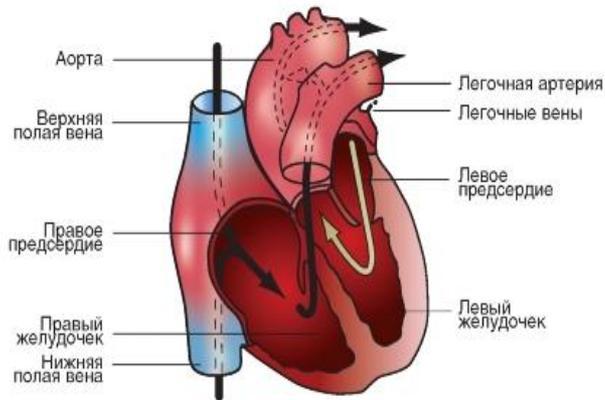
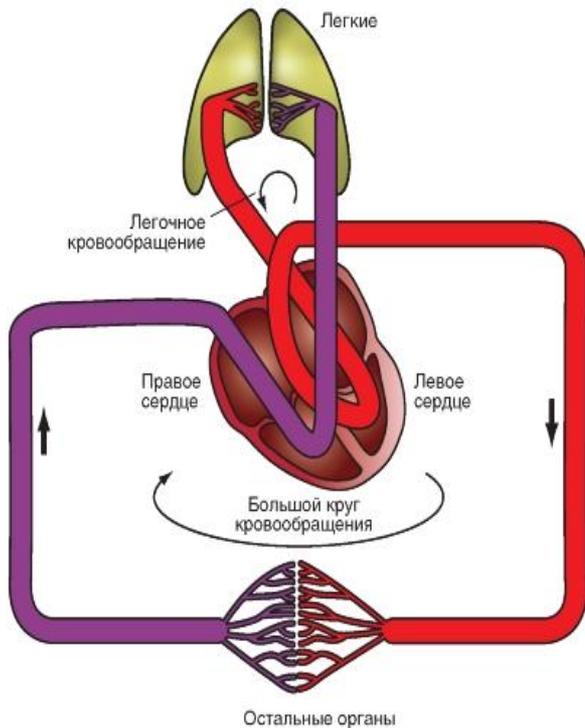


А



Б



# ОСНОВЫ АНАТОМИИ И ФИЗИОЛОГИИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ

---

---

---

---

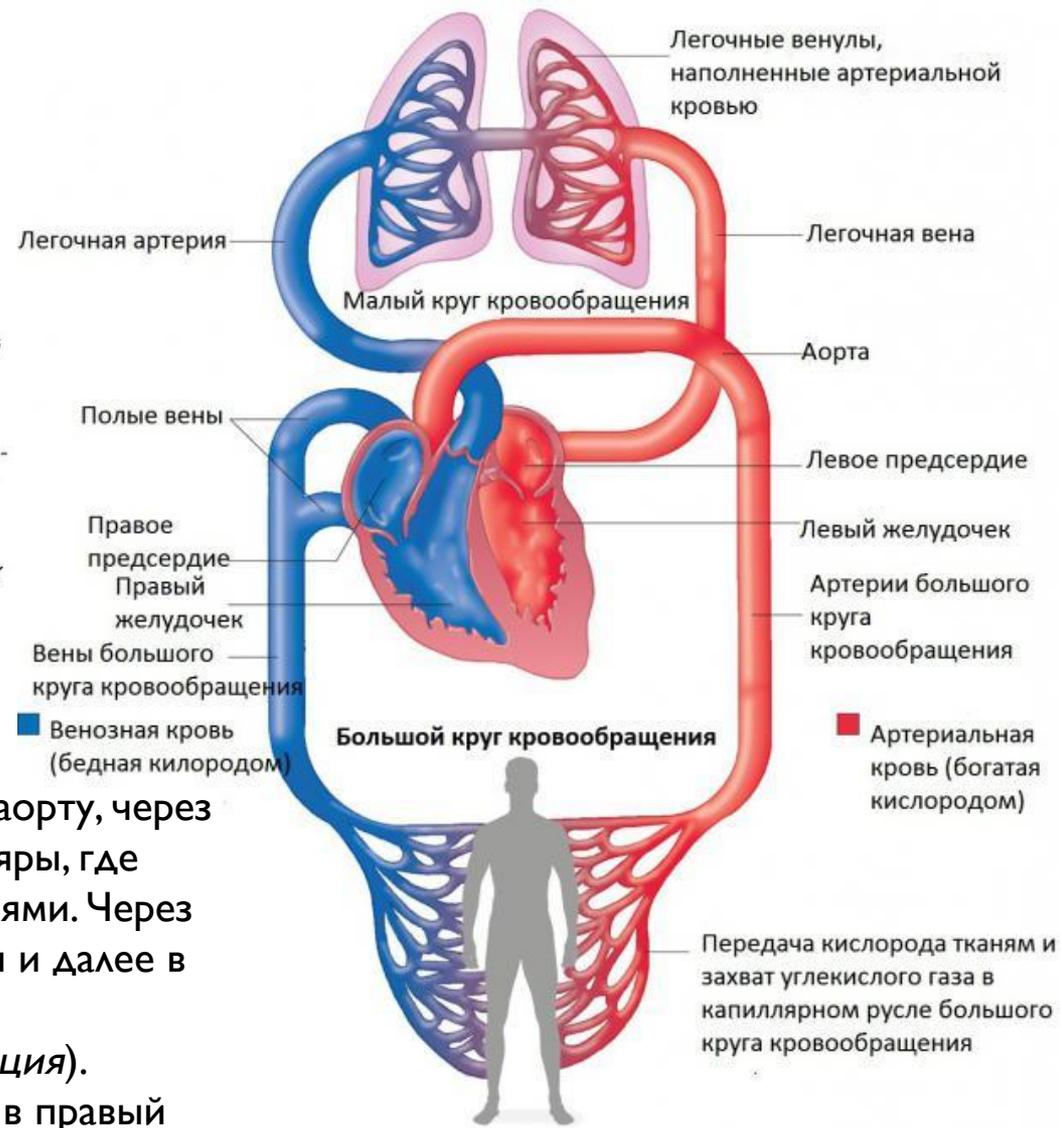
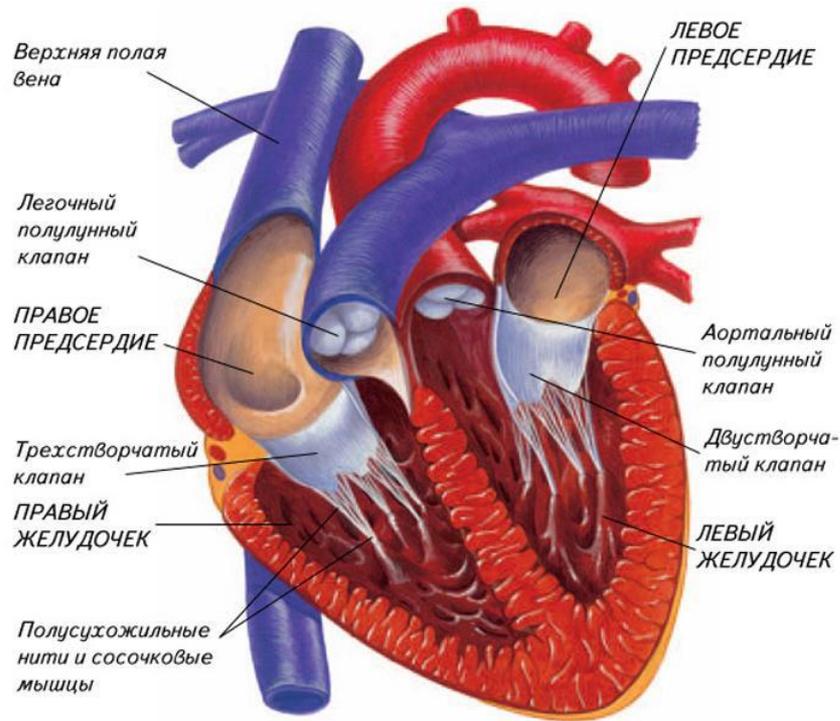
# Тема 1.

---

Особенности строения и  
физиологические  
свойства сердечной  
МЫШЦЫ как возбудимой  
ТКАНИ



# Строение сердца и круги кровообращения

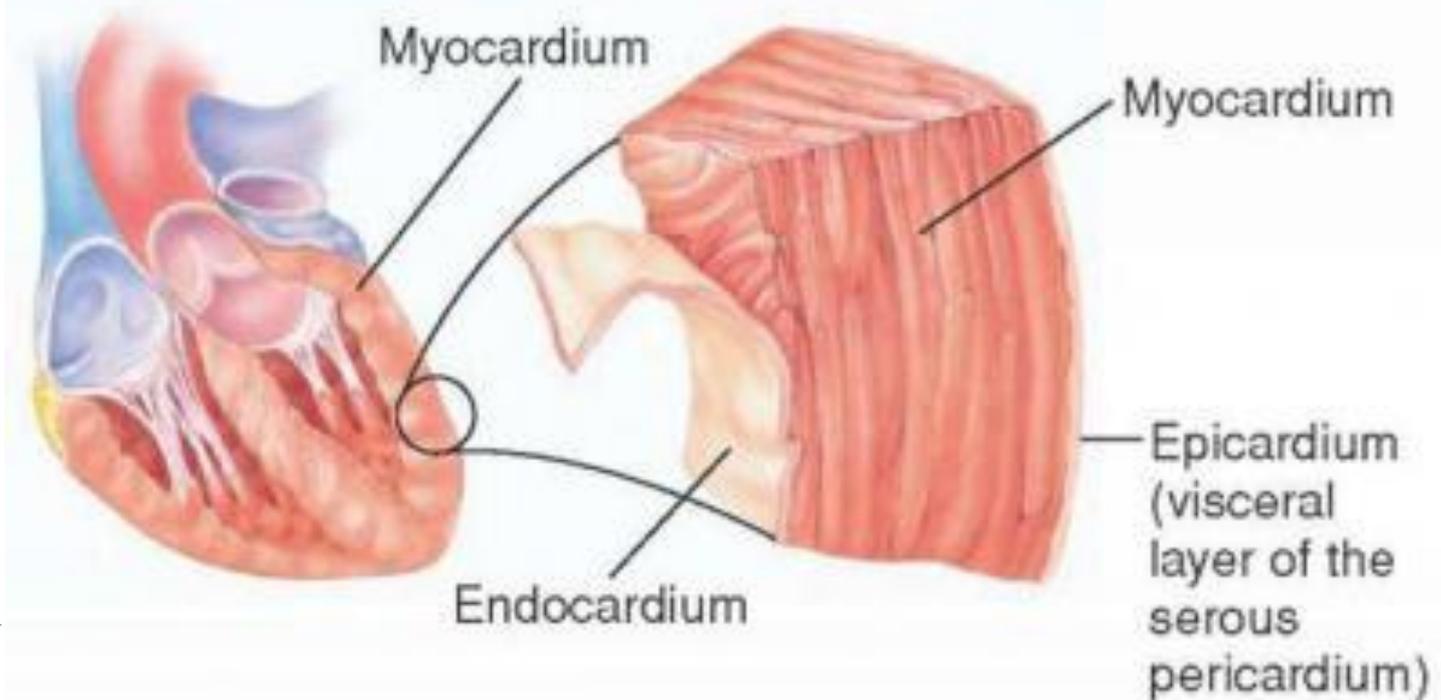


- Из **левого сердца** кровь нагнетается в аорту, через артерии и артериолы поступает в капилляры, где происходит обмен между кровью и тканями. Через венулы кровь направляется в систему вен и далее в правое предсердие (это **большой круг кровообращения – системная циркуляция**).
- Из правого предсердия кровь поступает в правый желудочек, который перекачивает её через сосуды легких (**малый круг кровообращения – легочная циркуляция**)

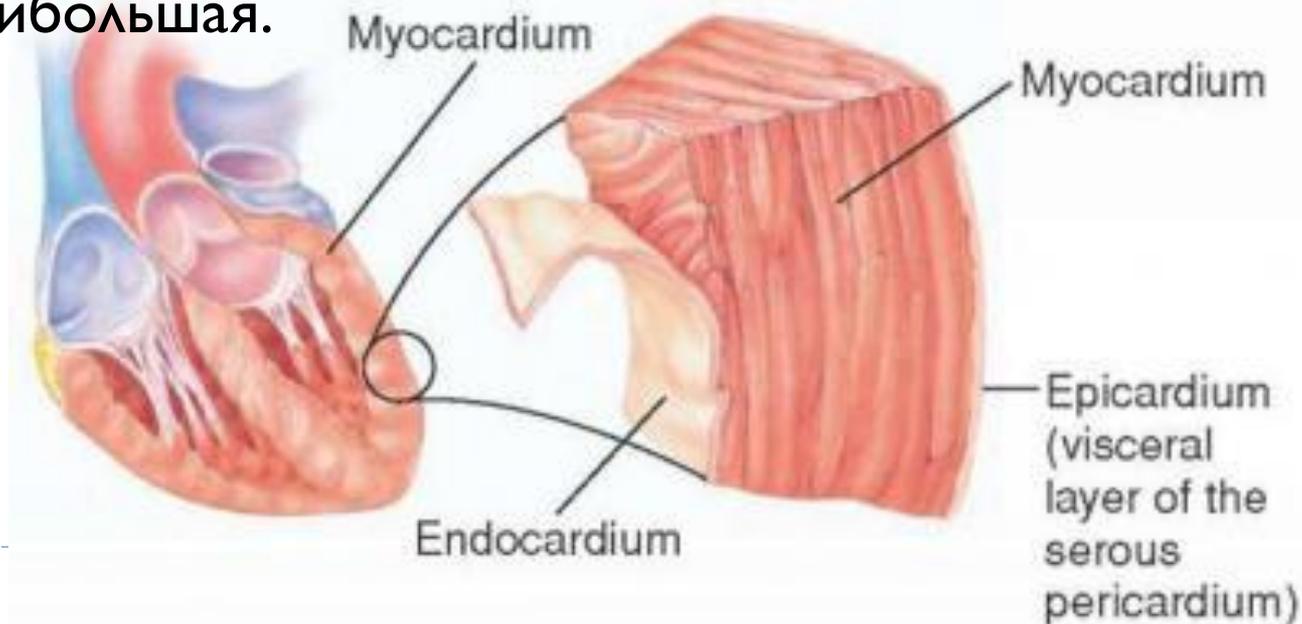
# Оболочки сердца

Стенки всех четырех камер сердца имеют три оболочки: **эндокард, миокард и эпикард.**

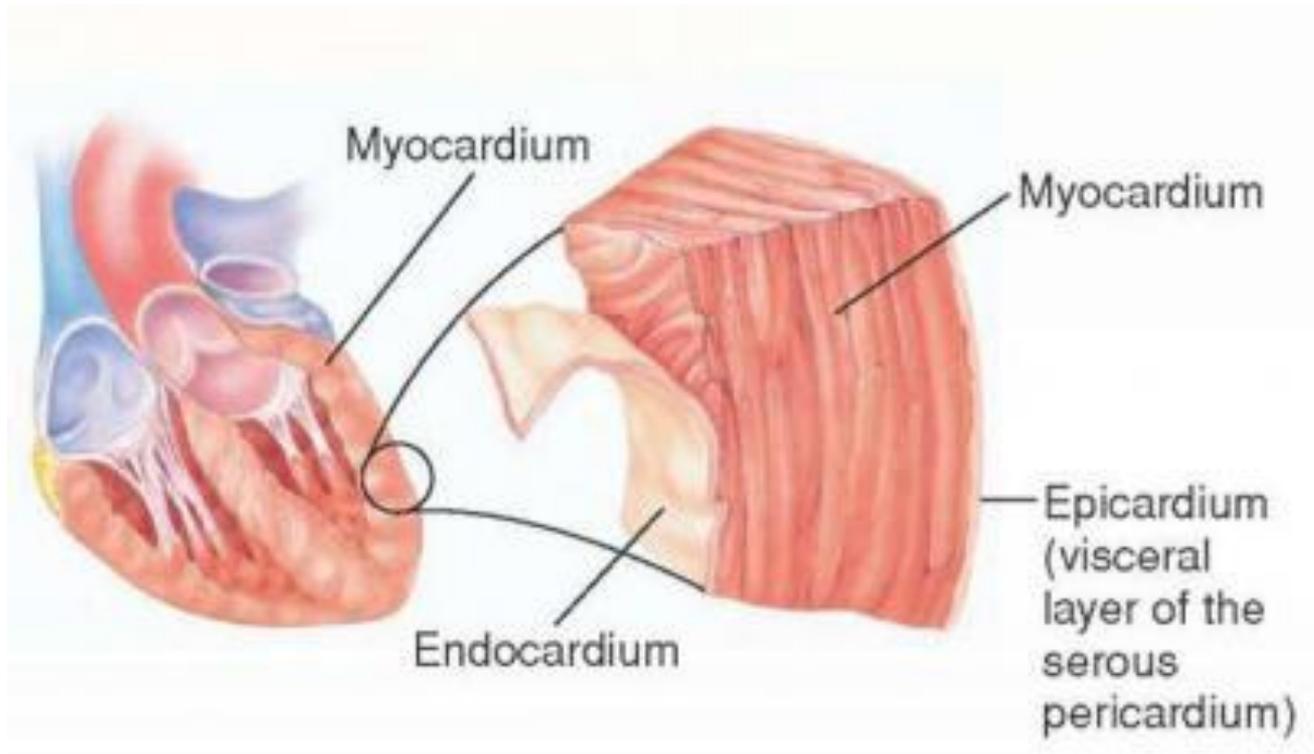
**Эндокард** выстилает изнутри предсердия, желудочки и лепестки клапанов - митрального, трёхстворчатого, клапана аорты и клапана лёгочного ствола. Образован одним слоем плоских эндотелиоцитов, расположенных на тонкой базальной мембране.



- **Миокард** образован **сердечной поперечно-полосатой мышечной тканью**. Функциональной и структурной единицей миокарда является **мышечное волокно**, образованное цепочкой нескольких кардиомиоцитов. Между ними имеются электрические синапсы (=щелевые контакты), с низким сопротивлением. Позволяют быстро распространяться волне возбуждения.
- У предсердий толщина миокарда наименьшая; у левого желудочка - наибольшая.



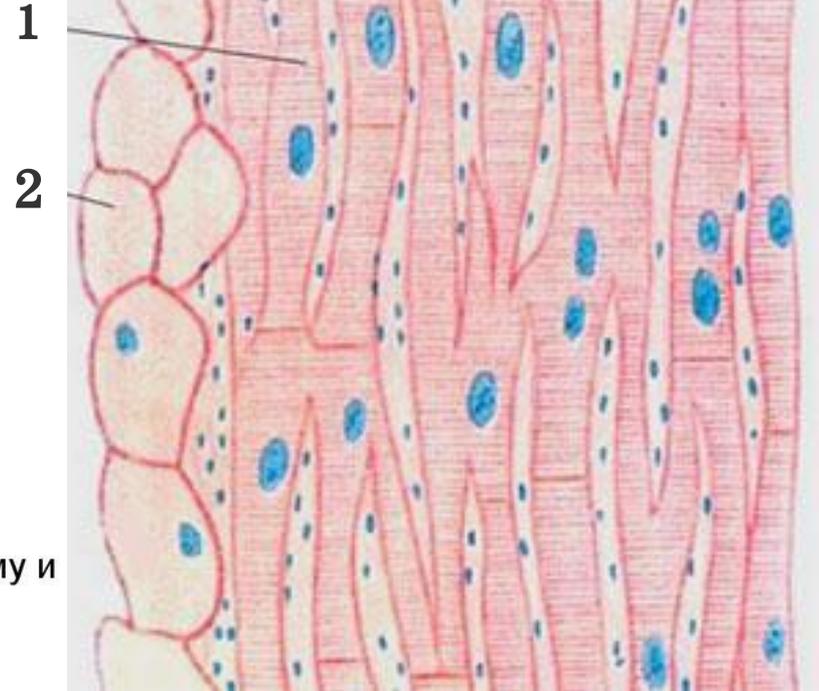
- **Эпикард** формирует наружную поверхность сердца и переходит (практически слит с ним) в париетальный **перикард** - париетальный листок околосердечной сумки, содержащей 5-20 мл перикардиальной жидкости.



# Миокард состоит из:

## Типы кардиомиоцитов

- **сократительные(рабочие):**
  - образуют основную часть миокарда, мощно развит сократительный аппарат (1)
- **проводящие: или, клетки-пейсмекеры**
  - способны к генерации и быстрому проведению электрических импульсов. Они образуют узлы и пучки проводящей системы сердца. Сократительный аппарат развит слабо (2)
- **секреторные (эндокринные):**
  - располагаются в предсердиях, имеют отростчатую форму и слабо развитый сократительный аппарат. В саркоплазме имеются гранулы с предсердным натриуретическим фактором



Кардиомиоциты представляют собой клетки прямоугольной формы, длиной от 50 до 120 мкм и диаметром от 11 до 17 мкм. В центре имеется 1 или 2 ядра, на периферии располагаются миофибриллы. Хорошо развит саркоплазматический ретикулум. Все кардиомиоциты соединены между собой вставочными дисками (место тесного контакта двух смежных протоплазматических мембран, между которыми имеется узкая щель). Все кардиомиоциты имеют примерно одинаковую возбудимость. Благодаря вставочным дискам кардиомиоциты образуют мышечные волокна, что является функциональным синцитием)



# Свойства миокарда

---

*Для сердца характерны все общие свойства возбудимых тканей:*

- 1. Возбудимость*
  - 2. Проводимость*
  - 3. Лабильность*
  - 4. Сократимость – общее со скелетной мышцей*
  - 5. Автоматия – особенность и отличие от других*
- 



# Особенности процесса возбуждения в рабочих кардиомиоцитах

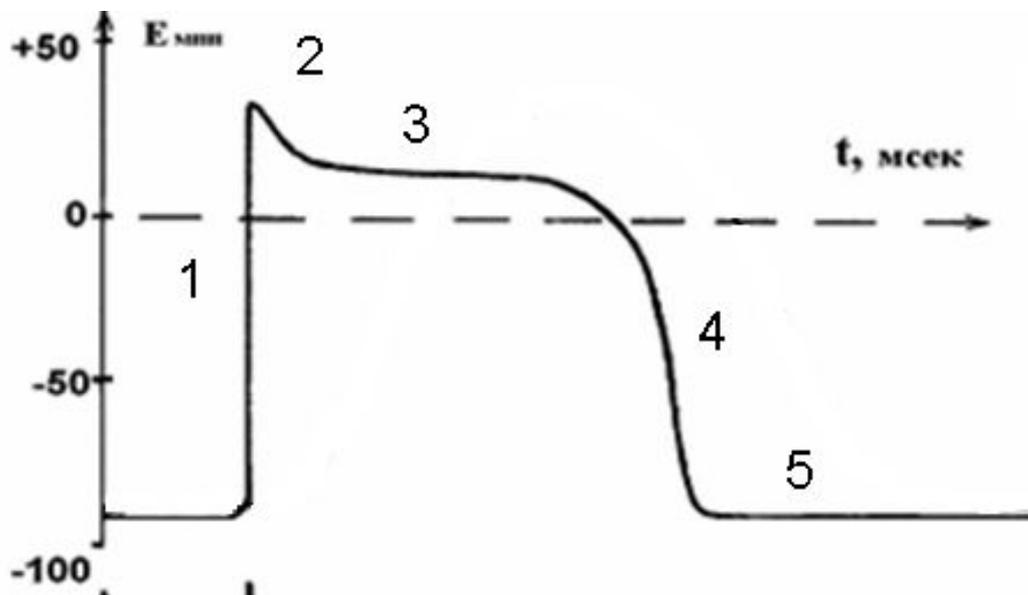
---

- Потенциал покоя типичных кардиомиоцитов создается за счет выходящего из клеток тока ионов  $K^+$
- ПП = -90 мВ
- ПД имеет несколько фаз и отличается от ПД скелетной мышцы и нервного волокна



# Особенности процесса возбуждения в рабочих кардиомиоцитах

## Фазы потенциала действия:



**фаза 1** - быстрая деполяризация, (овершут до +40 мВ), длительность 1-2 мс

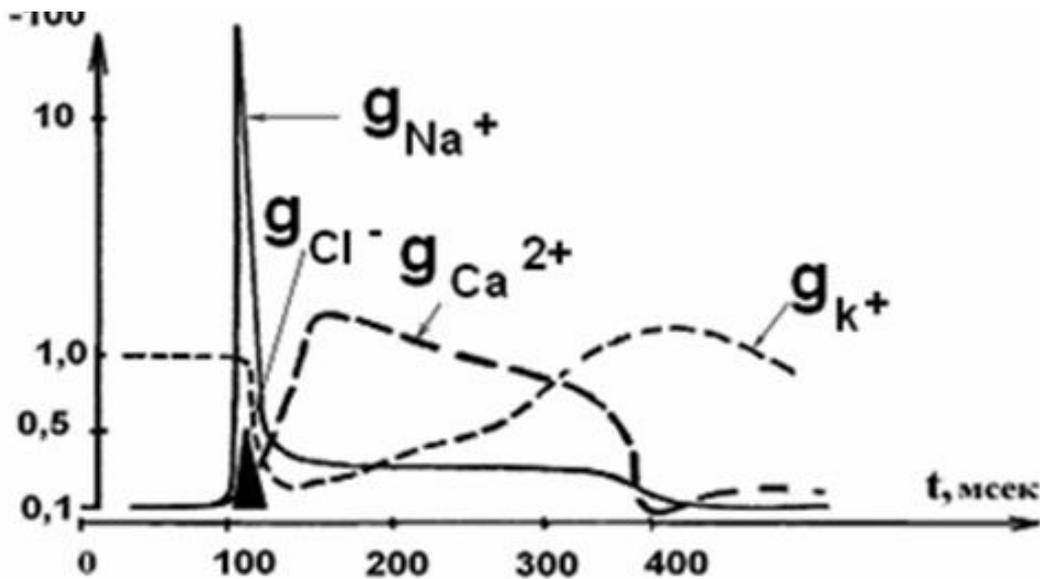
**фаза 2** – ранняя (начальная) реполяризация, мембранный потенциал снижается на -10-15 мВ.

**фаза 3** - плато (медленная реполяризация), длительность до 300 мсек

**фаза 4** – быстрая конечная реполяризация.

**фаза 5** - фаза покоя

# Ионные механизмы происхождения ПД:



**фаза 1** - обусловлена открытием быстрых потенциалзависимых  $Na^+$ -каналов и входящим  $Na^+$ -током. Также активируются быстрые  $Ca^{2+}$ -каналы.

**фаза 2** - связана с инактивацией  $Na^+$ -каналов, активацией  $Cl^-$  каналов. В эту фазу из клетки поступают ионы  $Cl^-$  и выходят ионы  $K^+$

**фаза 3** - обусловлена открытием  $Ca^{2+}$ -каналов L-типа (особенность! – медленные каналы, имеют «ворота») и входом ионов  $Ca^{2+}$  и  $Na^+$ .

**фаза 4** - связана с закрытием  $Ca^{2+}$ -каналов и выходом ионов  $K^+$  до уровня ПП.

# Возбудимость рабочих кардиомиоцитов ниже, чем миоцитов скелетной мышцы!



Это связано с более высоким порогом возбуждения и **длительным периодом рефрактерности.**

**Длительная абсолютная рефрактерность обусловлена длительной инактивацией  $\text{Na}^+$ -каналов**

**Проводимость также ниже, чем в скелетной мышце.**

---

**Её особенности:**

I. Разная скорость распространения волны возбуждения в различных отделах сердца:

Предсердия - 0,8 – 1,0 м/с

Миокард желудочков - 0,4 – 1,0 м/с

A/B-узел - 0,01 – 0,05 м/с

Пучок Гиса и его ножки - 2,0 м/с

Волокна Пуркинье - 3,0 – 4,0 м/с

*Для сравнения в скелетной мышце скорость = 10 м/с*

---



---

2. Наличие атриовентрикулярной задержки в АВ-узле (0,02 – 0,06 с)

Важно для обеспечения координированной работы предсердий и желудочков (т.е. сначала возникает систола предсердий, и только потом систола желудочков)

---



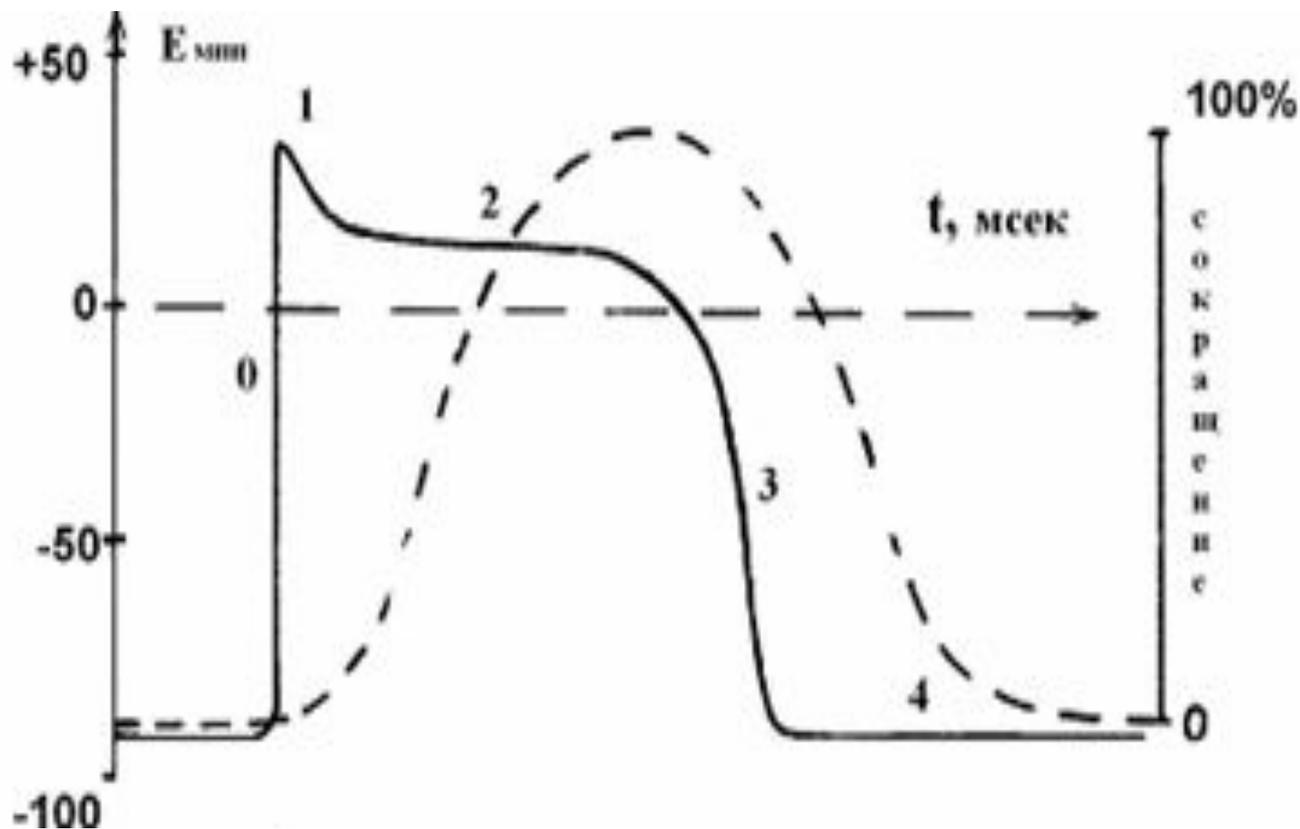
# Лабильность

самая низкая из всех возбудимых тканей, поскольку очень длительный период рефрактерности.



# Сократимость

- Сокращение начинается сразу после начала деполяризации и продолжается в течение всего ПД.



# Сократимость ниже, чем в скелетной мышце

I. Невозможно возникновение тетануса из-за длительного периода абсолютной рефрактерности.

При раздражении электрическим током высокой частоты возникает фибрилляция. Длительная фибрилляция фатальна.



# Сократимость ниже, чем в скелетной мышце

2. Невозможно вовлечение в сокращение дополнительных двигательных единиц

Сердце представляет собой функциональный синцитий, то есть сердце целиком подчиняется закону «Всё или ничего»



# Закон «Всё или ничего» не абсолютен

---

На остановившемся сердце:

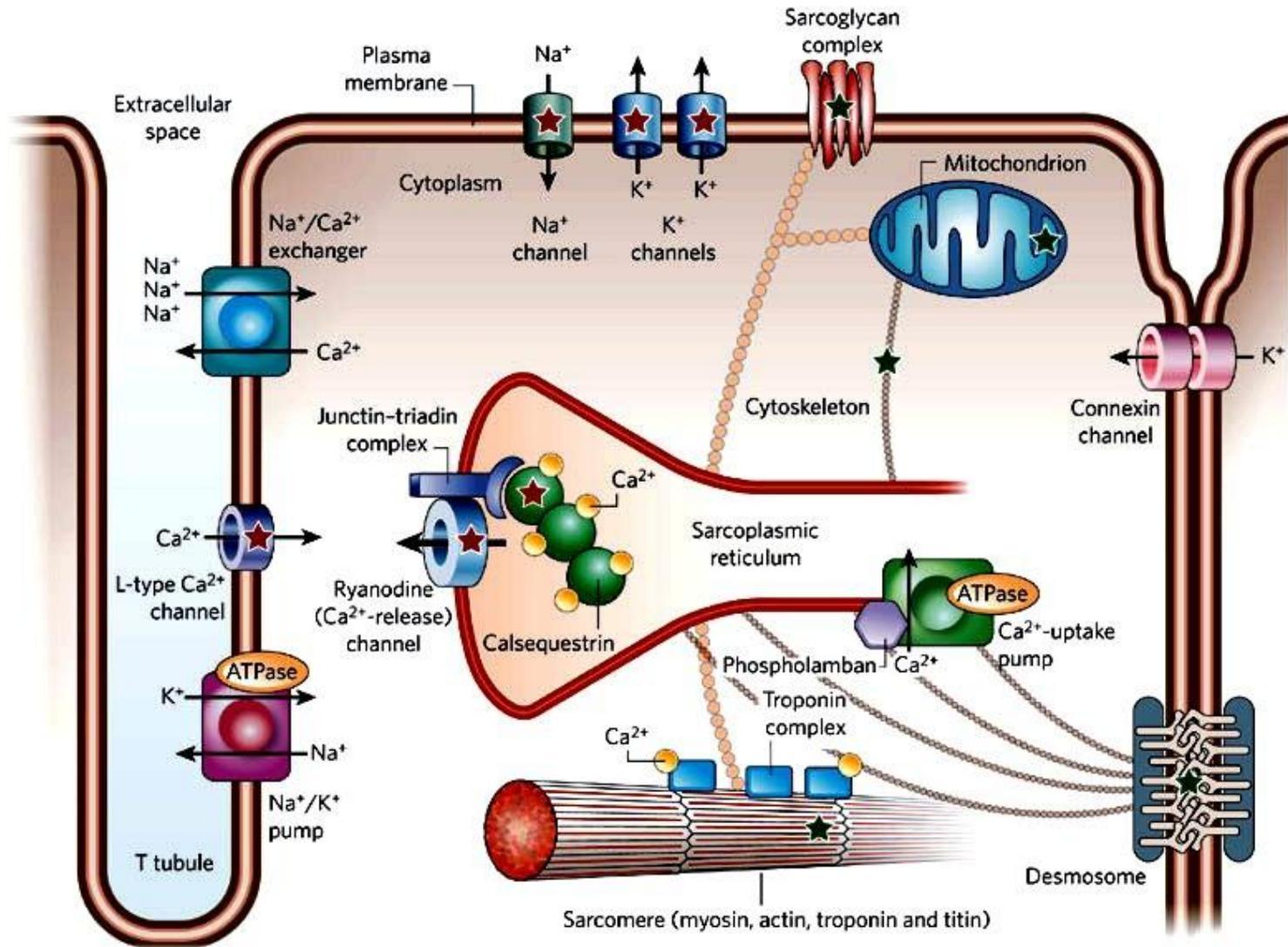
Если раздражать сердечную мышцу током одинаковой силы, но нарастающей частоты, то возникает возрастающая реакция на каждое последующее раздражение (лестница Бюджича).

Феномен этот связан с накоплением  $\text{Ca}^{2+}$  в области миофибрил. Каждое сокращение оставляет после себя повышенную возбудимость, поэтому ответ будет выше.

---



# Электромеханическое сопряжение кардиомиоцитов



# Особенности электрохимического сопряжения кардиомиоцитов

Роль  $\text{Ca}^{2+}$  в процессе сопряжения возбуждения с сокращением аналогична его роли в скелетной мышце. Однако в миокарде агентом, активирующим Т-систему и вызывающим выделение  $\text{Ca}^{2+}$  из саркоплазматической сети, выступает не сама деполяризация, а внеклеточный  $\text{Ca}^{2+}$ , поступающий внутрь клетки во время ПД.

Сила сердечных сокращений зависит от  $[\text{Ca}^{2+}]$  во внеклеточной среде!!!



---

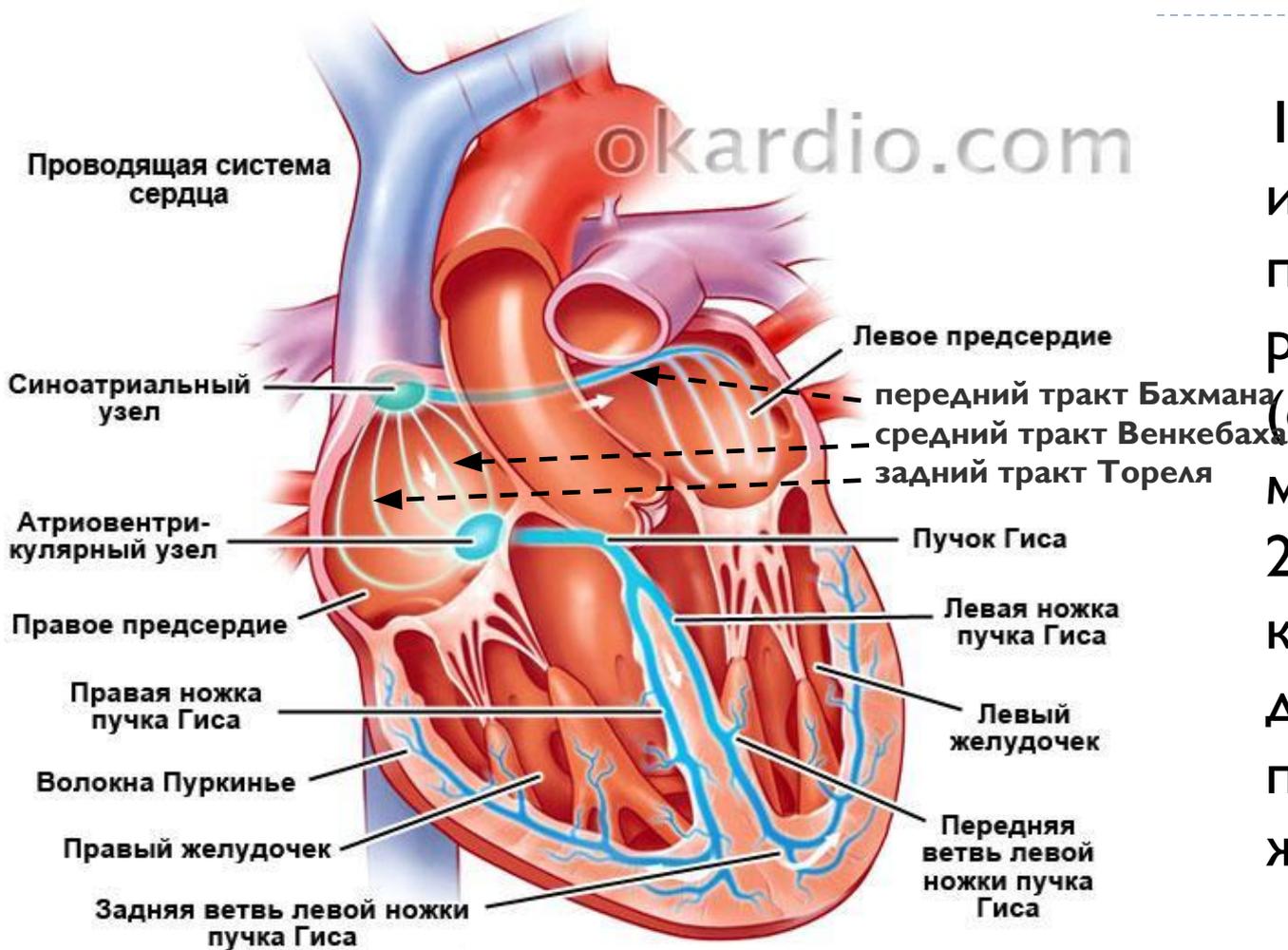
# Тема 2.

## Проводящая система сердца



- 
- В конце XIX века в различных участках миокарда предсердий и желудочков были обнаружены скопления своеобразных по строению мышечных клеток. Впоследствии они были названы атипичными.
  - Атипичные кардиомиоциты больше в диаметре, чем сократительные, имеют много гранул гликогена.
  - Образуют проводящую систему сердца.
- 
- 

# Значение проводящей системы сердца



1. Генерация импульсов и проведение их к рабочему (сократительному) миокарду
2. Обеспечение координированной деятельности предсердий и желудочков

# Строение проводящей системы сердца

1. **Синоатриальный узел (СА-узел)** – расположен в правом предсердии, между местом впадения в сердце верхней и нижней полых вен. Является водителем ритма 1-го порядка.
2. **Атриовентрикулярный узел (АВ-узел)** – находится в нижней части межпредсердной перегородки, под эндокардом правого предсердия. Водитель ритма 2-го порядка.
3. **Пучок Гиса** – идет от АВ-узла по верхней части межжелудочковой перегородки, делится на ножки. Водитель ритма 3-го порядка.
4. **Ножки Гиса** (правая и левая, левая имеет переднюю и заднюю ветви) – образуют ветви в миокарде желудочков.
5. **Волокна Пуркинье** – концевые разветвления ветвей ножек пучка Гиса. Образуют контакт проводящей системы сердца с клетками сократительного миокарда желудочков.
6. В норме еще выделяют ряд межузловых трактов.

---

Именно клетки-пейсмекеры, входящие в состав проводящей системы сердца, обуславливают особенность сердца – ***автоматию.***



---

# Тема 3. Автоматия

---



**Автоматия** – это способность органа (сердца) сокращаться под воздействием импульсов, возникающих в нем самом.

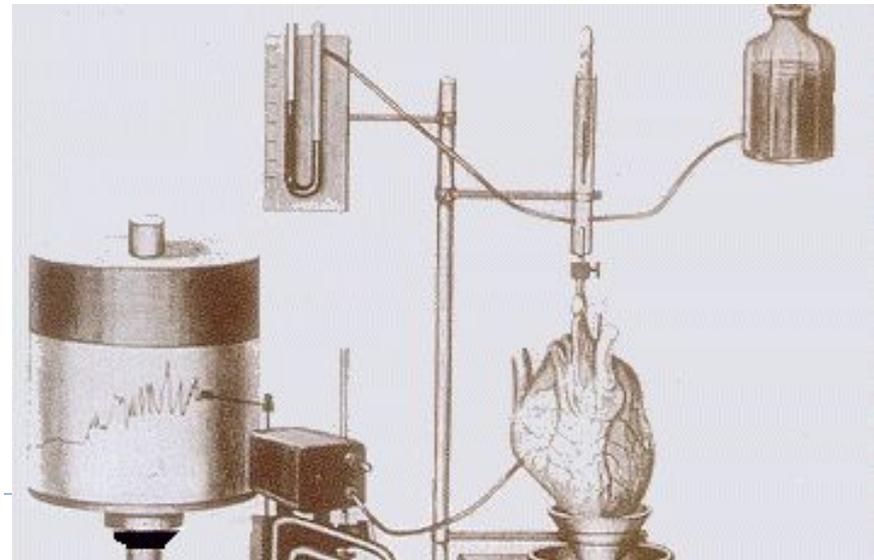
В 1902 г. Кулябко А.А. оживил сердце девочки умершей от пневмонии через 20 часов после смерти.

Если сердце перфузировать физ. раствором подогретым до  $38^{\circ}\text{C}$  обогащенным кислородом и глюкозой, то можно восстановить его деятельность.

Основная цель – освободить сердце от продуктов обмена, парализовавших его деятельность.



*русский и советский физиолог, доктор медицины, действительный статский советник, профессор Казанского, Томского и Московского университетов.*



# Природа автоматии?

С открытием автоматии сердца возникло 2 вопроса:

1. Субстрат автоматии (какая ткань ответственна за генерацию импульсов???)
2. Каков механизм автоматии???

## Нейрогенная теория

За генерацию импульсов ответственна нервная ткань.

Доказательство: у мечехвоста рядом с сердцем располагается нервный ганглий, выполняющий моторную функцию сердца. Перерезка нервных волокон, идущих от этого ганглия приводит к остановке сердца.



# Миогенная теория

За генерацию импульсов отвечает мышечная ткань.

## Доказательства:

1. **Опыт с культурой ткани.** Миокард помещают в пищеварительный сок (разрушаются контакты между клетками). При культивировании миоцитов через несколько часов отдельные клетки (1 из 100) начинают ритмично сокращаться с частотой 10-150 в минуту. Автоматию таких клеток можно поддерживать в течении 40 дней.

Когда между клетками устанавливаются связи, они начинают сокращаться в одном ритме, свойственном той клетке которая сокращается чаще всех. Значит эта клетка обладает более выраженной автоматией.

2. **Эмбриология.** В конце 19 в. Было показано, что у плода сердечная импульсация возникает на 18-20 день, а активность нервных клеток на 28-30 день.



# Градиент автоматии

---

## Закон градиента автоматии В. Гаскелла

*Степень автоматии тем выше, чем ближе расположен участок проводящей системы к синоатриальному узлу:*

Синоатриальный узел – частота генерации импульсов = 60-80 имп/мин

Атриовентрикулярный узел - 40-50 имп/мин

Пучок Гиса - 30-40 имп/мин

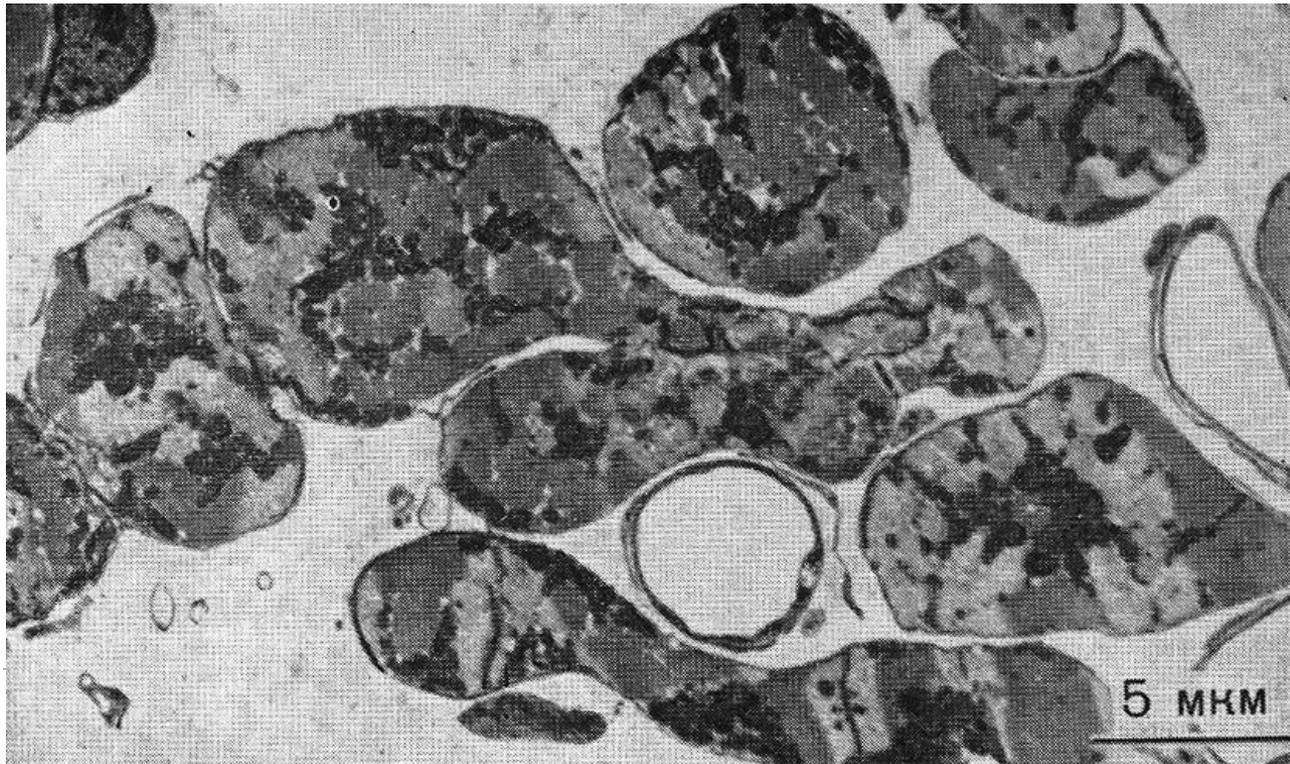
Волокна Пуркинье - 20 имп/мин

---



# Особенности клеток СА-узла

Морфология: СА-узел представляет собой соединительнотканый остов, в котором расположены специализированные атипичные округлые мышечные Р-клетки (от англ. pale – бледный), собранные в агрегаты. Эти клетки имеют светлую цитоплазму, практически лишённую сократительных элементов.



# Природа автоматии

## Физиология клеток СА-узла

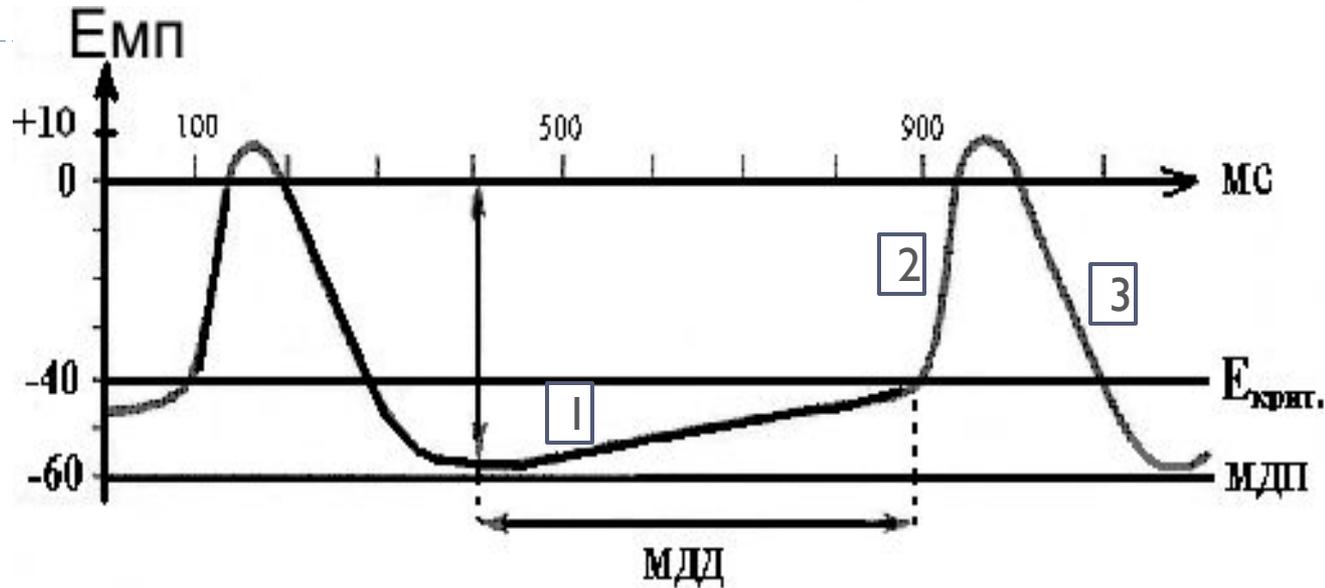
---

P-клетки, составляющие основу СА-узла, имеют ряд существенных особенностей электрогенеза:

1. Низкий уровень мембранного потенциала (МП), около  $-50 \div -60$  мВ.
  2. Клетки генерируют, так называемые «медленные» ПД, по своей форме приближающиеся к пикообразным, длительностью до 300 мсек.
  3. За счет высокой проницаемости для ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$  МП спонтанно снижается до критического уровня деполяризации мембраны (Екрит)  $\approx -30 \div -40$  мВ, в результате чего происходит генерация спонтанного ПД.
  4. Амплитуда ПД очень низкая (ЕПД  $\approx 30 \div 50$  мВ) и часто без явления реверсии заряда - (овершута).
- 



# Потенциал действия пейсмекерных клеток СА-узла



- 1 — медленная (спонтанная) диастолическая деполяризация обусловлена повышенной проницаемостью мембраны для  $\text{Ca}^{++}$  и  $\text{Na}^+$ . Мембрана сама доводит себя до порога возбуждения.
- 2 — быстрая деполяризация связана с открытием потенциалзависимых  $\text{Na}^+$ -каналов и лавинообразным входящим  $\text{Na}^+$ -током;
- 3 — реполяризация обусловлена выходящим  $\text{K}^+$ -током.

► **Фазы покоя у пейсмекерных кардиомиоцитов нет!**

- 
- Истинными пейсмекерами являются лишь небольшая группа Р-клеток СА-узла, остальные Р-клетки проводящей системы сердца являются латентными водителями ритма.
  - Пока спонтанные потенциалы действия поступают из СА-узла, латентные пейсмекеры подчиняются его ритму. Это называется усвоение ритма.
- Говорят: автоматия рождается в истинных водителях ритма СА-узла.**
- 

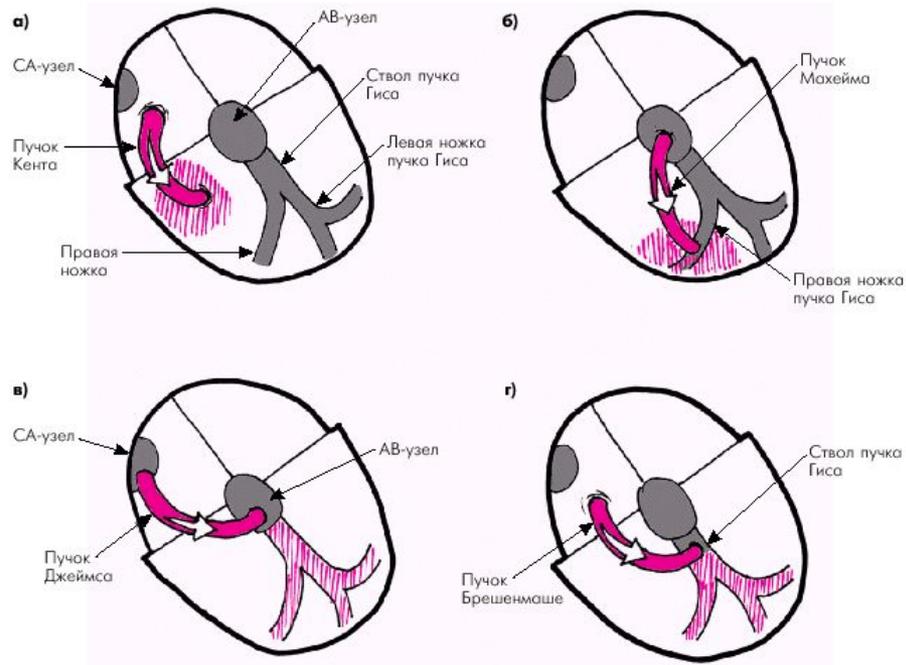


# **Аритмии, связанные с сочетанными нарушениями возбудимости и проводимости**

1. *Трепетание предсердий (ЧС — 250-400/мин).*
2. *Мерцание предсердий (ЧС 400-600/мин).*
- 1 и 2 — мерцательная аритмия.*
3. *Трепетание желудочков (ЧС — 150-300 /мин).*
4. *Мерцание (фибрилляция) желудочков (ЧС — 300-500 /мин, сердце не сокращается).*



# Теория повторного входа импульсов (re-entry)



трепетание и мерцание возникают как следствие нарушений проводимости, при этом циркуляции возбуждения по миокарду.

Это возможно вследствие возникновения временного блока или запаздывания прихода возбуждения по некоторым волокнам миокарда. В результате возбуждение приходит к месту, которое уже вышло из состояния рефрактерности и создаются условия для длительной циркуляции импульса.

