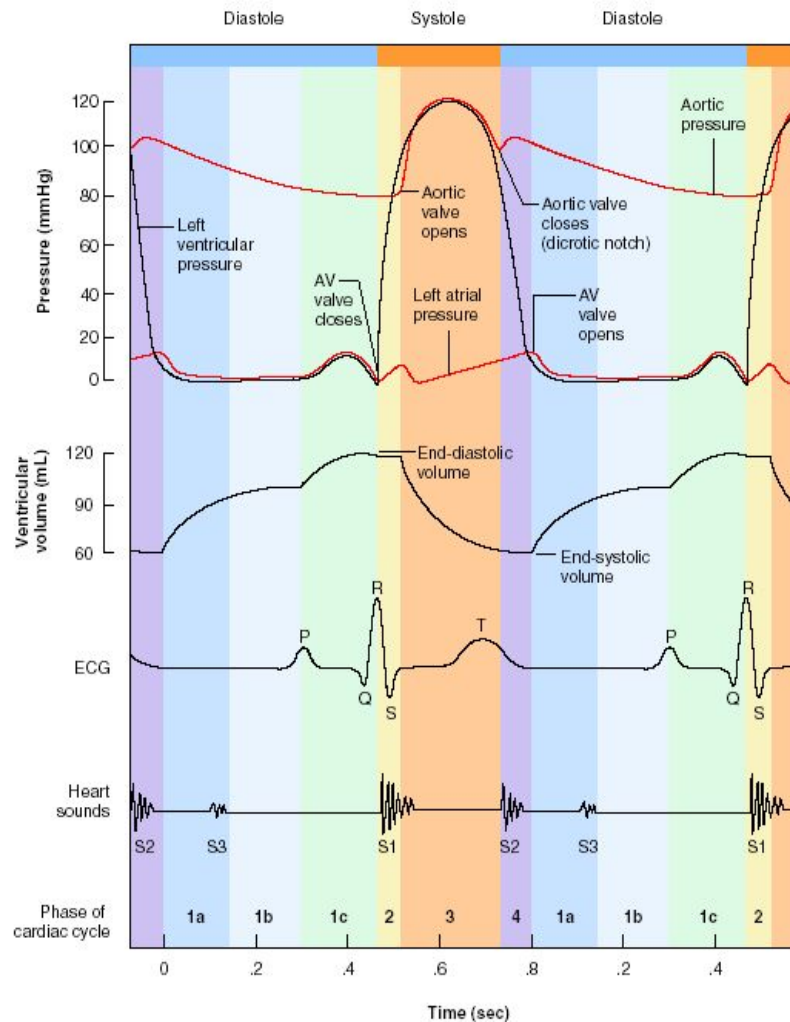
предсердия работают 0.1 с и отдыхают 0.7 с, а желудочки работают 0.3 с и отдыхают 0.5 с.





Phases of cardiac cycle:

1. Ventricular filling
  - 1a. Rapid filling
  - 1b. Diastasis
  - 1c. Atrial systole
2. Isovolumetric contraction
3. Ventricular ejection
4. Isovolumetric relaxation



*Систола желудочков — 0,33 с.*

*Период напряжения — 0,08 с:*

- фаза асинхронного сокращения — 0,05 с;
- фаза изометрического сокращения — 0,03 с.

*Период изгнания крови — 0,25 с:*

- фаза быстрого изгнания — 0,12 с;
- фаза медленного изгнания — 0,13 с.

*Диастола желудочков — 0,47 с.*

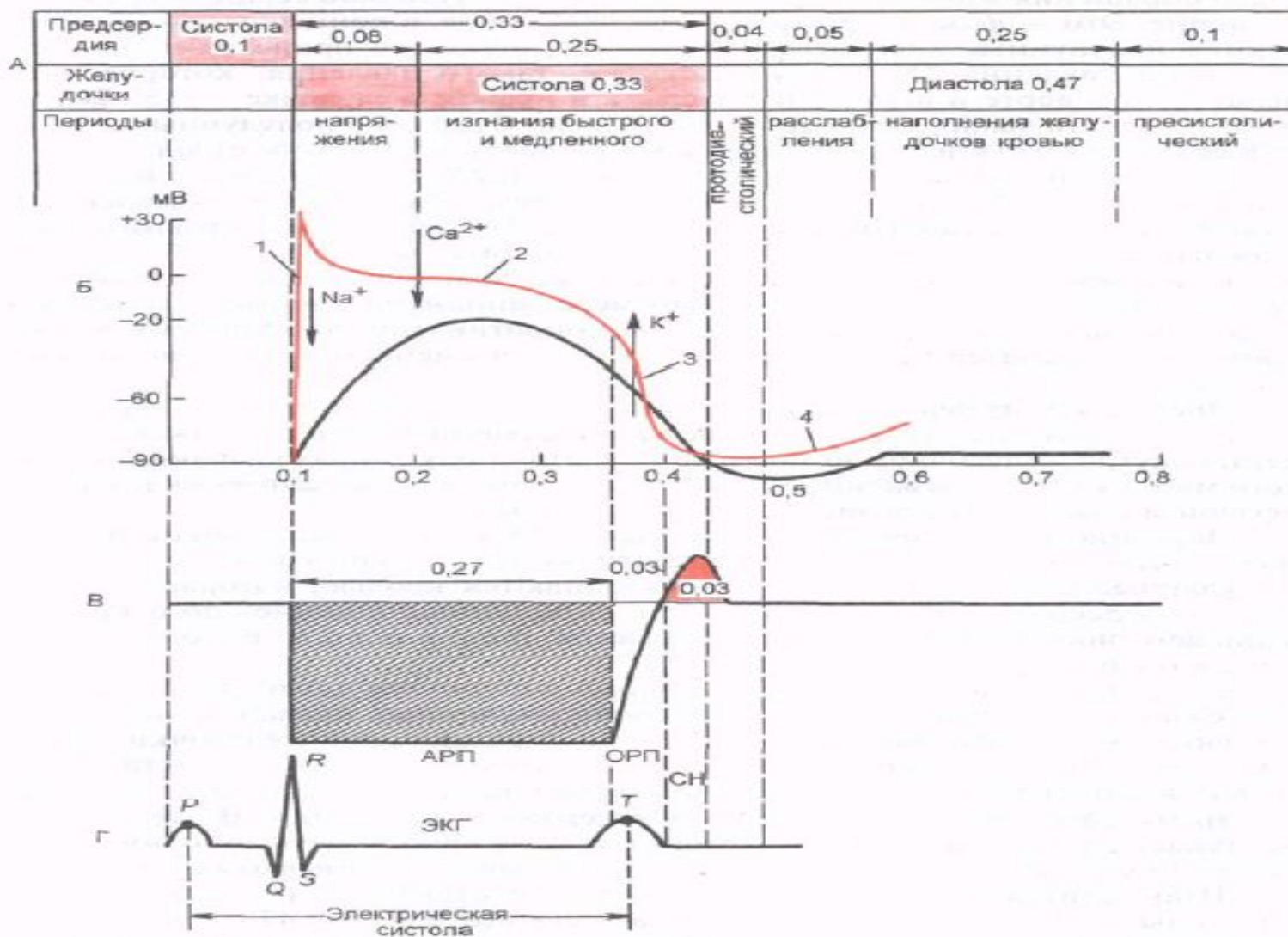
*Протодиастолический период — 0,04 с.*

*Период изометрического расслабления — 0,08 с.*

*Период наполнения кровью — 0,35 с:*

- фаза быстрого наполнения — 0,08 с;
- фаза медленного наполнения — 0,26 с;
- фаза наполнения, обусловленная систолой предсердия, — 0,1 с.

# Сердечный цикл



# Основные функциональные показатели работы сердца

- В покое, во время диастолы, желудочки могут принять до 120-130 мл крови. Объем крови, содержащийся в конце диастолы, называется конечно-диастолическим объемом.
- Во время систолы при относительном покое организма в аорту выбрасывается около 70 мл крови. Оставшиеся в сердце 50-60 мл крови составляют конечно-систолический объем. При физической нагрузке конечный систолический объем может уменьшаться до 10-30 мл.

- **Систолический объем** – **СО** – (60-80 мл) количество крови, выбрасываемой каждым желудочком за одно сокращение. Синоним – **ударный объем**. Разность между конечно-диастолическим и конечно-систолическим объемами.
- **Минутный объем** – **МОК** – сердечный выброс – количество крови, выбрасываемое желудочками сердца в минуту.
- **МОК**- интегральный показатель работы сердца, зависит от систолического объема и частоты сердечных сокращений:  **$МОК = СО \times ЧСС$**
- **МОК** у мужчин приближается к **4 - 5,5 л/мин**, а у женщин к **3 - 4,5 л/мин**
- В положении стоя **МОК** на треть меньше, чем лежа, кровь скапливается в нижней части тела и уменьшается систолический объем.

**Частота сердечных сокращений** – один из информативных показателей работы сердца (**пульс**)

В онтогенезе ЧСС покоя снижается от 100-110 до 70 уд/мин, затем к пожилому возрасту вновь возрастает на 7-8 уд/мин.

У мелких животных ЧСС может достигать 500-600 уд/мин, что связано с интенсивным обменом и процессами терморегуляции (600 мышь, 120 кролик, 100 кот, 25 слон).

Общий объем крови, находящейся в сосудах, называется объемом циркулирующей крови.

Этот показатель влияет на возврат крови в сердце.

У взрослого человека около **84 %** всей крови находится в большом круге кровообращения,

**9%** - в малом,

**7%** - в сосудах и полостях сердца.

60-70% всей крови постоянно содержится в венах.



# Регуляция работы сердца

**ЭТО ПРИСПОСОБЛЕНИЕ МИНУТНОГО ОБЪЕМА КРОВИ  
К МЕТАБОЛИТИЧЕСКИМ ПОТРЕБНОСТЯМ ОРГАНИЗМА**

# Регуляция работы сердца

## 1. Внутрисердечные регуляторные механизмы:

Внутриклеточные

Механизм гетерометрической саморегуляции (закон сердца Франка – Старлинга)

Гомеометрические механизмы саморегуляции (феномен Анрепа, лестница Боудича)

Внутрисердечные периферические рефлексy

## 2. Внесердечные или экстракардиальные

Нервные

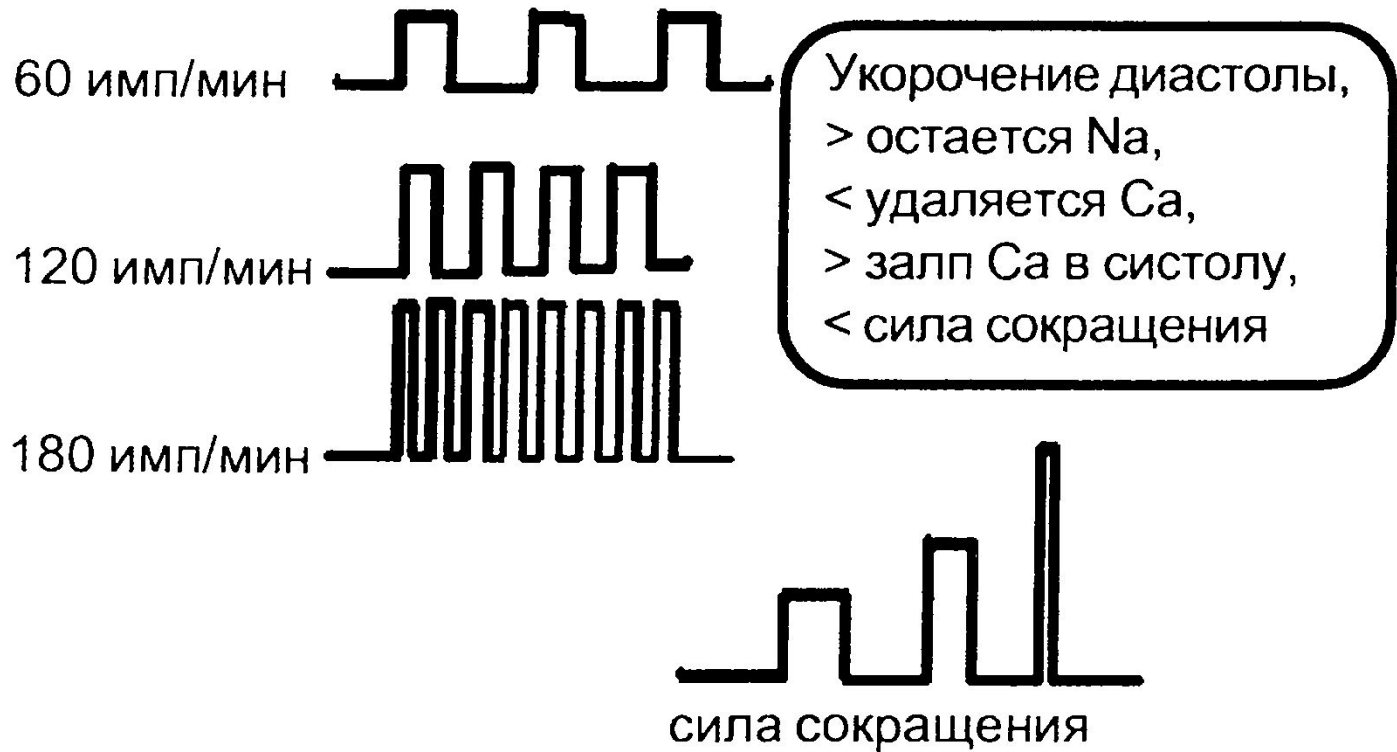
Гуморальные



# Закон Френка-Старлинга, или закон сердца

- Чем сильнее наполняется кровью сердце во время диастолы, тем сильнее оно сокращается во время систолы.
- В законе сердца находит проявление *гетерометрическая саморегуляция* миокарда, то есть изменение силы сокращения миокардиальных волокон при увеличении их длины.

# Феномен Бодича (чем выше ЧСС, тем выше сила отдельного сокращения)



# Гомеометрическая саморегуляция

Эффект Анрепа (увеличение силы сокращения при повышении давления в аорте)

# Регуляция работы сердца

## Нервная регуляция

Симпатическая нервная система

*усиливает работу сердца*

Парасимпатическая нервная система

*ослабляет работу сердца*

Гуморальная регуляция активности сердца обеспечивается веществами, циркулирующими в крови

## Гуморальная регуляция

Усиливают работу сердца

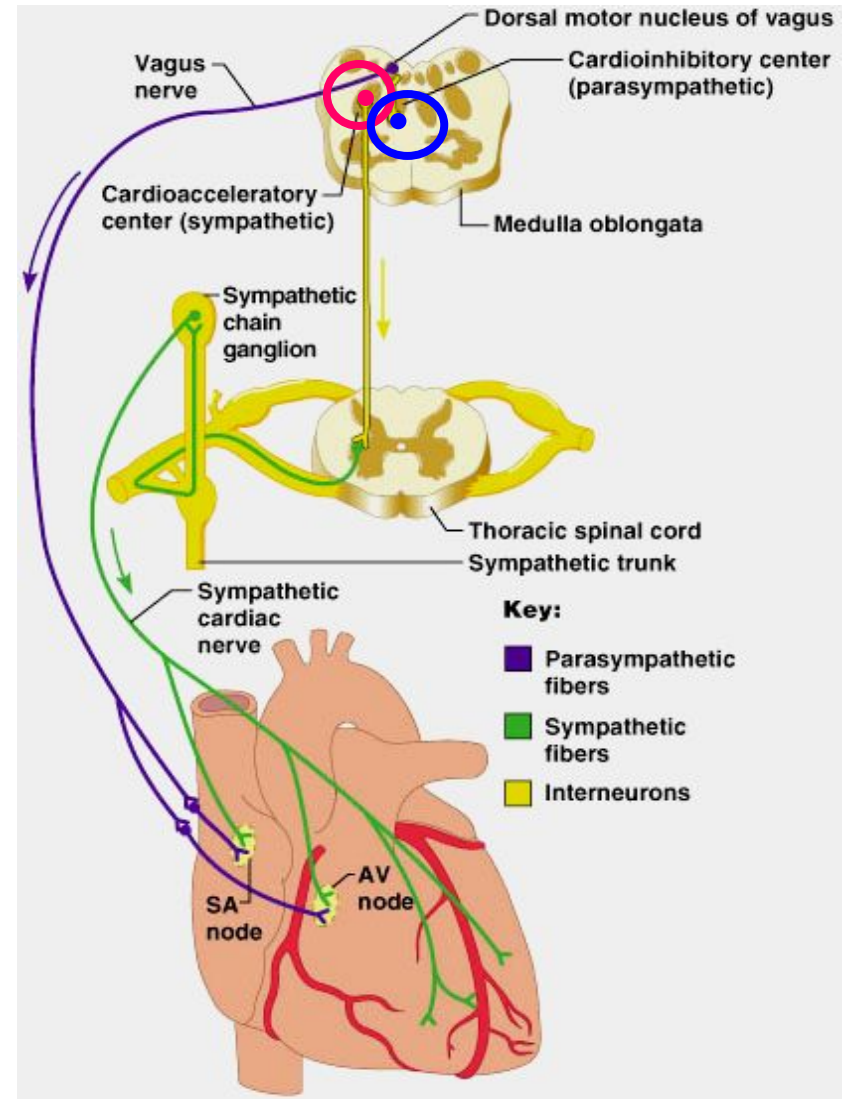
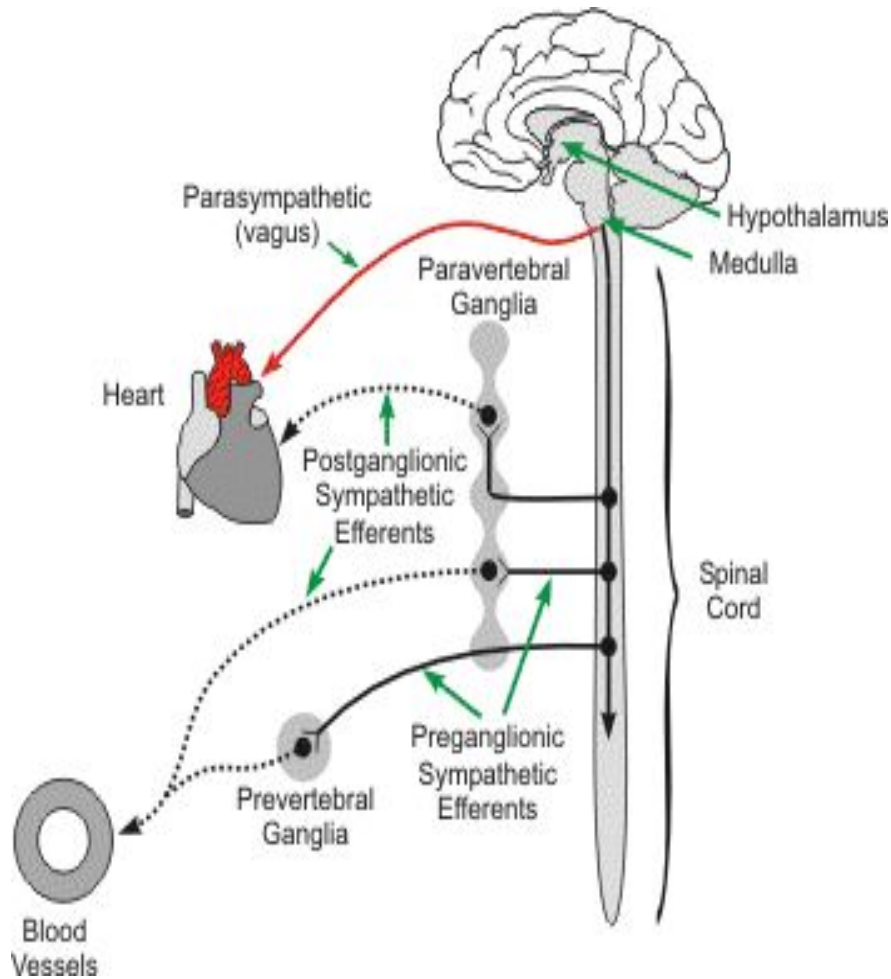
*гормоны надпочечников  
(адреналин, норадреналин);*

*ионы кальция*

Тормозят работу сердца

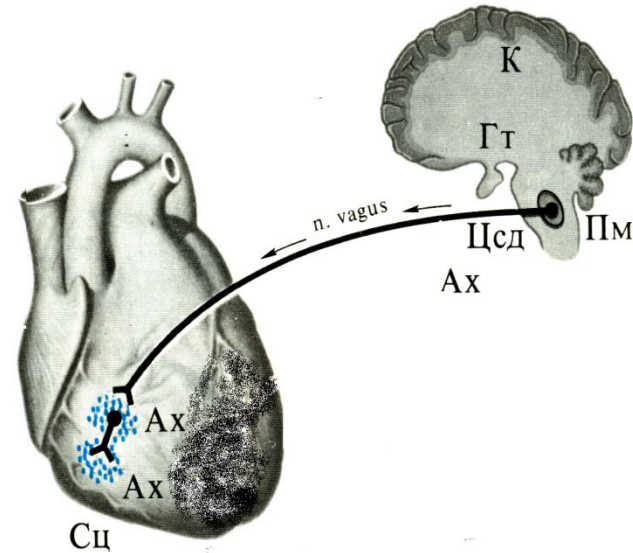
*ацетилхолин;  
ионы калия;*

Нервная и гуморальная регуляция – единый механизм регуляции работы сердца. Изменяется интенсивность работы сердца, частота и сила сердечных сокращений под влиянием импульсов ЦНС и поступающих с кровью биологически активных веществ. При этом последовательность фаз сердечного цикла не меняется.



## Парасимпатическая регуляция:

- Сердечно-сосудистый центр – продолговатый мозг
- Правый n. vagus иннервирует – правое предсердие и синусный узел
- Левый n. vagus – левое предсердие и предсердно-желудочковый узел



## n. VAGUS (братя Веберы, 1845)

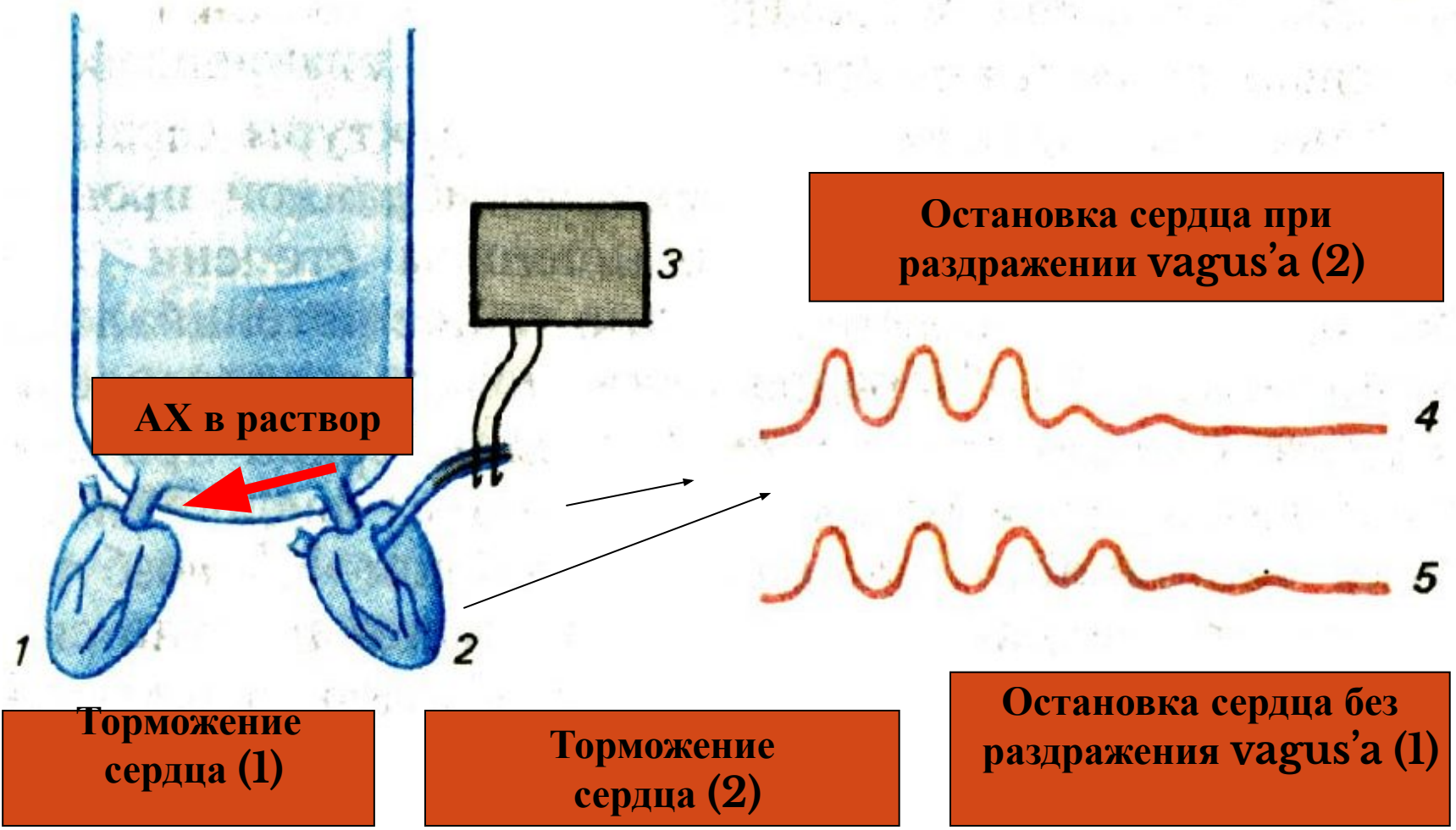
(-) отрицательные тропные эффекты  
ЧСС (хронотропный)  
Сила сокращений (инотропный)  
Возбудимость (батмотропный)  
Проводимость (дромотропный)

### Механизм

- Блуждающий нерв выделяет АХ
- АХ действует на мускариновые рецепторы синоатриального узла – открытие  $K^+$ -каналов
- Гиперполяризация клеток и уменьшение скорости диастолической деполяризации пейсмекерного потенциала

Уменьшение ЧСС = брадикардия

# Опыт Леви (1921) медиаторный механизм передачи влияния на сердце



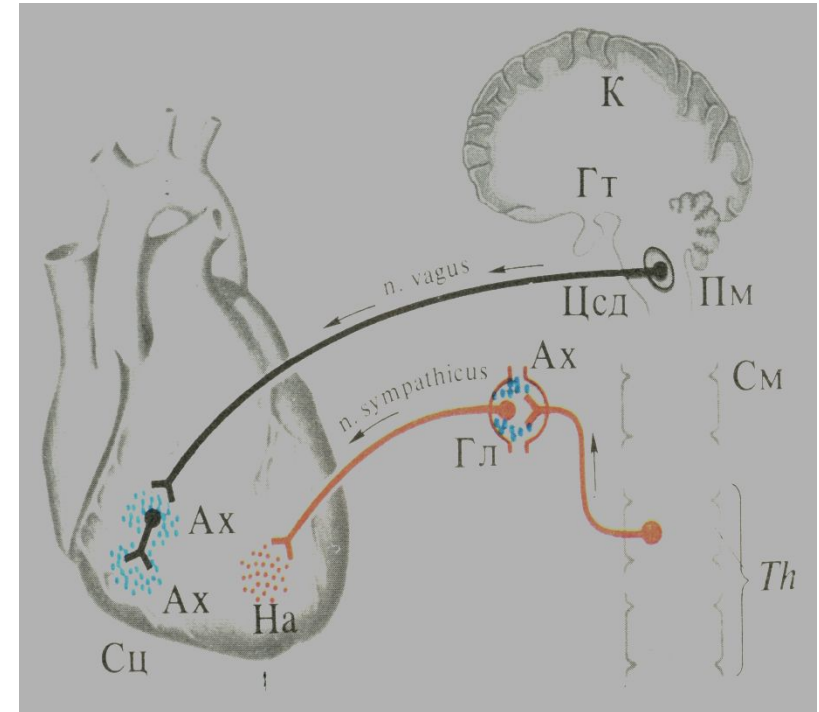
# **ТОНУС БЛУЖДАЮЩЕГО НЕРВА в покое обусловлен:**

- **афферентной импульсацией с рецепторных зон (дуга аорты, каротидный синус, сердца)**
- **спонтанная активность самих нейронов**
- **импульсацией в ретикулярную формацию с сенсорных зон**
- **гуморальные факторы**
- **влияние из дыхательного центра**



## СИМПАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛЯЦИЯ

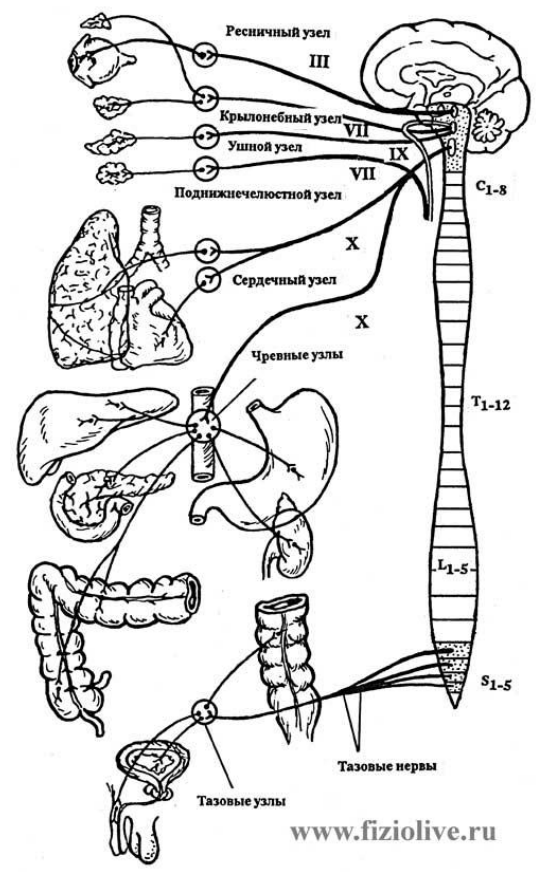
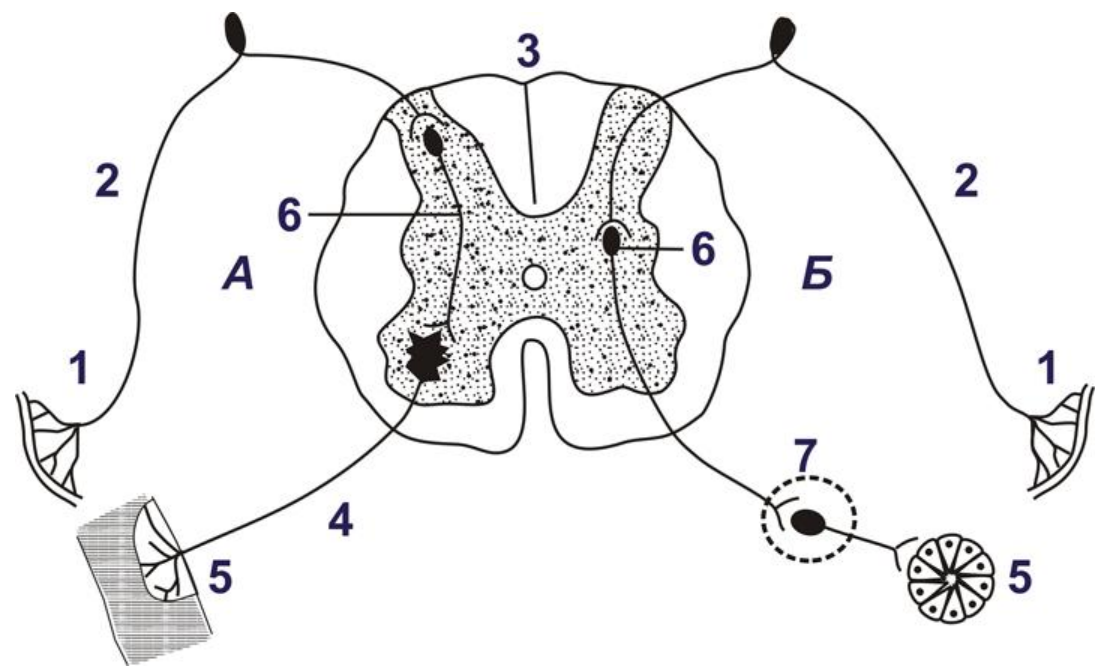
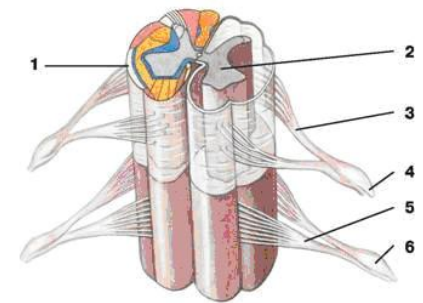
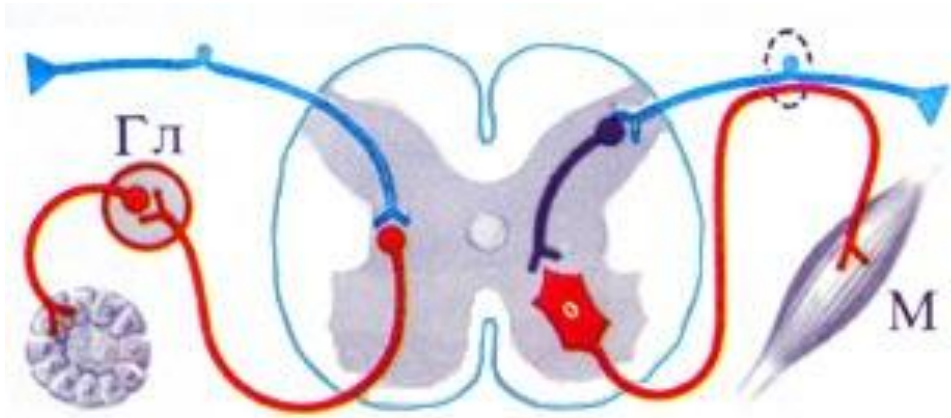
- Иннервирует сократительный миокард и проводящую систему
- Преганглионарные нейроны в боковых рогах Th1-Th5
- Постганглионарные нейроны в звездчатом ганглии
- Медиатор нервно-мышечного синапса - НА

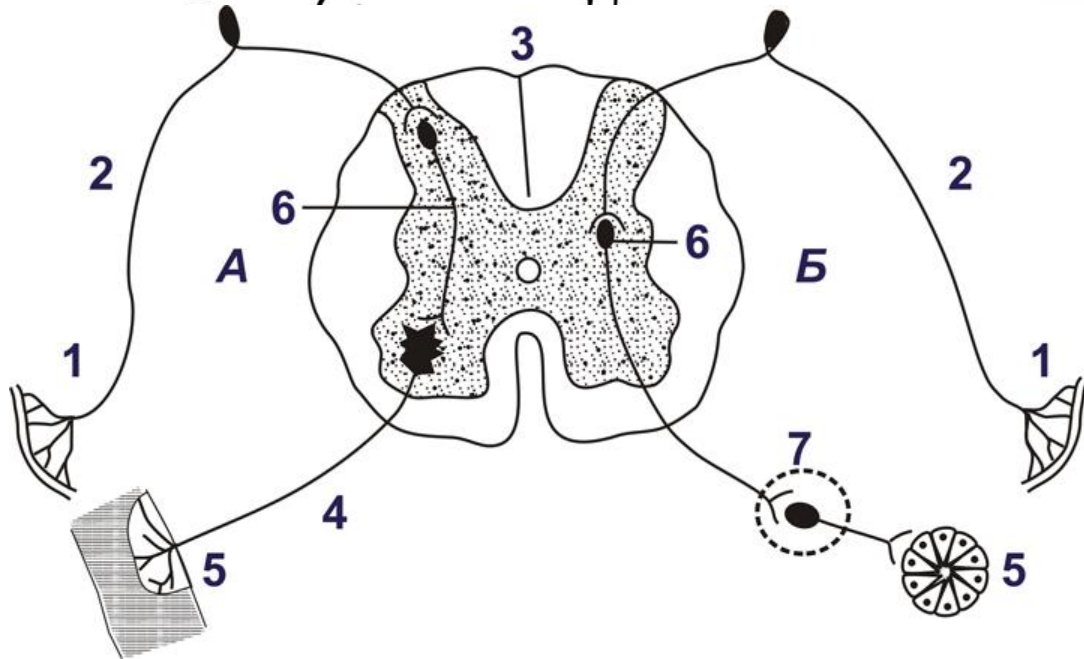
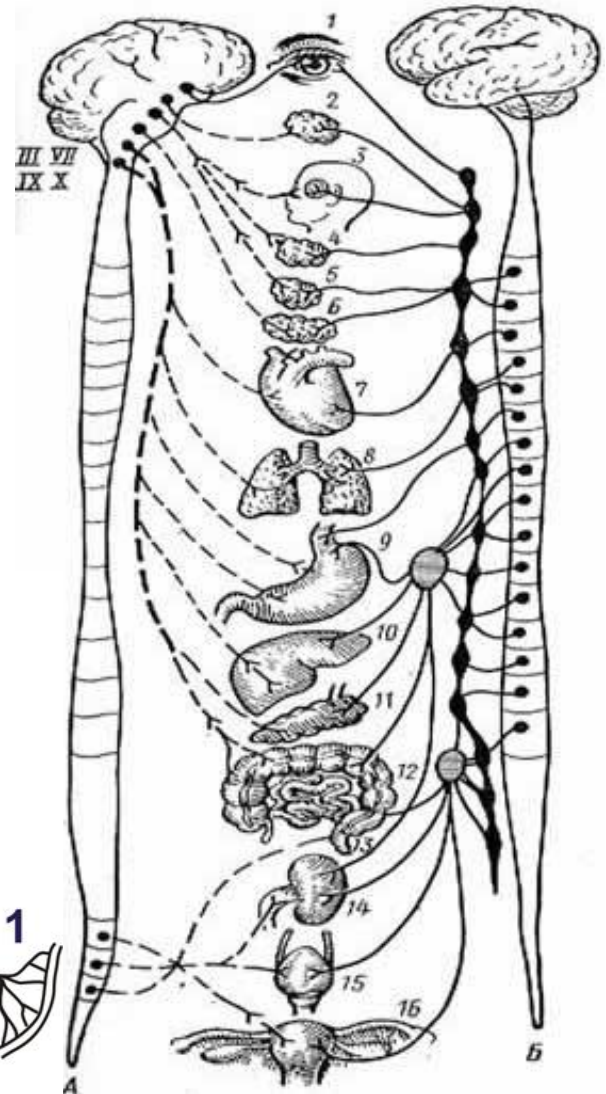
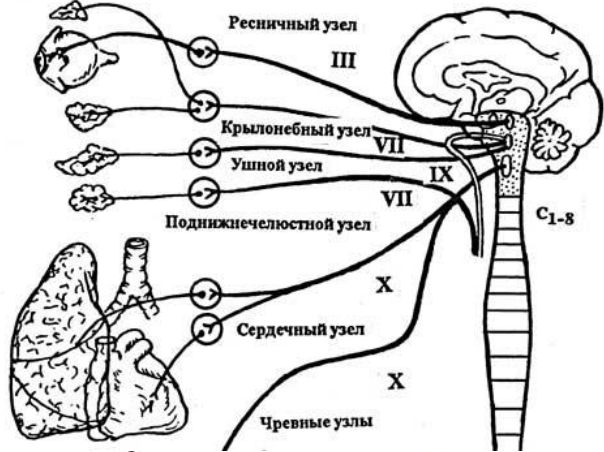


### МЕХАНИЗМ

- В окончаниях симпатических нервов выделяется норадреналин
- плюс циркулирующий адреналин из мозгового вещества надпочечников
- оба действуют на  $\beta$ -рецепторы клеток миокарда, и в частности - синоатриального узла - открытие  $\text{Ca}^{2+}$ -каналов
- возрастает скорость деполяризации пейсмекера - ЧСС

увеличивается тахикардия и  $\uparrow$  сила сокращений





# **СИМПАТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ НА СЕРДЦЕ**

## **(И.Ф. Цион)**

**(+) ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ тропные эффекты**



**ЧСС (хронотропный)**



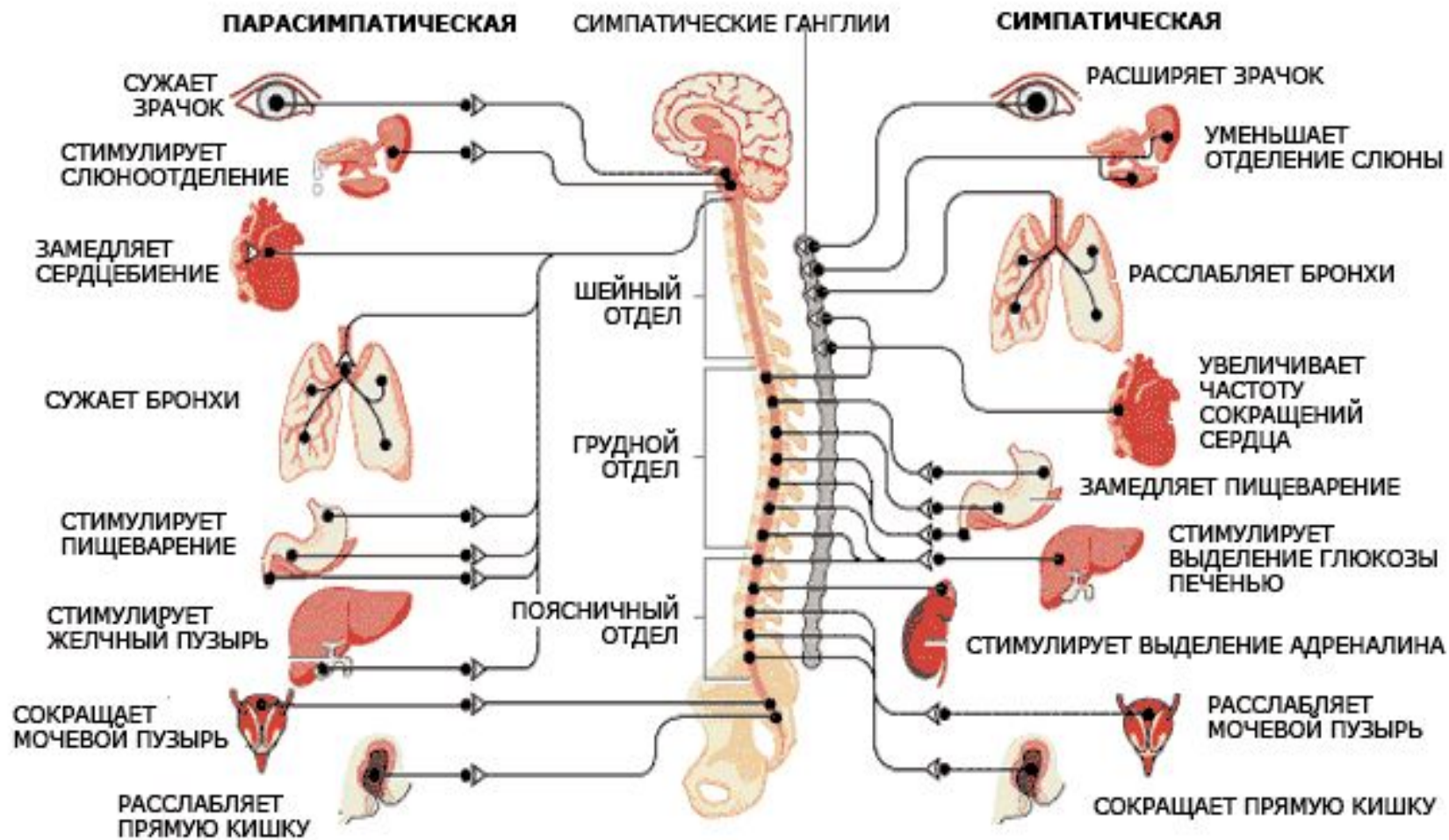
**Сила сокращений (инотропный)**

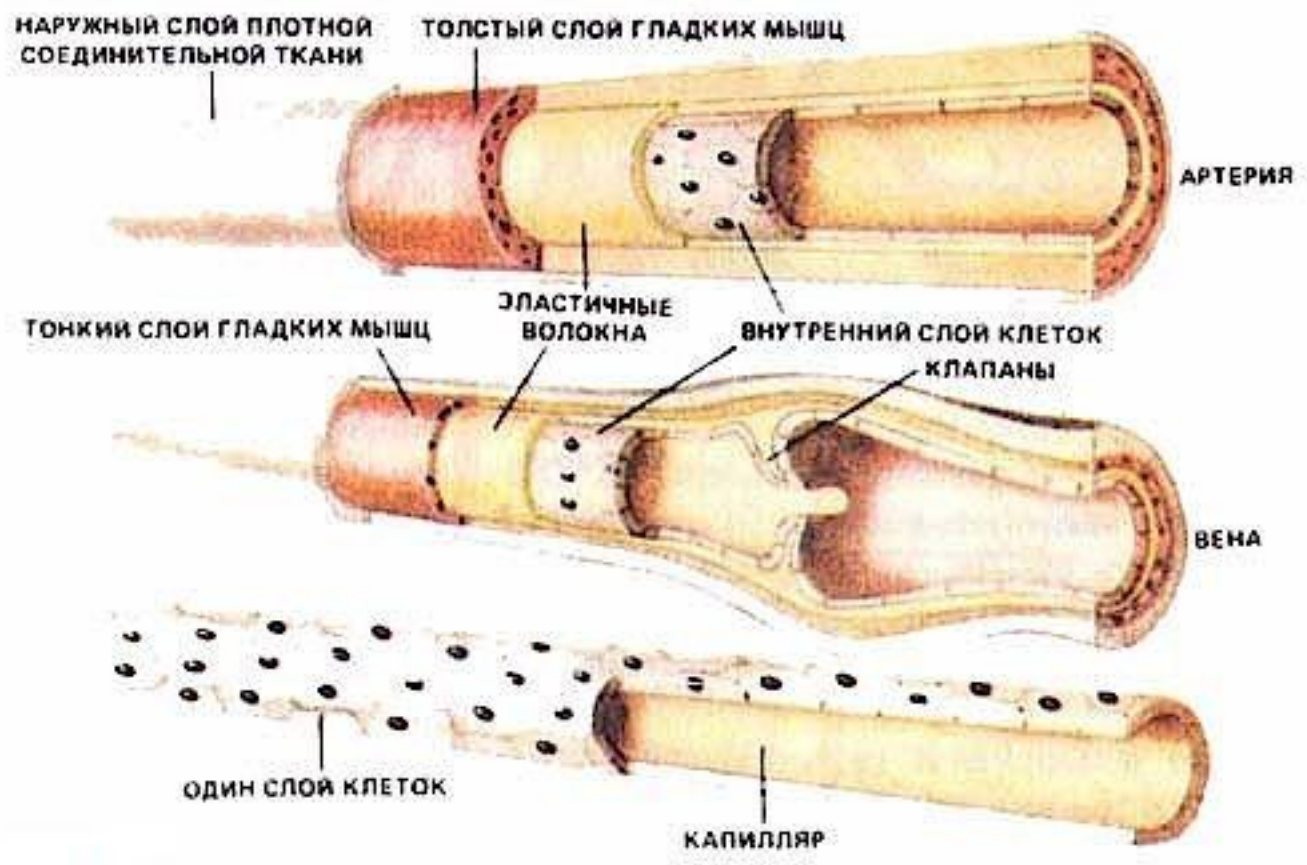


**Возбудимость (батмотропный)**



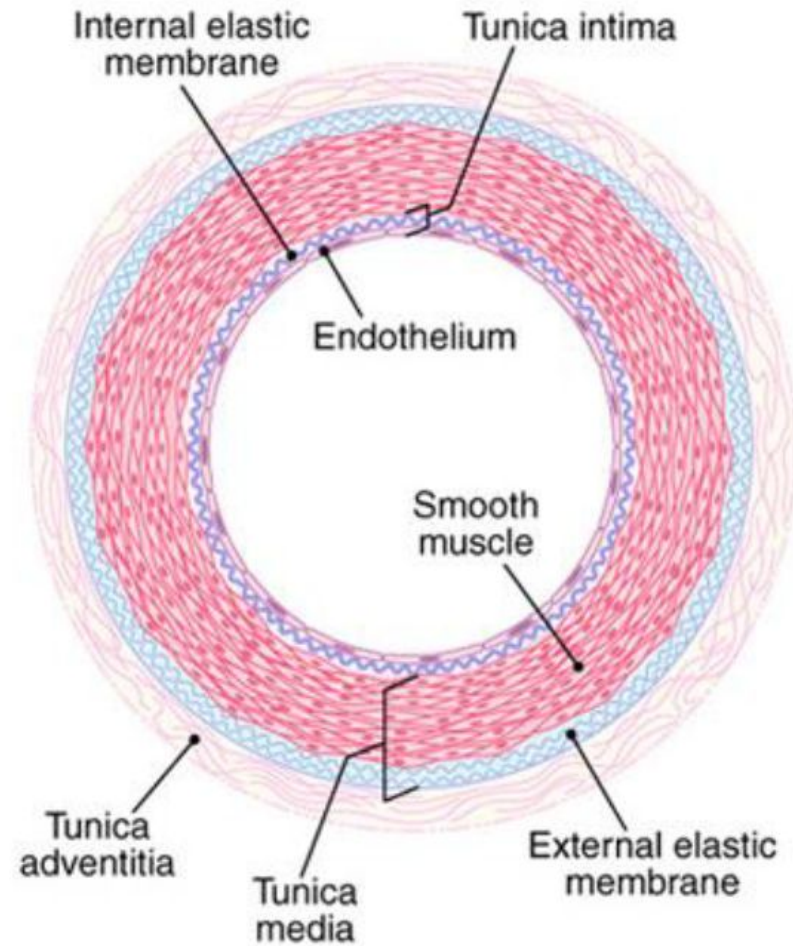
**Проводимость (дромотропный)**





## Строение стенки кровеносных сосудов

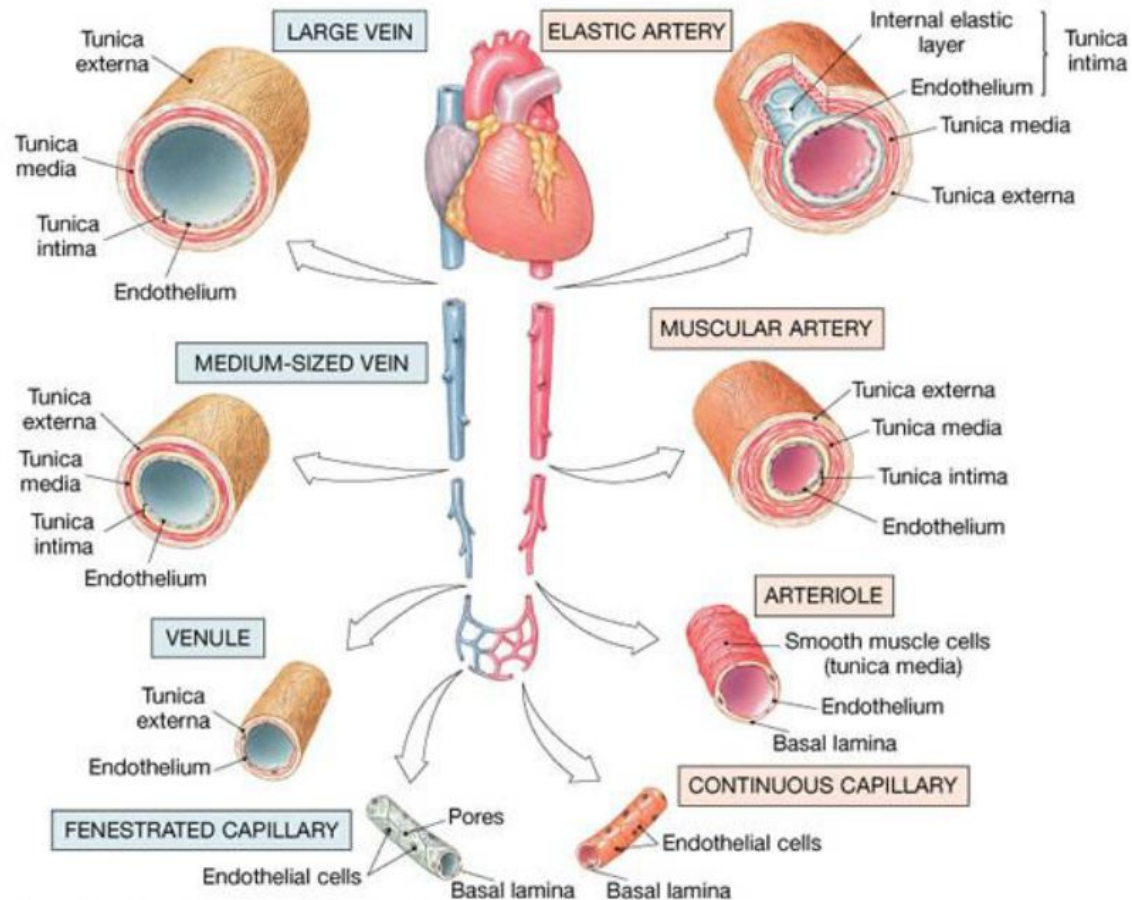
- 1. Внутренняя оболочка (Tunica intima):** эндотелий, базальная мембрана, субэндотелий, внутренняя эластическая мембрана.
- 2. Средняя оболочка (Tunica media)** два компонента: ГМК + эластические волокна и наружная эластическая мембрана.
- 3. Адвентициальная оболочка (Tunica adventitia)** – рыхлая соединительнотканная оболочка.



## Классификация вен и артерий — в зависимости от строения средней оболочки.

**Артерии эластического типа** — магистральные сосуды. Аорта, легочные артерии, общая сонная артерия, подключичные артерии, общая подвздошная артерия.

**Артерии мышечного типа** — распределительные сосуды.



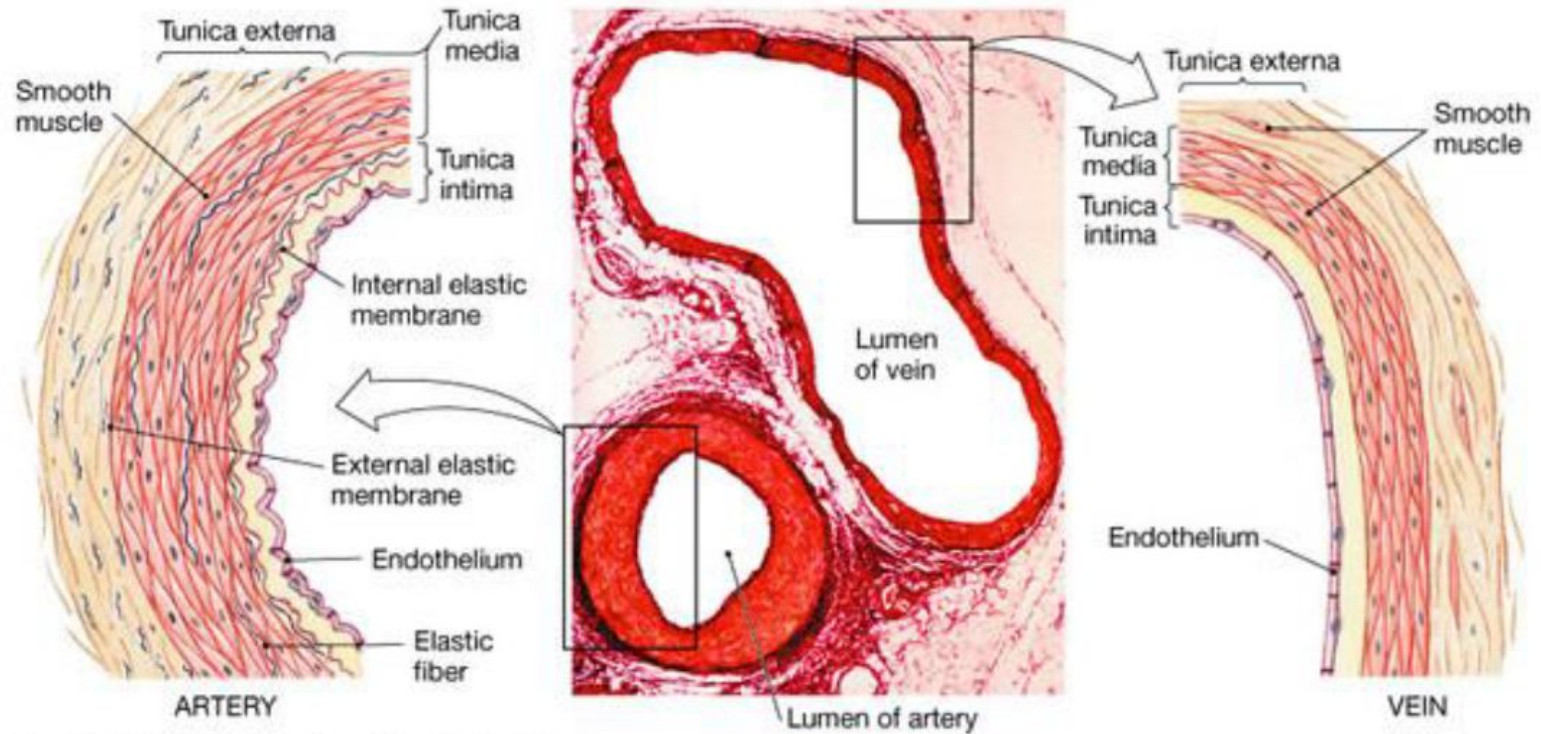


Вена отличается от одноименной артерии:

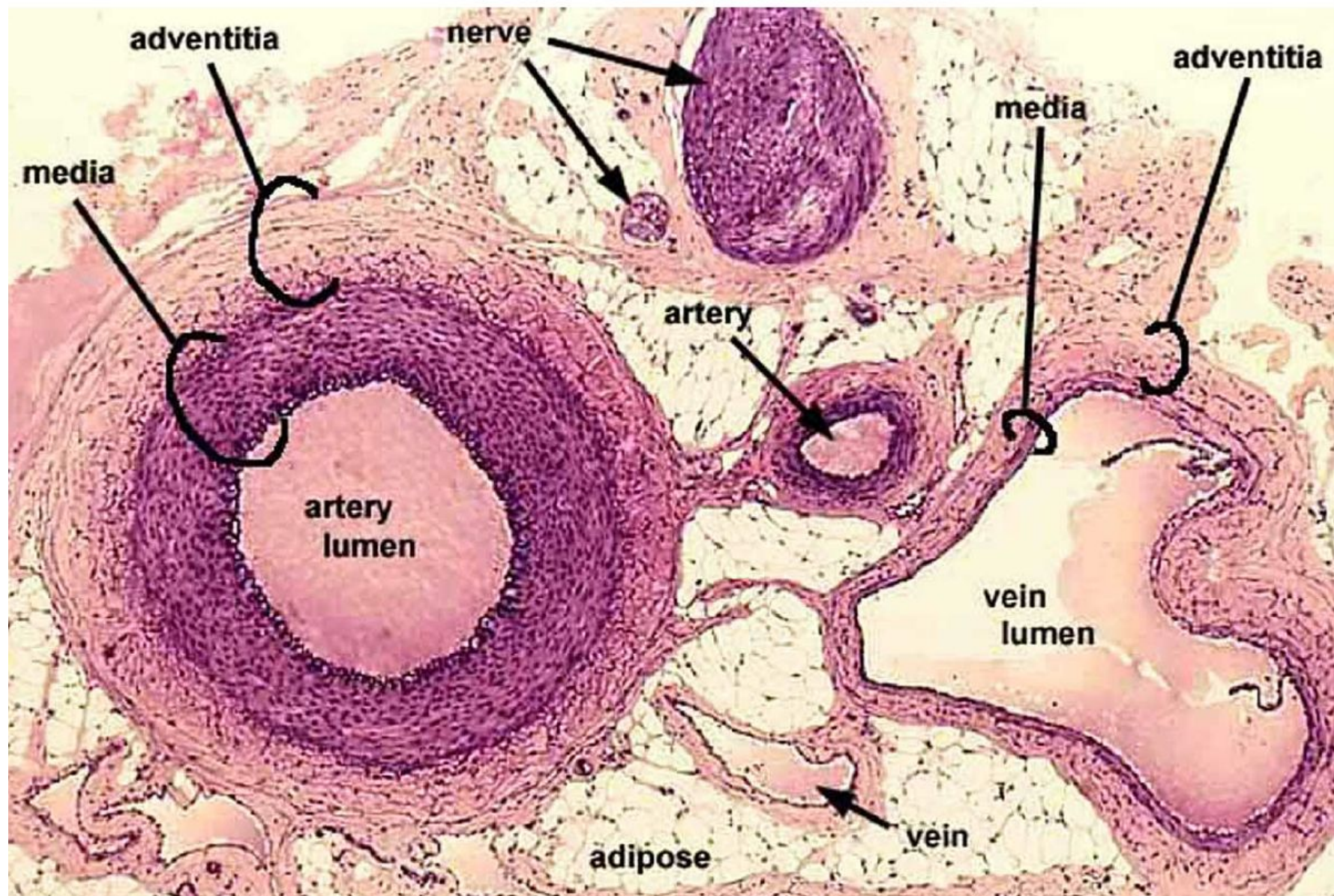
Тоньше стенка, но больше просвет.

Средняя оболочка тоньше, но развита наружная (продольные пучки ГМК в крупных венах).

Отсутствует эластическая мембрана.



# Мышечная артерия и крупная вена





## Причины движения крови по сосудам

- Работа сердца.
- Разность давления крови в сосудах.
- Наличие клапанов в венах.
- Сокращение близлежащих скелетных мышц.
- Разность давления в грудной и брюшной полостях при вдохе.

**Движение крови по сосудам возможно благодаря разности давлений в начале и в конце круга кровообращения.**

- **Кровяное давление в аорте и крупных артериях составляет 110-120 мм.рт.ст. (т.е. на 110-120- мм.рт.ст. выше атмосферного).**
- **В артериях 60-70**
- **В артериальном и венозном концах капилляра – 30-15 соответственно.**
- **В венах конечностей 5-8**
- **скорость крови:**
- **в аорте (наибольшая)- 0,5 м/с;**
- **в полых венах – 0,2 м/с;**
- **в капиллярах (наименьшая) – 0,5-1,2 мм/с.**

## ОБЪЕМНАЯ СКОРОСТЬ КРОВОТОКА

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{R}$$

$$R = \frac{8\nu L}{\pi r^4}$$